

УДК 556.491:622

Геолого-гидрогеологическая история развития угольной промышленности Западного Донбасса в математических моделях

Г. П. Евграшкина, В. К. Марченко

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, Днепр, Украина, e-mail: marchenko_lera@i.ua

Постоянно действующая математическая модель – это региональная, многофункциональная гидрогеологическая задача, которая ограничена в пространстве и бесконечна во времени. Главным недостатком такой модели является только общая характеристика техногенных изменений режима подземных вод. Исходя из этого режимная модель не может быть единственной основой для разработки природоохранных мероприятий гидрогеологической направленности. Поэтому она дополнена математическими моделями территорий, прилегающих к локальным объектам техногенного влияния на подземные воды. В основу создания математических моделей изменения гидрогеологических условий территорий, прилегающих к техногенным объектам негативного влияния на подземные воды, положены три теории – фильтрации, физико-химической гидродинамики пористых сред и скважин. На основе теории одиночных и взаимодействующих скважин на математических моделях отображена в хронологическом порядке последовательность ввода в эксплуатацию угольных шахт, их взаимопонижающее действие, варианты закрытия. Адекватность моделей и оригиналов подтверждена режимными наблюдениями по скважинам в зоне влияния шахтного водоотлива.

Ключевые слова: математическая модель, теория скважин, режимные наблюдения, адекватность, депрессионная воронка, подземные воды

Geological and hydrogeological history of development of the coal industry of the Western Donbass in mathematical models

G. P. Yevgrashkina, V. K. Marchenko

Oles Honchar Dnipropetrovsk national university, Dnipro, Ukraine, e-mail: marchenko_lera@i.ua

Constantly operating mathematical model is regional, multifunction hydrogeological task. A model limits in space and endless in time. General description of technogenic changes of the mode of underwaters it is the main flaw. Based on this for development of nature protection measures to the hydrogeological orientation a regime model cannot be only foundation. Therefore it is complemented by the mathematical models of territories that fit closely to the local objects of technogenic influence on underwaters. In hired the mathematical models of change of hydrogeological terms of territory are examined in the affected of the mine pumping zone A model consists of two parts - lauter and migratory. Filtration in a general view is described by three-dimensional equalizations of mathematical physics of parabolic kind in partials. Three theories - filtration, physical and chemical hydrodynamics of porous environments and mining holes fixed in basis of creation of mathematical models of change of hydrogeological terms of territories. On the basis of theory of physical and chemical hydrodynamics of porous environments the modern methods of prognosis of transfer of substance were worked out underground to waters near-by the sources of contamination. In obedience to this theory processes are described by equalizations of motion and maintenance of mass of substance. These territories fit closely to the technogenic objects of negative influence on underwaters. Sequence of putting into the operation of coal mines, their lowering action, closing variants mining holes on mathematical models represented in a chronological order on the basis of theory of single and interactive mining holes. Adequacy of models and originals is confirmed by regime supervisions on mining holes in the affected of the mine pumping zone. Conducting work it is possible to draw conclusion that the theory of mining holes is applicable at the decision of tasks of the mine pumping. At influence of pumping on adherent territories in the process of exploitation and in connection with closing of mines.

Keywords: mathematical model, theory of wells, regime observations, adequacy, theory of mining, underground waters.

Введение. Комплексные многоплановые гидрогеологические исследования на территории Западного Донбасса на протяжении многих лет, начиная с 1960 года, выполняет Павлоградская геолого-разведочная экспедиция (ПГРЭ). Они включают детальную разведку и оценку запасов подземных вод, режимные наблюдения, изучение закономерностей формирования водопритоков в горные выработки. Фильтрационные исследования с целью прогноза производительности водозаборов выполнены в 1967 – 1969 гг. методом ЭГДА (электродинамических аналогий) сотрудниками Научно-

исследовательского института геологии ДГУ. С этого момента начинается непрерывное сотрудничество науки и практики по проблеме научного обоснования комплекса природоохранных мероприятий гидрогеологической направленности в горнодобывающем регионе Западный Донбасс. Следующим этапом было участие в создании постоянно действующей математической модели (ПДММ) изменения гидрогеологических условий горнодобывающей части Западного Донбасса.

Материалы и методы исследований. Исходные данные для создания ПДММ подготовила Павлоградская ГРЭ. Математической основой её взята комплексная программа «Прогноз 1», разработанная в лаборатории гидрогеологических прогнозов и охраны подземных вод Днепропетровского отделения Института минеральных ресурсов, затем Украинского государственного геолого-разведочного института. Модель состоит из двух частей – фильтрационной и миграционной [Yevgrashkina, G.P. 2003.]. По нашему определению, ПДММ – это региональная, многофункциональная, непрерывно совершенствуемая гидрогеологическая задача, ограниченная в пространстве и бесконечная во времени. ПДММ Западного Донбасса наряду с множеством несомненных достоинств имеет недостаток. Ввиду её относительно мелкого масштаба (1 : 100 000) она даёт лишь общую характеристику техногенных изменений режима подземных вод исследуемого региона и не может быть единственной научной основой для разработки природоохранных мероприятий гидрогеологической направленности. Поэтому она дополнена математическими моделями территорий, прилегающих к локальным объектам техногенного влияния на подземные воды. Это пруды-накопители, хвостохранилища, шахтные отвалы, шахтный водоотлив. Три первых вида техногенных объектов уже достаточно освещены в научных публикациях [Yevgrashkina, G.P. 2003.]. Здесь рассматриваются математические модели изменения гидрогеологических условий территории в зоне влияния шахтного водоотлива. Хронологическая последовательность ввода шахт в эксплуатацию и характеристика гидрогеологических условий эксплуатации представлены в таблице. 1.

Таблица 1

Гидрогеологическая характеристика шахт Западного Донбасса

Расчетный номер шахты	Название шахт	Год ввода в эксплуатацию	Глубина горных выработок от поверхности земли, м	Величина шахтного водоотлива, тыс. м ³ минерализация, г/дм ³	Индексы дренируемых горизонтов	Средневзвешенная водопроницаемость дренируемой толщи T, м ² /сут.	Средневзвешенная упругая водоотдача дренируемой толщи μ^* , д. ед.	Средневзвешенная гравитационная водоотдача μ , д. ед.	Пьезопроводность a^* , м ² /сут.	Уровнепроводность a , м ² /сут.
1	«Першотравнева»	1963	180-200	$\frac{12,33}{2,90}$	P ₂ , C _{IV}	132	0,009	0,1	14 666	1 400
2	«Герновская»	1964	100	$\frac{6,74}{2,6}$	P ₂ , C _{IV}	70	0,008	0,09	8 750	778
3	«Степная»	1965	145-250	$\frac{21,0}{3,5}$	P ₂ , C _{IV}	140	0,009	0,1	15 556	1 400
4	«Павлоградская»	1968	105	$\frac{6,86}{6,3}$	P ₂ , C _{IV}	73	0,008	0,07	9 125	1 042
5	«Юбилейная»	1970	180-230	$\frac{24,39}{2,21}$	P ₂ , C _{IV}	161	0,009	0,11	17 888	1463,6
6	«Благодатная»	1971	115	$\frac{7,78}{15,0}$	P ₂ , C _{IV}	86	0,008	0,09	10 750	955,6
7	«Самарская»	1973	160	$\frac{8,81}{7,5}$	P ₂ , C _{IV}	80	0,007	0,08	11 428	1 000
8	«Днепровская»	1975	260	$\frac{5,34}{6,0}$	P ₂ , C _{IV}	42	0,006	0,09	7 000	466,7
9	«Героев Космоса»	1979	470	$\frac{1,0}{37,1}$	C _{IV}	2	0,001	0,07	2 000	285,7
10	«Западно-Донбасская»	1980	585	$\frac{1,13}{27,38}$	C _{IV}	2	0,001	0,07	2 000	285,7

11	Имени Сташкова	1982	140	$\frac{43,66}{2,66}$	$\frac{P_2}{C_{IV}}$	120	0,008	0,11	15 000	1 090,9
----	----------------	------	-----	----------------------	----------------------	-----	-------	------	--------	---------

Последовательность ввода шахт в эксплуатацию такова. Первой была построена шахта «Першотравнева» в 1963 году. Она входит в восточную группу из трех шахт вместе со «Степной» и «Юбилейной» (рис. 1).

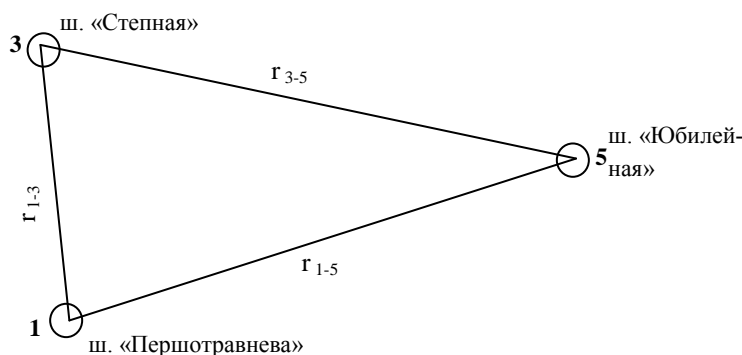


Рис. 1. Схема расположения восточной группы шахт, масштаб 1 : 100 000, $r_{3,5} = 4 100$ м; $r_{1,3} = 2 200$ м; $r_{1,5} = 4 200$ м

Как одиночная «скважина» она работала два года, водоотлив также осуществлялся в течении всего периода строительства и двух лет эксплуатации, всего четыре года. Он был максимальным – 31 тыс. м³/сут. Упругие запасы из-за очень малой величины μ^* в продуктивной толще срабатываются практически мгновенно по сравнению с продолжительностью эксплуатации шахты, и начинается перетекание пресных вод палеогена сверху вниз, что приводит к увеличению сброса и уменьшению его минерализации. За четыре года достигнуто полное осушение ствола и шахтного поля на глубину до подошвы горных выработок 200 м. Результаты эпигнозного расчета хорошо согласуются с фактическими данными, что подтверждает достоверность определения гидрогеологических параметров, представленных в таблице 1.

Для решения поставленных задач здесь и далее применен метод смены стационарных состояний. В предложенном варианте он включает множество решений обратных задач по определению условного радиуса питания R в неустановившемся режиме на разные сроки эксплуатации шахты и соответствующие им решения прямых задач для расчёта величин понижения в шахте. Используется решение (1), которое в такой постановке задачи в неявном виде учитывает изменение функции S во времени через величину R , формула (2).

Формулы записаны с индексами, соответствующими расчетному номеру шахты «Першотравнева» № 1.

$$S_1 = \frac{Q_1}{2\pi T_1} \ln \frac{R_1}{r_{ш}}; \quad (1)$$

$$R_1 = 1,5\sqrt{a_1 t}. \quad (2)$$

В формулах (1) – (2) используются такие обозначения:

S_1 - понижение в стволе шахты, м;

Q_1 - водоотлив м³/с.;

T_1 - средневзвешенная величина водопродимости дренируемой толщи, м²/с.;

R_1 - условный радиус питания, м;

t_1 - продолжительность водоотлива, включающая время строительства и эксплуатации на расчетный момент времени, с.;

$r_{ш}$ - радиус ствола шахты, м.

Эпигнозный расчет по формулам (1) и (2) выполнен на четыре года, расчетное понижение $S_1 = 203,43$ м, при фактическом 200 м. Относительная погрешность составляет 1,5 %, высокая степень достоверности подтверждает правильность определения параметров и выбора метода расчета.

В 1965 году сдана в эксплуатацию шахта «Степная». Расположена на расстоянии $r_{1,3} = 2200$ м от ш. «Першотравнева». Они работают как две одиночные скважины, пока выполняется условие:

$$R_1 < r_{1,3} \quad (3)$$

$$R_3 < r_{1,3} \quad (4)$$

где R_1, R_3 – условные радиусы питания шахт «Першотравнева» и «Степная» с расчетными номерами 1 и 3.

При $t_1 = 5$ лет (1966 г) $R_1 = 2\,328$ м. Величина t_1 здесь включает два года водоотлива во время строительства, два года работы в статусе одиночной скважины и один год эксплуатации вместе с ш. «Степная». Неравенство $R_1 > r_{1,3}$ будет справедливым уже в 1966 году. Неравенство (4) на конец 1966 года остается в силе $R_3 = 1\,857$ м. Шахта «Першотравнева» уже оказывает понижающее влияние на ш. «Степная» без обратной связи.

Перед вводом в эксплуатацию ш. «Юбилейная», конец 1969 года $R_1 = 3\,123$ м, $R_3 = 2\,857$ м, две шахты («Першотравнева» и «Степная») работают как две взаимодействующие «скважины». Это минимальное количество, соответствующее научному определению «линейный ряд». С этого момента в расчеты вместо условного радиуса питания вводится приведенный радиус влияния:

$$R_{пр} = R + 0,37l, \quad (5)$$

где l – расстояние между скважинами, уже обозначенное как $r_{1,3}$, м.

В нашем случае:

$$R_{1пр} = R + 0,37r_{1-3}; \quad (6)$$

$$R_{3пр} = R + 0,37r_{1-3}; \quad (7)$$

С начала 1970 года вступила в эксплуатацию ш. «Юбилейная». Доэксплуатационный водоотлив продолжался один год. Понижающее влияние соседних шахт начинается со стороны «Першотравневой» через 12 лет её работы в 1975 году и через 11 лет с начала эксплуатации со стороны «Степной» – в 1976 году. Через один год эксплуатации условный радиус питания ш. «Юбилейная» составит $R_5 = 514$ м (2). Понижение в стволе при максимальном водоотборе $Q_5 = 48,80$ тыс. м³/сут, S_5 рассчитанное по формуле (2), составит 248 м, что соответствует максимальной глубине горных выработок. Таким образом, эпигнозные расчеты и фактический материал хорошо согласуются. Водопонижающее влияние на соседние шахты она начнет оказывать через 15 лет от начала эксплуатации, т. е. с начала 1986 г, когда R_5 будет равно 4 245 м при $r_{1,5} = 4\,200$ м и $r_{3,5} = 4\,100$ м. С начала 1986 года все три шахты начали работать в режиме «взаимодействующих скважин». В последующих расчетах для схемы «произвольное расположение трех взаимодействующих скважин» вводится приведенный радиус влияния $R_{пр}$. Он рассчитывается следующим образом:

$$R_{пр} = R + R', \quad R' = \sqrt{\frac{F}{\pi}}, \quad (8)$$

где R – условный радиус питания, м;

R' – радиус равновеликого круга для треугольника, в вершинах которого расположены шахты, м;

F – площадь треугольника, определенная как произведение половины длины основания на высоту h , м²:

$$F = \frac{r_{1-3} \cdot h}{2} = \frac{2\,200 \cdot 4\,000}{2} = 44 \cdot 10^5 \text{ м}^2, \quad R' = 1\,183,8 \text{ м.}$$

В формуле (8) присутствуют две составляющие приведенного радиуса влияния: переменная величина $R = f(t)$ и R' – постоянное слагаемое для конкретного расположения скважин. Результаты расчета величины R и $R_{пр}$ на различные сроки представлены в таблице 2.

Результаты расчета величин R и $R_{пр}$

Конец расчетного года	ш. «Першотравнева»		ш. «Степная»		ш. «Юбилейная»	
	Условный радиус питания R , м	Приведенный радиус влияния $R_{пр}$, м	Условный радиус питания R , м	Приведенный радиус влияния $R_{пр}$, м	Условный радиус питания R , м	Приведенный радиус влияния $R_{пр}$, м
1	2	3	4	5	6	7
1985	4 999	6 183	4 913	6 097	4 246	5 430
1990	5 509	6 693	5 467	6 651	4 904	6 087
1995	5 981	7 165	5 970	7 154	5 482	6 666
2000	6 418	7 602	6 433	7 617	6 006	7 190
2005	6 827	8 011	6 865	8 049	6 487	7 671
2010	7 213	8 397	7 272	8 456	6 935	8 119
2015	7 580	8 764	7 657	8 841	7 356	8 540
1	2	3	4	5	6	7
2 020	7 860	9 044	7 952	9 136	8 130	9 314
2 025	8 198	9 382	8 527	9 711	8 305	9 489

После закрытия шахты Першотравнева в 2000 году работает линейный ряд длиной 4 100 м. Шахты «Степная» и «Юбилейная» при водоотборе до закрытия будут понижать уровень в стволе ш. «Першотравнева» на 34, 95 м [Yevgrashkina, G.P., Butok, S. A. 2008]. Дополнительная откачка не понадобится. В связи с изменившейся энергетической ситуацией возможна её реставрация, так как запасов угля там осталось ещё на 20 лет. Объектом дальнейших исследований будут шахты «Павлоградская», «Благодатная» и «Героев Космоса» из центральной группы. Рассмотрен также вариант закрытия ш. «Юбилейная» [Yevgrashkina, G.P., Haritonov, M. M. 2007]. Научное обоснование реструктуризации угольной промышленности представлено в работе [Bondarenko, V. I., Salli, V. I., Kuz'menko, A. M., Kotov, Ju. V., Dychkovskij, R. E., Sytnik, V. V. 2003].

- Выводы.** 1. Теория скважин применима при решении задач шахтного водоотлива, его влияния на прилегающие территории в процессе эксплуатации и в связи с закрытием шахт.
2. Эпигнозные задачи подтверждают адекватность математических моделей и фактических данных.
3. Метод смены стационарных состояний обеспечивает высокую точность при решении прямых прогнозных задач.
4. Научное обоснование реструктуризации угольной промышленности необходимо завершить практическим осуществлением с переходом на европейский технический уровень.

Библиографические ссылки

- Bondarenko, V. I., Salli, V. I., Kuz'menko, A. M., Kotov, Ju. V., Dychkovskij, R. E., Sytnik, V. V. 2003. Puti restrukturyzatsii shaht GHK "Pavlogradugol" pri investirovanii proizvodstva" [Ways of restructuring the mines holding company "Pavlogradugol when investing production"]. Sbornik nauchnyh trudov nacional'nogo gornogo universiteta. Dnepropetrovsk. 65-70 (in Russian).
- Yevgrashkina, G.P. 2003. Do problemi rekultivatsii shahtnih vidvaliv [To the problem of reclaiming the mine dumps]. Geologija i geohimija gorjuchih kopalyn: 3-4. 117-125 (in Ukrainian).
- Yevgrashkina, G.P. 2003. Prud-nakopitel' sbrosnyh shahtnyh vod "Svidovok" v Zapadnom Donbasse i ego jekologicheskie problemy [The storage pond waste mine waters "Svidovok" in the Western Donbass and its environmental problems]. Ekologija dovykylja ta bezpeka zhyttjedijal'nosti: 5. 48-53 (in Russian).
- Yevgrashkina, G.P. 2003. Vlijanie gornodobyvajushhej promyshlennosti na gidrogeologicheskie i pochvenno-meliorativnye uslovija territorij [The impact of mining industry on hydrogeological and soil-reclamation conditions and territories]. Dnepropetrovsk. Monolit. 200 (in Russian).
- Yevgrashkina, G.P., Butok, S. A. 2008. Hidrogeologicheskoe obosnovanie zakrytija vostochnoj grupy shaht v Zapadnom Donbasse [Hydrogeological substantiation of the closure of the Eastern group of mines in Western Donbass]. Visn. Dnipropetr. Univ. 5, 67-71 (in Russian).
- Yevgrashkina, G.P., Haritonov, M. M. 2007. Hidrogeologicheskoe obosnovanie zakrytija shahty "Jubilejnaja" [Hydrogeological substantiation of the closure of the mine "jubilee"]. Problemy pryrodokorystuvannja, stalogo rozvytku ta tehnogennoi' bezpeky regioniv. Materialy 4 Mizhnarodnoi' naukovy-praktychnoi' konferencii'. Dnipropetrovsk. 60-63 (in Russian).
- Yevgrashkina, G.P., Kalinkina, O. E. 2012. Zakonomirnosti zminy gidrogeologichnyh umov na terytorii, pryleglij do hvostoshovyshha "Balka Stukanova" u Zahidnomu Donbassi [Regularities of changes in hydrogeological conditions on the territory adjacent to kvastsovymi "Beam Stukanov" in the Western Donbass]. Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Geol. Geogr. 14, 42-47 (in Ukrainian).

Поступила в редколлегию 12.10.16 г.