

## ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ РИСКОВ ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГЕОФИЛЬТРАЦИИ

И. Садовенко<sup>1</sup>, А. Загриценко<sup>1\*</sup>, Е. Подвигина<sup>1</sup>, Н. Деревягина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Кафедра гидрогеологии и инженерной геологии, Национальный горный университет, Днепропетровск, Украина

\*Ответственный автор: e-mail [alinanik@bigmir.net](mailto:alinanik@bigmir.net), тел. +380562469961, факс: +380562470711

## ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL AND TECHNICAL RISKS IN THE PROCESS OF MINING ON THE BASIS OF NUMERICAL SIMULATION OF GEOFILTRATION

I. Sadovenko<sup>1</sup>, A. Zagrytsenko<sup>1\*</sup>, O. Podvigina<sup>1</sup>, N. Dereviagina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Hydrogeology and Engineering Geology, National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine

\*Corresponding author: e-mail [alinanik@bigmir.net](mailto:alinanik@bigmir.net), tel. +380562469961, fax: +380562470711

### ABSTRACT

**Purpose.** Substantiation of environmentally acceptable and technically safe operational mining schemes in the context of disturbed hydrogeological and geomechanical conditions by means of developing adapted filtrational model of the mine field.

**Methods.** Numerical mathematical stimulation of geofiltrational processes in heterogeneous in terms of capacity and permeability rock massif involving surface-water and underground water dependency, leakage through partitioning poor water-permeable strata, as well as changes in boundary conditions and geofiltrational parameters in the context of time and space.

**Findings.** Hydrodynamic model of the mine field has been identified with the help of imitating technogenic ground water dynamics formed during different periods of mine operation. Its reliability has been confirmed by the results of predicted solutions concerning estimation of inflow values within high-amplitude tectonic disturbance having high level of convergence with actual data while roadheading (up to 95%). The effect of mining operations as well as operation of mine water gathering pond on underground water dynamics of subsurface water-bearing formation which determines both environmental situation and water use, has been numerically estimated.

**Originality.** Regularities of changes in filtrational parameters and capacity parameters in terms of time and space under the conditions of nonstationary geodynamics of rock massif have been specified. Elastic hydrodynamic disturbances with values of compressibility and permeability comparable to undisturbed poor water-permeable rock massif consisting of argillites, aleurites, and arenites have been determined for a zone of tectonic disturbance.

**Practical implications.** The determined rules concerning formation of ground water dynamics of subsurface water-bearing system make it possible to differentiate natural components and technogenic components in the context of disturbance of hydrogeo-chemical composition of ground water used for water supply and specify parameters of water intake. High reliability of predicted solutions has helped substantiate and implement specific hydrogeomonitoring of crossdrift drawing through tectonic fault zone where amplitude is more than 300 m and prevent mine water inflows incidences at minimum costs.

**Keywords:** *geofiltrational parameters, rock massif, simulation, water inflow prediction, mine*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Задачи повышения технико-экономической эффективности работы шахт и обеспечения безопасности горных работ зачастую решаются вне связи с экологической составляющей, которая характеризуется нарушением гидродинамического режима подземных и поверхностных вод, повышением их соле-содержания, подтоплением и заболачиванием подра-

ботанной территории. В свою очередь гидродинамическая ситуация на шахтном поле является фактором, определяющим технические риски ведения горных работ, для снижения которых принимаются инженерные решения с завышенным и неоправданно высоким запасом надежности. Это приводит к повышению затрат на экологические штрафы, ликвидацию аварийных ситуаций, связанных с водопроявлениями, или необоснованно высоким капиталовложениям для

их предупреждения. Поэтому к решению взаимосвязанных горно-технологических и гидрогеоэкологических задач необходимо применять комплексный подход, основанный на прогнозных оценках техногенного режима подземных вод.

Часто применяемые аналитические методы прогноза (Tammetta, 2012; Fomin, 2015) техногенного режима подземных вод не дают полного представления о закономерностях его формирования и имеют низкую достоверность в силу сложности учета всех факторов геотехнической системы. Как показывает практика и опыт решения задач прогнозирования техногенного режима подземных вод метод численного математического моделирования является наиболее совершенным методом фильтрационных расчетов (Sadovenko, 1991; Sadovenko, Rudakov & Podvigina, 2010). При создании модели шахтного поля возникают дополнительные сложности в связи с необходимостью учета особенностей техногенной нарушенности горного массива в результате отработки угольных пластов с полным обрушением кровли, взаимосвязи подземных и поверхностных вод, протекания через разделяющие слабопроницаемые слои, изменений граничных условий и параметров во времени и пр. Специфика подходов к моделированию нестационарных геофильтрационных процессов, развивающихся при ведении горных работ, обусловлена наличием гетерогенного по емкости и проницаемости техногенного водоносного комплекса (Norvatova, 2007).

Задачей настоящей работы является создание адаптированной фильтрационной модели поля шахты “Самарская” ПАО ДТЕК “Павлоградуголь” с целью количественного обоснования экологически приемлемых и технически безопасных схем ведения горных работ в нарушенных гидрогеологических и геомеханических условиях. При этом математическая модель должна отвечать на следующие практические вопросы

- оценка влияния горных работ шахты “Самарская” на грунтовые воды с. Богдановка, используемые для водоснабжения;
- прогноз водопритоков в зоне пересечения кварцшлагом крупно-амплитудного тектонического нарушения.

## 2. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Математическая модель аналогична объекту исследований по совокупности и тождественности уравнений, описывающих процессы и явления, протекающие на объекте и модели. В основу алгоритма численного моделирования техногенного режима подземных вод положено дифференциальное уравнение фильтрации, которое решается численными итерационными методами с помощью системы конечно-разностных уравнений:

$$T_x \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + T_y \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} \pm W = \mu^* \cdot \frac{\partial H}{\partial t}, \quad (1)$$

где:

- $H$  – искомая функция напора;
- $W$  – питание (разгрузка) по водоносному слою;

$T_x, T_y$  – проводимость водоносного горизонта по линейным координатам  $x$  и  $y$  соответственно;

$\mu^*$  – коэффициент упругой водоотдачи;

$t$  – время.

Конечно-разностная аппроксимация уравнения (1) основана на дискретном представлении геофильтрационного потока в пространстве и времени, при котором непрерывное фильтрационное поле  $H(x, y, z)$  заменяется фиктивной сеточной областью, характеризующейся величинами напоров  $H(x_j, y_i, t_k)$  во всех узловых точках сетки на ряд моментов времени с шагом  $\Delta t$ :

$$\frac{H_{j-1,i}^t - H_{j,i}^t}{\Phi_{j-1,j}} - \frac{H_{j,i}^t - H_{j+1,i}^t}{\Phi_{j,j+1}} + \frac{H_{j,i-1}^t - H_{j,i}^t}{\Phi_{i-1,i}} - \frac{H_{j,i}^t - H_{j,i+1}^t}{\Phi_{i,i+1}} \pm W_{j,i} \Delta x_j \Delta y_i = \mu_{j,i} \Delta x_j \Delta y_i \frac{H_{j,i}^t - H_{j,i}^{t-\Delta t}}{\Delta t} \quad (2)$$

где:

$\Phi$  – фильтрационное сопротивление потока между расчетными блоками, выраженное через размеры блоков ( $\Delta x, \Delta y$ ) и значения проводимостей.

Естественные гидрогеологические условия и техногенные возмущающие факторы отображены на 6-ти слойной математической модели шахтного поля, где первый и второй расчетные слои отражают водоносный комплекс мезо-кайнозойских отложений, а нижние (3 – 6) – обрабатываемые угольные пласты и породы зоны водопроводящих трещин ( $C_6, C_5, C_4, C_1$ ), имеющие непосредственный выход под мезо-кайнозойские отложения (Рис. 1).

В ненарушенных условиях мезо-кайнозойские отложения получают питание за счет инфильтрации атмосферных осадков, а разгружаются – в реку Самару и ее притоки. Кроме того, имеются искусственные возмущающие источники – водозаборные сооружения, пруды-накопители и дренажные конструкции, включая горные выработки различного эксплуатационного назначения.

Идентификация модели сопровождается решением ряда эпигнозных или обратных задач в естественной и нарушенной горными работами гидродинамической обстановке. По положению уровней подземных вод и величин водопритоков уточняются граничные условия, фильтрационные и емкостные параметры.

Окончательная оценка результатов идентификации выполняется по данным функционирования объекта, при котором на модели воспроизводятся процессы, фактические данные о протекании которых зафиксированы в натуральных условиях. Для этого имитируется процесс отработки угольных пластов согласно планам горных работ в периоды, где зафиксированы изменения внутренних (наращивание отметок в пруде-накопителе) или внешних (влияние соседних шахт) граничных условий, характерные изменения величин водопритоков, а также имеются данные режимных наблюдений (Табл. 1).

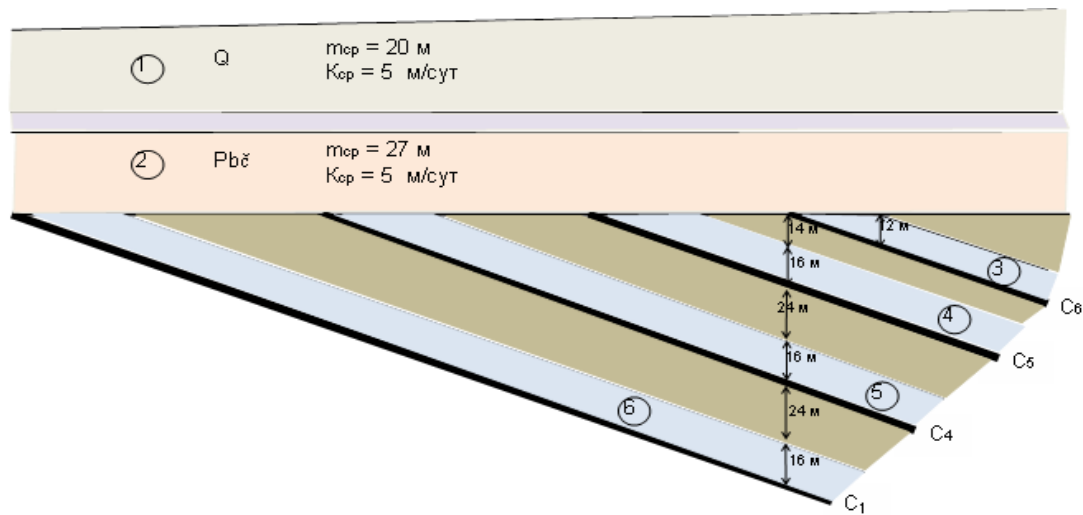


Рисунок 1. Схематический разрез модели

Таблица 1. Контрольные данные для моделирования

Периоды времени	Величина водопритока, м <sup>3</sup> /час					Горизонт 300 м	Шахтные стволы	Отметка воды в пруде-накопителе, м (минерализация, г/дм <sup>3</sup> )
	Общешахтный	Отрабатываемые угольные пласты (расчетные слои)						
		C <sub>1</sub> (6)	C <sub>4</sub> (5)	C <sub>5</sub> (4)	C <sub>6</sub> (3)			
1970 – 1980	103	67	13	—	—	10	13	77.0 (19.0)
1980 – 1985	122	63	42	—	—	5	12	80.0 (25.0)
1985 – 1997	439	134	141	109	—	42	13	80.0 (5.20)
1997 – 2006	427	175	127	85	—	29	11	80.0 (3.80)
2006 – 2013	480	285	—	187	—	—	8	80.0 (6.60)

В процессе воспроизведения на модели эпигной гидродинамической ситуации подтверждена ее адекватность реальному объекту с погрешностью баланса 0.3 – 0.7%, водопритоков – до 5% и установлены факторы формирования нарушенного техногенного режима подземных и поверхностных вод, в том числе на территории подработанных жилых домов в с. Богдановка.

Звеном, претерпевшим наибольшие изменения в работе системы “шахтный водоотлив – сброс шахтных вод” (Рис. 2), является гидрогеохимическое состояние подземных вод на прилегающей территории. Доминирующее влияние на изменение гидрогеохимического и гидрогеохимического режима подземных вод мезо-кайнозойских отложений оказывают шахтный водоотлив и эксплуатация пруда-накопителя в балке Таранова.

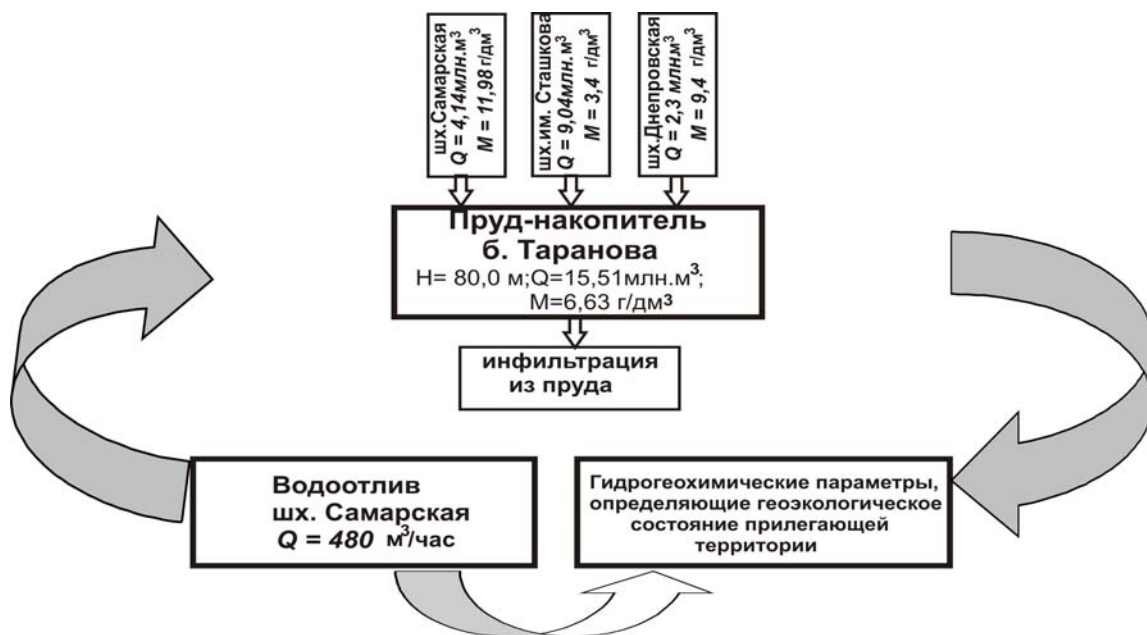


Рисунок 2. Схема водообмена в пределах поля шахты “Самарская”

Отработка гидродинамически открытых угольных пластов С<sub>1</sub>, С<sub>4</sub>, С<sub>5</sub> привела к существенному понижению уровней подземных вод до 2.4 м в водоносном комплексе четвертично-неогеновых отложений (Рис. 3а) и до 3.6 м – в бучакском водоносном горизонте (Рис. 3б). При этом максимальные понижения уровней фиксируются на границе с полем шахты им. Н.И. Сташкова – 6.4 – 8.6 м.

Влияние пруда-накопителя на первый от поверхности водоносный комплекс проявляется повышением уровня подземных вод в радиусе около 600 м.

Подъем уровня подземных вод в районе пруда достигает 7.6 м (Рис. 3а), а в водоносном комплексе бучакских отложений влияние пруда нивелируется дренажным действием горных выработок (Рис. 3б).

По результатам моделирования установлено, что изменение уровня режима подземных вод прилегающей территории с. Богдановка практически не отличается от значений сезонных колебаний уровня. Это подтверждается также данными многолетних режимных наблюдений (Derzhak & Chemeris, 2014).

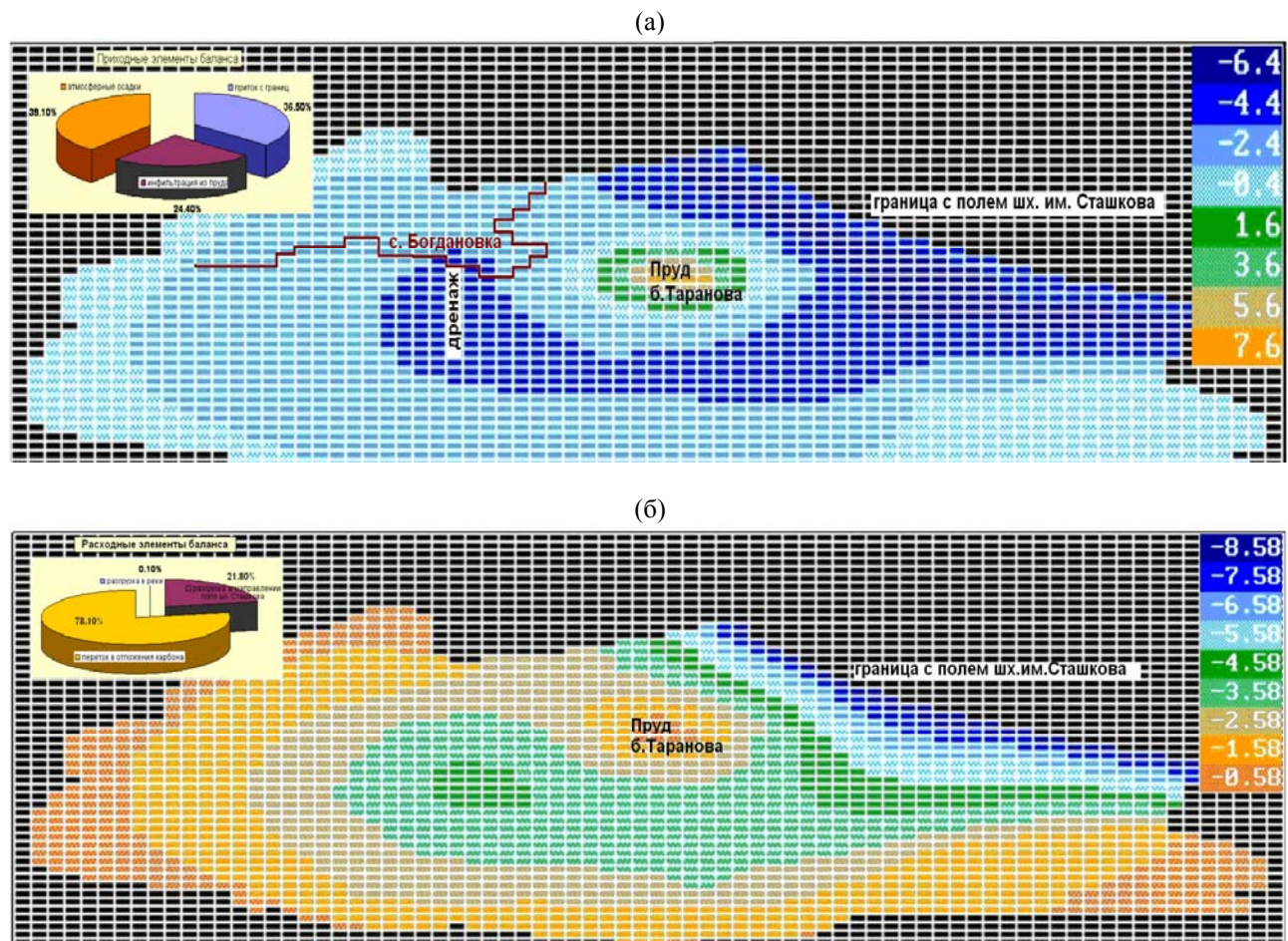


Рисунок 3. Изменение уровня подземных вод на поле шахты “Самарская”: (а) верхний водоносный комплекс; (б) водоносный комплекс бучакских отложений

Основное влияние на экологическую ситуацию техногенно нагруженной территории с. Богдановка оказывает растекание купола засоления при увеличении отметок зеркала воды пруда-накопителя в б. Таранова, куда сбрасываются шахтные воды шахт им. Н.И. Сташкова, “Днепровская”, “Самарская”, и увеличение минерализации первых от поверхности водоносных горизонтов.

Тенденция к опреснению эксплуатируемого для водоснабжения горизонта (2006 – 2015 гг.) связана с увеличением объемов сброса менее минерализованных шахтных вод шахты им. Н.И. Сташкова, а также перемещением фронта горных работ в восточную часть от пруда-накопителя.

На математической фильтрационной модели решена также прогнозная задача по оценке условий

обводнения горных выработок при вскрытии и пересечении квершлагом зоны тектонического нарушения (ЗТН) Богдановского сброса. Подобного опыта пересечения горными выработками нарушения с амплитудой смещения более 300 м в Западном Донбассе не существует. Опытно-фильтрационные гидрогеологические исследования в зоне продольного сброса были проведены ранее (Timoshenko & Zaezhev, 1977) на участке, где в лежачем крыле разрабатываются угольные пласты ш. “Благодатная”, а висячем – ш. им. Героев Космоса. Данные фактической откачки с глубоким водопонижением воспроизведены на модели в виде серии экспериментов по динамике откачки и восстановлению уровня. Это позволило определить параметры фильтрационных и емкостных свойств тектонически нарушенной зоны (Табл. 2).

Таблица 2. Гидродинамические параметры зоны тектонических нарушений

Дебит скважины, м <sup>3</sup> /сут	Время, сут	Понижение, м		Коэффициент фильтрации, м/сут		Коэффициент упругой водоотдачи		Проницаемость разделяющей толщи, м <sup>-1</sup>	
		Факт	Модель	ЗТН	Засбросовая площадь	ЗТН	Засбросовая площадь	ЗТН	Засбросовая площадь
2.600	3	92.1	93.0	10 <sup>-4</sup>	пласт С <sub>6</sub>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	2.3·10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-5</sup>
					Засбросовая площадь				
0.086	4	128	124	10 <sup>-6</sup>	пласт С <sub>1</sub>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-5</sup>	1.6·10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-5</sup>
					Засбросовая площадь				

Установленные параметры проницаемости ЗТН заданы на модели на участках распространения Алефировского и Богдановского сбросов при решении прогнозных задач (Рис. 4).

Зафиксированная динамика откачки и восстановления уровня характерна для упругого режима фильтрации с низкими параметрами упругоэластичности ( $\mu^* = 10^{-6} - 10^{-7}$  для ЗТН) и проницаемости

( $k_{\phi} = 10^{-4} - 10^{-6}$  м/сут). В таких условиях скорость распространения возмущений на несколько порядков выше скорости реакции безнапорных пластов и режим фильтрации быстро переходит в стационарный. Об этом свидетельствуют результаты прогнозных решений в условиях ведения горных работ в зоне тектонических нарушений (Рис. 4, 5).

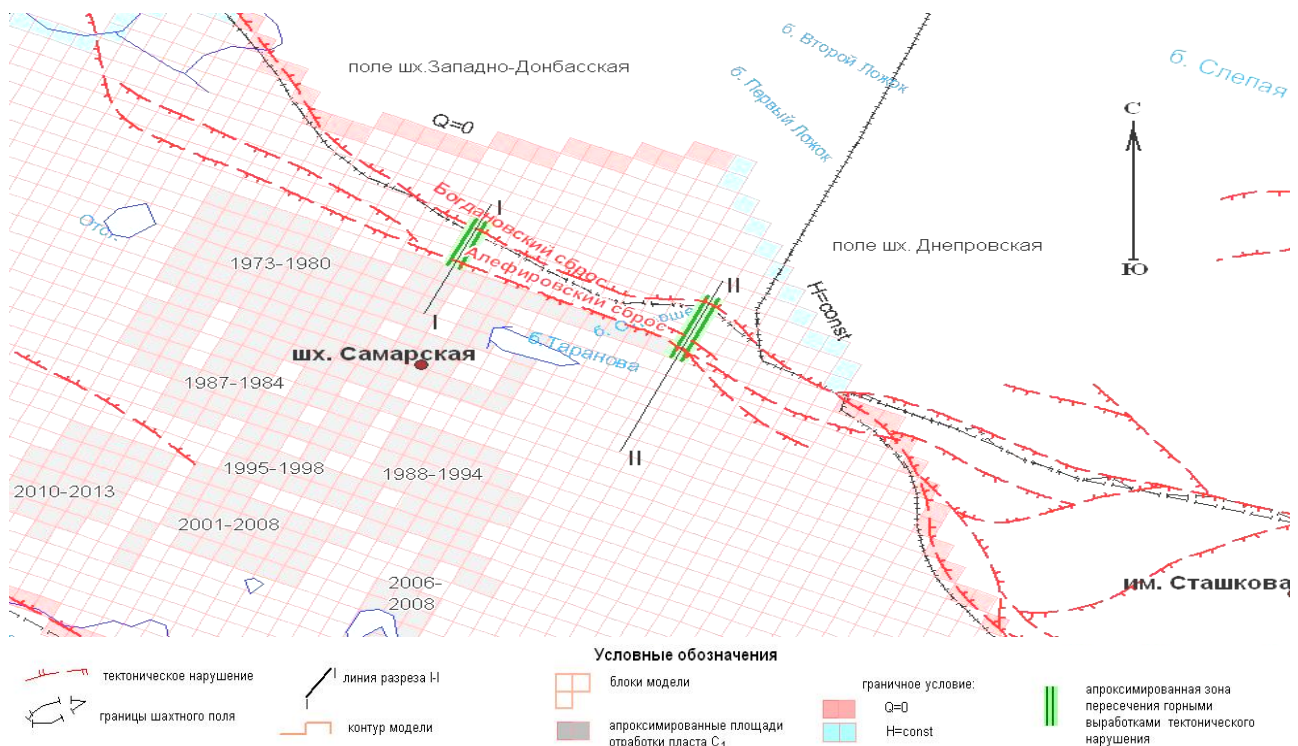


Рисунок 4. Схема пересечения горными выработками зон тектонических нарушений в двух коридорах (фрагмент моделируемого пласта С<sub>1</sub> ш. "Самарская")

Уровни подземных вод реагируют на проходку выработок (дрен) в ЗТН понижением напоров до 165 м (Рис. 5), при этом в течение трех суток устанавливается стационарный режим фильтрации. Следует отметить, что такой характер понижения уровня в дрене (выработке) поясняется сопряжением зон с проницаемостью и емкостью, отличающейся на несколько порядков (Табл. 2). Поэтому понижение уровней вне тектонических зон значительно меньше и составляет 2.49 м в северо-западном коридоре (Рис. 5) и 6.8 м – в юго-восточном.

Прогнозные величины водопритоков по выработкам северо-западного коридора составят 0.08 – 0.1 м<sup>3</sup>/час, юго-восточного – 0.12 – 0.25 м<sup>3</sup>/час.

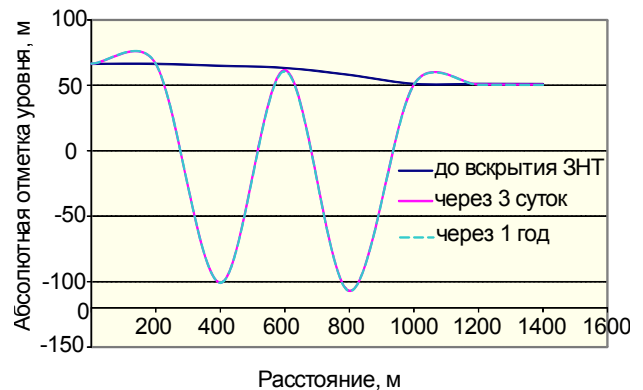


Рисунок 5. Понижение уровня над выработками (коридор I – I)

Такие водопритоки проявляются в горных выработках в виде увлажненных стенок и редкого капежа. Выполненный прогноз составил основу организации гидрогеомеханического мониторинга при пересечении Богдановского сброса кварцшлагом. Фактические водопритоки не превышали  $0.05 \text{ м}^3/\text{час}$ , что свидетельствует о корректности построенной модели и достаточно высокой достоверности выполненных гидродинамических прогнозов.

### 3. ВЫВОДЫ

Гидродинамическая модель шахтного поля, идентифицированная путем имитации техногенного режима подземных вод, сформировавшегося в разные периоды эксплуатации шахты, имеет достаточно высокую сходимость с объектом исследования (погрешность баланса  $0.3 - 0.7\%$ , водопритоков до  $5\%$ ) за счет установленных закономерностей изменения параметров проницаемости во времени и пространстве. Для зоны тектонически нарушенных пород характерны гидродинамические возмущения упругого характера с параметрами упругоэластичности ( $\mu^* = 10^{-6} - 10^{-7}$ ) и проницаемости ( $k_{\phi} = 10^{-4} - 10^{-6} \text{ м/сут}$ ), сопоставимыми с ненарушенным слабопроницаемым массивом горных пород из аргиллитов, алевролитов, песчаников, что позволяет проходить горные выработки без специальных мероприятий. Высокая достоверность прогнозных решений позволила обосновать и применить специальный гидрогеомониторинг прохождения кварцшлага через тектоническую зону сброса с амплитудой более  $300 \text{ м}$  и предупредить аварийную ситуацию с водопроявлениями при минимальных затратах.

Установленные закономерности формирования режима подземных вод приповерхностного водоносного комплекса позволили дифференцировать природную и техногенную составляющие в нарушении гидрогеохимического состава подземных вод, используемых для водоснабжения, а также определить параметры водоотбора.

### ABSTRACT (IN RUSSIAN)

**Цель.** Обоснование экологически приемлемых и технически безопасных схем ведения горных работ в нарушенных гидрогеологических и геомеханических условиях путем создания адаптированной фильтрационной модели шахтного поля.

**Методика.** Численное математического моделирование процессов геофильтрации в гетерогенном по емкости и проницаемости горном массиве с учетом взаимосвязи подземных и поверхностных вод, перетекания через разделяющие слабопроницаемые слои, а также изменения граничных условий и геофильтрационных параметров во времени и пространстве.

**Результаты.** Гидродинамическая модель шахтного поля идентифицирована путем имитации техногенного режима подземных вод, сформировавшегося в разные периоды эксплуатации шахты. Ее достоверность подтверждена результатами прогнозных решений по оценке величин водопритоков в зоне высокоамплитудного тектонического нарушения, которые имеют высокую сходимость с фактическими данными при проходке горных выработок (до  $95\%$ ). Количественно установлено влияние горных работ и эксплуатации пруда-накопителя шахтных вод на режим подземных вод приповерхностного водоносного горизонта, определяющего экологическую обстановку и водопользование.

**Научная новизна.** Установлены закономерности изменения фильтрационных и емкостных параметров во времени и пространстве в условиях нестационарной геодинамики массива горных пород. Для пород зоны тектонического нарушения выявлены гидродинамические возмущения упругого характера с величинами упругоэластичности и проницаемости, сопоставимыми с ненарушенным слабопроницаемым массивом горных пород из аргиллитов, алевролитов, песчаников.

### БЛАГОДАРНОСТЬ

Исследования выполнены при финансовой поддержке компании ПАО «ДТЕК Павлоградуголь» и ПСП «Шахтоуправление Терновское». Авторы благодарны компании за организацию и помощь в проведении гидродинамического и геомеханического мониторинга в горных выработках шахты.

### REFERENCES

- Derzhak, S., & Chemeris, B. (2014). *Informatsionnyiy otchet o rezultatah rezhimnykh gidrogeologicheskikh nablyudeniy po vedomstvennoy seti nablyudatelnykh skvazhin PAO "DTEK Pavlogradugol"* (pp. 3-59). Dnipropetrovsk: National Mining University.
- Fomin, V. (2015). Prognozirovanie izmeneniya pritoka podzemnykh vod v likvidirovannuyu shahtu. *Ugol Ukrainy*, (5), 20-24.
- Norvatova, O. (2007). Tipizatsiya gidrogeologicheskikh usloviy zatopeniya shaht. *GIAB*, (1), 117-120.
- Sadovenko, I. (1991). Sintezirovanie chislennykh modeley pri reshenii zadach upravleniya geofiltratsionnyim sostoyaniem gornogo massiva. *Izvestiya vuzov. Gornyy zhurnal*, (12), 19-22.
- Sadovenko, I., Rudakov, D., & Podvigina, O. (2010). Analysis of hydrogeodynamics in a mining region during exploitation till closure of coal mines. *New Techniques and Technologies in Mining: School of Underground Mining 2010*, 61-69. <http://dx.doi.org/10.1201/b11329-12>
- Tammetta, P. (2012). Estimation of the Height of Complete Groundwater Drainage Above Mined Longwall Panels. *Groundwater*, 51(5), 723-734. <http://dx.doi.org/10.1111/gwat.12003>
- Timoshenko, O., & Zaezhev, N. (1977). Otchet "O gidrogeologicheskikh issledovaniyakh na pole shahty "Zapadno-Donbasskaya" i 6/42 (im. Geroev Kosmosa) s tselyu izucheniya usloviy obvodneniya plasta C<sub>7</sub> v zone Bogdanovskogo sbrosa, 3-53.

**Практическая значимость.** Установленные закономерности формирования режима подземных вод приповерхностного водоносного комплекса позволили дифференцировать природную и техногенную составляющие в нарушении гидрогеохимического состава подземных вод, используемых для водоснабжения, а также определить параметры водоотбора. Высокая достоверность прогнозных решений позволила обосновать и применить специальный гидрогеомониторинг прохождения квершлага через тектоническую зону сброса с амплитудой более 300 м и предупредить аварийную ситуацию с водопроявлениями при минимальных затратах.

**Ключевые слова:** геофильтрационные параметры, горный массив, моделирование, прогноз водопритоков, шахта

## ABSTRACT (IN UKRAINIAN)

**Мета.** Обґрунтування екологічно прийнятних та технічно безпечних схем ведення гірничих робіт в порушених гідрогеологічних і геомеханічних умовах шляхом створення адаптованої фільтраційної моделі шахтного поля

**Методика.** В якості методики дослідження для представленої роботи були використані аналітичні розрахунки. В статті на основі теорії пружності, стійкості і максимальної рівноваги розроблена і використана математична модель напружено-деформованого стану гірського масиву.

**Результати.** Гідродинамічна модель шахтного поля ідентифікована шляхом імітації техногенного режиму підземних вод, що сформувався в різні періоди експлуатації шахти. Її достовірність підтверджена результатами прогнозних рішень щодо оцінки величин водопритоків у зоні високоамплітудного тектонічного порушення, які мають високу збіжність з фактичними даними при проведенні гірничих виробок (до 95%). Кількісно встановлено вплив гірничих робіт і експлуатації ставка-накопичувача шахтних вод на режим підземних вод приповерхневого водоносного горизонту, що впливає на екологічну обстановку і водокористування.

**Наукова новизна.** Встановлено закономірності зміни фільтраційних і смісних параметрів у часі й просторі в умовах нестационарної геодинаміки масиву гірських порід. Для порід зони тектонічного порушення виявлені гідродинамічні збурення пружного характеру з величинами пружності й проникності, порівняними з непорушеним слабопроникним масивом гірських порід з аргілітів, алевролітів, пісковиків.

**Практична значимість.** Встановлені закономірності формування режиму підземних вод приповерхневого водоносного комплексу дозволили диференціювати природну і техногенну складові в порушенні гідрогеохімічного складу підземних вод, які використовуються для водопостачання, а також визначити параметри водовідбору. Висока вірогідність прогнозних рішень дозволила обґрунтувати і застосувати спеціальний гідрогеомониторинг проходження квершлага через тектонічну зону скиду з амплітудою більше 300 м і попередити аварійну ситуацію з водопроявленнями при мінімальних витратах.

**Ключові слова:** геофільтраційні параметри, гірський масив, моделювання, прогноз водопритоків, шахта

## ARTICLE INFO

Received: 17 October 2015

Accepted: 3 December 2015

Available online: 30 March 2016

## ABOUT AUTHORS

Ivan Sadovenko, Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Hydrogeology and Engineering Geology, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 1/54, 49005, Dnipropetrovsk, Ukraine. E-mail: [alinanik@bigmir.net](mailto:alinanik@bigmir.net)

Alina Zagrytsenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Hydrogeology and Engineering Geology, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 7/1203, 49005, Dnipropetrovsk, Ukraine. E-mail: [alinanik@bigmir.net](mailto:alinanik@bigmir.net)

Olena Podvigina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Hydrogeology and Engineering Geology, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 7/1203, 49005, Dnipropetrovsk, Ukraine. E-mail: [leka@hotmail.ru](mailto:leka@hotmail.ru)

Natalia Dereviagina, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of Department of Hydrogeology and Engineering Geology, National Mining University, 19 Yavornytskoho Ave., 1/54, 49005, Dnipropetrovsk, Ukraine. E-mail: [natali.derev@gmail.com](mailto:natali.derev@gmail.com)