

Загриценко А.Н.

ГВУЗ «Национальный горный университет»

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОСНОВА ВОДОРЕГУЛИРОВАНИЯ ПРИ ВЕДЕНИИ ГОРНЫХ РАБОТ В СЛОЖНЫХ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА

Оценена ефективність технологічних схем водорегулювання з допомогою численного моделювання процесу геофільтрації в естественной и нарушенной горными работами гидродинамической обстановке с хронологическим воспроизведением всех этапов отработки шахтного поля и определением факторов формирования водопритоков.

Ключевые слова: *моделирование геофильтрации, обратные задачи, параметры проницаемости, водорегулирование.*

Постановка проблемы. При ведении горных работ в сложных гидрогеологических условиях увеличиваются себестоимость добычи и потеря запасов угля, сокращаются темпы проходки горных выработок и повышается аварийность, возрастает техногенная нагрузка на подземную и поверхностную гидросферу, что в свою очередь приводит к истощению и загрязнению водных ресурсов региона. Несмотря на то, что в условиях Западного Донбасса апробировано ряд технических решений (противофильтрационные завесы, опережающий дренаж, силикатизация) по снижению притоков воды в горные выработки, вышеупомянутые аспекты остаются актуальными и определяют поиск новых технологических схем водорегулирования.

Максимальная эффективность технических решений достигается при условии, что достаточно точно установлен механизм формирования водопритоков, природа факторов их формирования и закономерности изменения. Поэтому задачей настоящих исследований является обоснование технологических схем водорегулирования на основе численного моделирования фильтрационных и гидравлических потоков в пределах шахтного поля с установлением закономерностей изменения проницаемости нарушенного горного массива.

Анализ последних исследований и публикаций. Вопросам изучения техногенного режима подземных вод и закономерностям формирования водопритоков в горные выработки шахт Западного Донбасса посвящены работы С.А. Шагоянца, А.В. Безазьяна, С.А. Яковлева, А.М. Антропцева, М.А. Шинкаревского, В.Г. Пасечного.

Технологические аспекты управления геофильтрационным состоянием горного массива вокруг горных выработок при наложении геомеханических и фильтрационных полей исследованы И.А. Садовенко. В работе [1] с использованием метода математического моделирования геофильтрации и напряженно-деформированного состояния горного массива оценены параметры проницаемости и емкости горных пород тектонически нарушенной зоны Богдановского сброса, выполнен прогноз величин водопритоков и деформаций контура откаточного квершлага, разработан специальный гидрогеомониторинг прохождения квершлага через крупноамплитудное тектоническое нарушение.

Методические аспекты численного моделирования шахтных полей в условиях эксплуатации и затопления освещены в работах Ю.А. Норватова, Н.А. Белокопытовой, В.Ю. Сынаха, Е.О. Подвижной. При обосновании методики моделирования геофильтрации [2] разработаны рекомендации по выбору числа расчетных слоев, способов отображения слоистой системы горных пород, горных выработок, целиков и сбоек между шахтами, но вопросы количественной оценки техногенной проницаемости и ее изменений не раскрываются.

Попытка обосновать изменение коллекторских свойств массива при сдвигении горных пород и их затоплении предпринята А.В. Моховым [3], который исследует причинно-следственные связи геомеханических процессов и гидродинамических явлений. На основе анализа фактов аварийных прорывов воды через барьерные целики и в стволы шахт, смежных с затопливаемыми, автор приводит предположения об изменении характе-

ристик емкостных свойств массива. Количественное значение коэффициента фильтрации обрушенной толщи вкрест напластования ($kz=0,003$ м/сут) оценено по формуле Дарси.

Определение водопроницаемости горных пород возможно с использованием натуральных полевых методов, а именно опытно-фильтрационных откачек, геофизических методов, опытно-миграционных работ по запуску трассеров [4]. Однако в условиях значительных техногенных преобразований горного массива их применение ведет к неоднозначным результатам при интерпретации полученных данных и ограничивается высокой стоимостью проведения испытаний.

Создание фильтрационных численных моделей шахтных полей является наиболее точным

и современным методом прогнозирования нарушенных гидродинамических условий, где нерешенной частью проблемы остается изменение параметров проницаемости и емкости горных пород во времени, которое определяет адекватность созданных моделей и достоверность долгосрочных прогнозов.

Постановка задания. Разработка технологических схем водорегулирования с оценкой их эффективности путем создания компьютерной модели фильтрационных и гидравлических потоков шахтного поля в нестационарном поле проницаемости.

Изложение основного материала. Поставленная задача решена для горно-геологических условий шахты им. Н.И. Сташкова ЧАО «ДТЕК

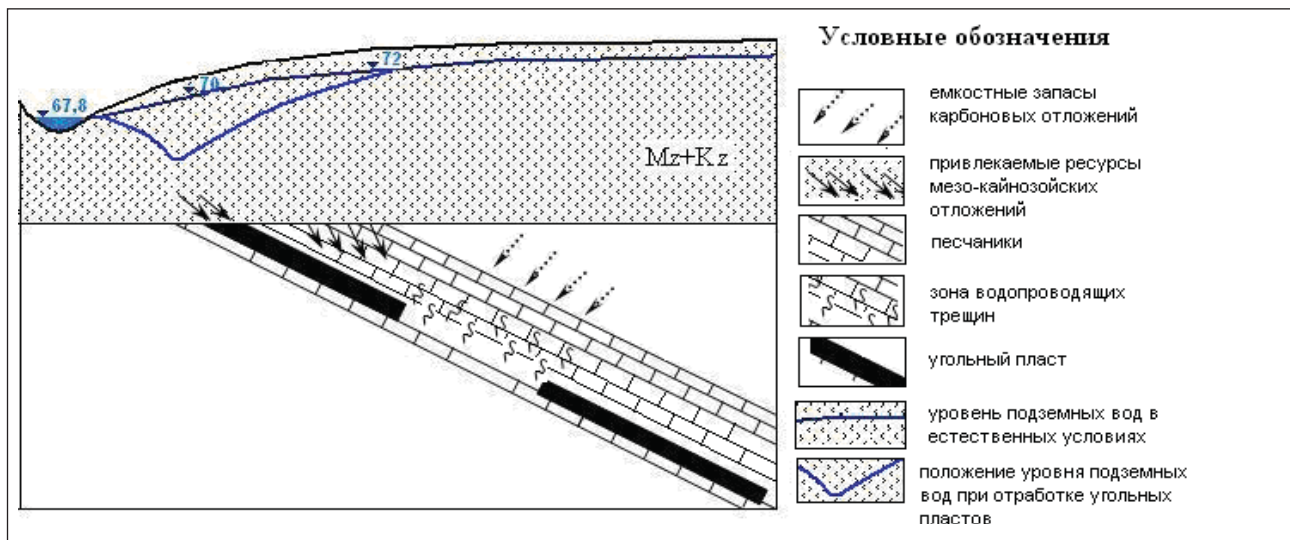


Рис. 1. Схема гидродинамически открытого типа угольных пластов

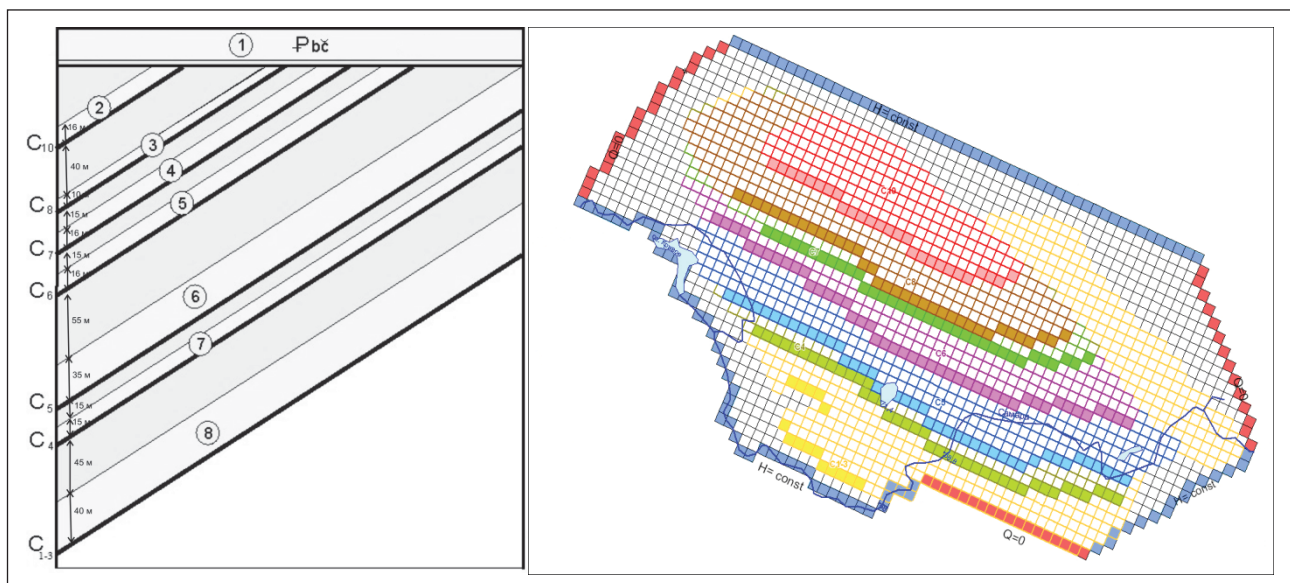


Рис. 2. Схематический вид модели: а) в разрезе; б) аппроксимация выходов угольных пластов в плане

Павлоградуголь», которая обрабатывает гидродинамически открытые угольные пласты в пойме р. Самара, и является одной из самых водообильных шахт в Украине (рис. 1).

В этом случае в обводнении горных выработок шахты, кроме емкостных запасов карбоновой толщи, существенна роль привлекаемых ресурсов покровных отложений и поверхностных вод, а водопритоки определяются зависимостью

$$Q = a_0 + a_1 \frac{BS}{L}, \quad (1)$$

где a_0 – приток за счет дренирования кровли, м³/сут; a_1 – водопроницаемость угольного пласта, м²/сут; B – ширина фронта горных работ, м; S – понижение уровня подземных вод, м; L – расстояние от границы безопасного ведения горных работ до зоны выхода угольного пласта.

Это означает, что гидродинамическая схема модели должна отражать тесную гидравлическую связь угленосной толщи карбона и покровных отложений, а также преобладающую роль песчаников древнего аллювия в формировании водопритоков. Согласно указанным геолого-структурным особенностям геофильтрационная модель шахтного поля состоит из 8-ми расчетных слоев (рис. 2, а), где первый (1) отражает покрывающий водоносный комплекс бучакско-киевских отложений, а продуктивная толща карбона представлена

обрабатываемыми угольными пластами $C_{1-3} - C_{10}$ и палеорусловыми песчаниками (2-8). В плане поле шахты размером 15,4×8,6 км аппроксимировано сеточной областью 77×43 ячейки (рис. 2, б) с граничными условиями первого ($H=const$) и второго рода ($Q=0$). Соответственно, выходы угольных пластов определяют размеры и площадь расчетных слоев карбона, которые на рис. 2, б показаны различными цветами

Основным этапом создания численной модели шахтного поля является ее идентификация на основе решения комплекса обратных задач в естественной и нарушенной гидродинамической обстановке. Более подробно остановимся на заключительном этапе верификации, которая выполняется по данным функционирования объекта, т.е. на модели в хронологическом порядке воспроизводится процесс отработки угольных пластов по периодам с характерной динамикой притоков воды в шахту.

Контрольными данными при эпигнозном моделировании служат величины фактических водопритоков и положение уровня подземных вод покровных отложений (табл. 1).

Из таблицы 1 видно, что средняя погрешность решения по величине водопритоков не превышает 10%, по положению уровня – 7%. При этом невязка общего баланса модели на каждом из периодов не превышает 0,01%.

Таблица 1

Данные фактических замеров и результатов эпигнозного моделирования

Периоды отработки угольных пластов	Водоприток по угольным пластам (расчетным слоям) факт/модель, м3/час							Приток по шахте, м3/час	Понижение уровня подземных вод в бучакских отложениях, м
	C_{10} (2)	C_8 (3)	C_7 (4)	C_6 (5)	C_5 (6)	C_4 (7)	C_{1-3} (8)		
(1982-1990)	45/ 47	335/ 373	–					690/ 675	15/13,5
(1990-1994)	122/117	455/433	–	163/166	649/822	386/230	–	1788/1768	27/31
(1994-1998)	146/152	287/290	–	163/173	412/605	369/192	–	1454/1412	29/30
(1998-2006)	302/307	115/103	–	125/144	556/595	387/342	–	1510/1462	31/30
(2006-2012)	204/220	97/90	–	72/103	463/457	325/352	–	1176/1259	32/31

Таблица 2

Динамика формирования водного баланса по пласту C_5

Статьи баланса	Величины приходных (+) и расходных (-) статей баланса							
	1994 г.		1998 г.		2006 г.		2012 г.	
	+	-	+	-	+	-	+	-
Приток к горным выработкам (в т. ч. подток из бучакского водоносного горизонта за счет фильтрации речных вод), м ³ /час	-	822 (570)	-	463 (250)	-	590 (159)	-	452 (76)
Переток через кровлю, м ³ /час	868	0,9	612,3	2	785,2	1,1	619	-
Переток через подошву, м ³ /час	19,3	53,7	29	158,3	28	205	40,2	207,8

Повторение на модели фактической динамики водопритоков и уровней на каждом из этапов позволило установить ряд закономерностей формирования техногенного режима подземных вод.

1. При естественной водопроницаемости угольных пластов $0,5-1,5 \text{ м}^2/\text{сут}$ достижение фактических величин водопритоков на модели (до $822 \text{ м}^3/\text{час}$ по шахтопласту) возможно при отображении зон повышенной проницаемости. На поле шахты они представлены толщами песчаников мощностью до 45 м и водопроницаемостью до $30 \text{ м}^2/\text{сут}$, которые залегают в кровле угольных пластов и имеют выход под обводненные покровные отложения.

2. Вовлечение в водоприток шахты дополнительных ресурсов мезо-кайнозойских отложений подтверждается формированием воронки депрессии до 30 м в бучакском водоносном горизонте и изменением направления движения фильтрационных потоков вблизи реки (рис. 3). Анализ балансовых составляющих модели показывает, что количественное соотношение привлекаемого ресурса и статических запасов карбоновой толщи составляет 70% и 30%, соответственно.

3. В нарушенных условиях река Самара из зоны разгрузки превращается в зону питания бучакского водоносного горизонта и соответственно дополнительный ресурс обводнения горных выработок.

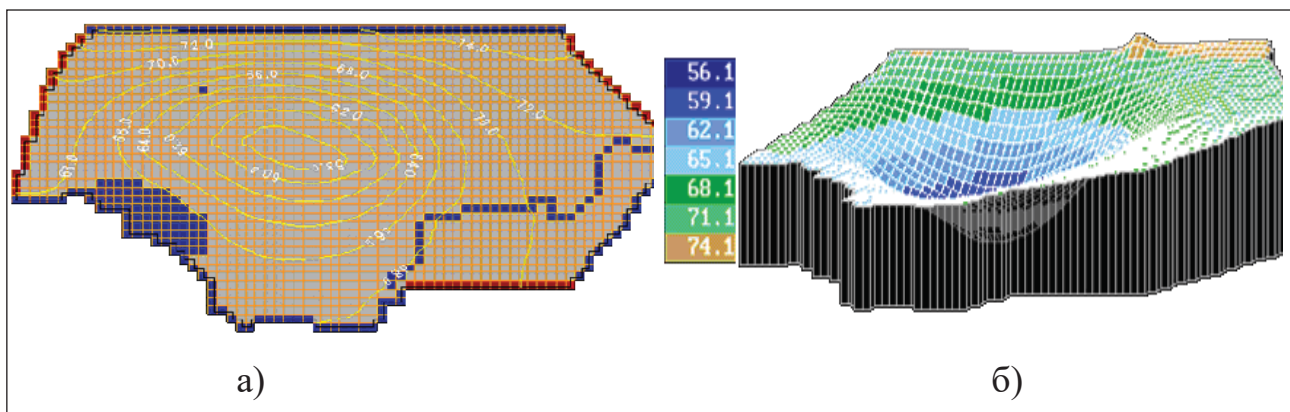


Рис. 3. Водоносный комплекс бучакско-киевских отложений с абс. отм в виде карты гидроизогипс (а) и трехмерное изображение воронки депрессии (б)

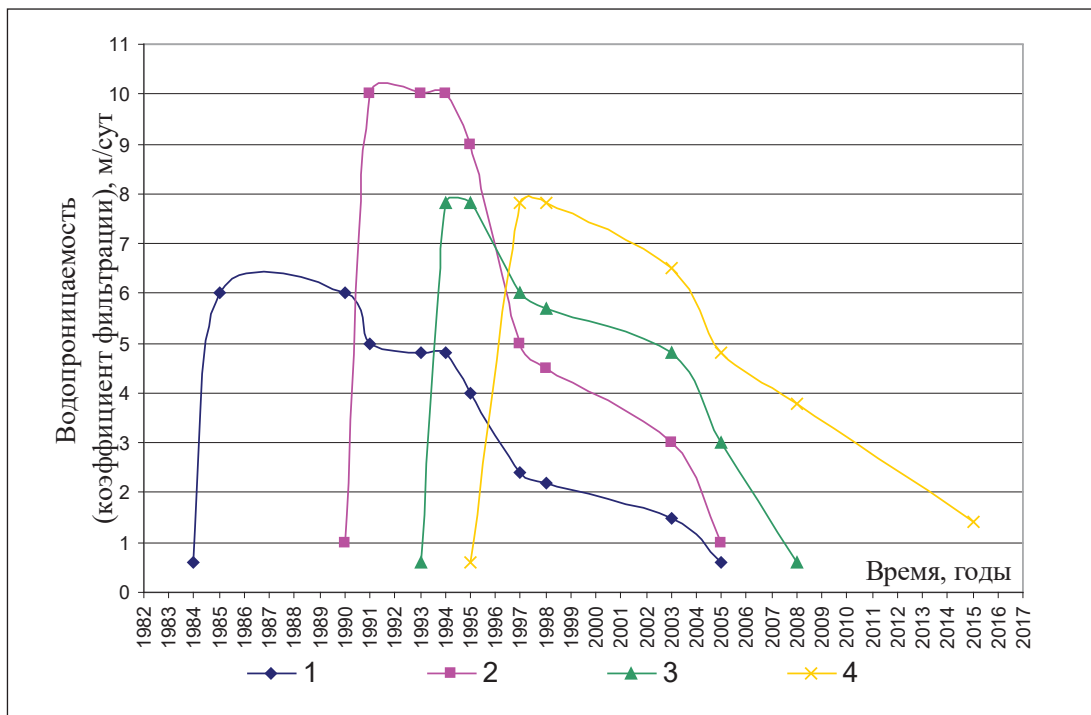


Рис. 4. Изменение водопроницаемости по пласту С5 на участках (1-4), обработанных в разные периоды времени

Максимальное вовлечение речного стока Самары в шахтный водоотлив характерно при отработке угольного пласта C_5 в пойме реки (в 200-х метрах от русла) и непосредственном приближении к границе безопасного ведения горных работ. Так максимальный водоприток по этому пласту $822 \text{ м}^3/\text{час}$ обусловлен на 69% ($570 \text{ м}^3/\text{час}$) подтоком речных вод. По мере удаления горных работ от зоны выхода угольного пласта под бучакско-киевские отложения и уменьшения мощности подрусловых песчаников в восточной части шахтного поля этот показатель уменьшается до $76 \text{ м}^3/\text{час}$ или 17% (табл. 2).

4. Велина водопритоков в шахту не коррелирует с увеличением площади горных работ. На отработанных с обрушением кровли площадях проницаемость карбоневой толщи является величиной переменной во времени, значение которой увеличивается в 10-15 раз при сдвигении горных пород, уменьшается в два раза через 5-10 лет и перестает выполнять дренажную функцию через 15-20 лет (рис. 4).

Установить подобные трансформации для конкретных горно-геологических условий возможно путем решения длительного (15-20 лет) временного ряда нестационарных идентификационных задач, что является обязательным этапом в методике создания адекватных моделей шахтных полей и получения долгосрочных прогнозов высокой достоверности.

На основании установленной при моделировании гидродинамической структуры, параметров зон повышенной проницаемости и ее динамики, анализа технических возможностей и технологических аспектов рассмотрена эффективность следующих вариантов технических решений по водорегулированию.

Вариант 1. По результатам детальной гидродинамической съемки в горных выработках шахты рассмотрен и реализован вариант создания гидроизоляционной перемычки в зоне погашенного штрека пласта C_5 и перемычки в зоне искусственного перепуска воды с пласта C_6 на C_5 (рис. 2).

Сооружение перемычки в зоне, где водоприток из погашенной горной выработки составляет около $30 \text{ м}^3/\text{час}$, приводит к перераспределению потоков подземных вод и формированию подпора подземных вод через 1 год до $7,2 \text{ м}$ в зоне перед перемычкой и снижению уровня до $5,7 \text{ м}$ за ней.

Противофильтрационная перемычка в условиях установившегося режима фильтрации позволяет перехватить фильтрационный поток по сборному штреку на 67%.

При ликвидации искусственной дрены, т.е. прямого гидравлического перепуска воды (около $78 \text{ м}^3/\text{час}$) с пласта C_6 на пласт C_5 , водоприток по пласту C_6 увеличивается на $23 \text{ м}^3/\text{час}$, а по C_5 уменьшается на $46 \text{ м}^3/\text{час}$ в условиях установившегося режима фильтрации (через 1 год). При этом восстановление уровней в пласте C_6 приводит к формированию напоров до 20 м.

Вариант 2. Управление затоплением отработанных участков шахтного поля оценено для условий затопления отработанных участков пластов C_5 и C_4 (рис. 2, а) на 300-ом горизонте до отметки -115 м. Уменьшение водопритока в этом случае происходит за счет уменьшения размеров сдренированных площадей (рис. 5).

Результаты решений по варианту с полным погашением восстающей выработки показывают, что затопление до абсолютной отметки -115 м происходит в течение одного года, при этом водоприток по шахте в первый месяц затопления уменьшается на $188 \text{ м}^3/\text{час}$ (17%), во второй – на $175 \text{ м}^3/\text{час}$, а к концу полного затопления характеризуется снижением общешахтного водопритока на $50 \text{ м}^3/\text{час}$.

Вариант 3. Тампонирование зон повышенной проницаемости в зоне выхода пластов наиболее рационально с использованием схемы вертикально-горизонтального бурения.

Фактический водоприток по шахте составляет $1161 \text{ м}^3/\text{час}$, из него 85% – приток по пластам $C_{10} + C_5 + C_4$. С учетом этого и динамики движения воронки депрессии в бучакском водоносном горизонте рассмотрены различные варианты создания противофильтрационной завесы (ПФЗ).

Результаты решений показывают наибольшую эффективность ПФЗ (снижение общешахтного

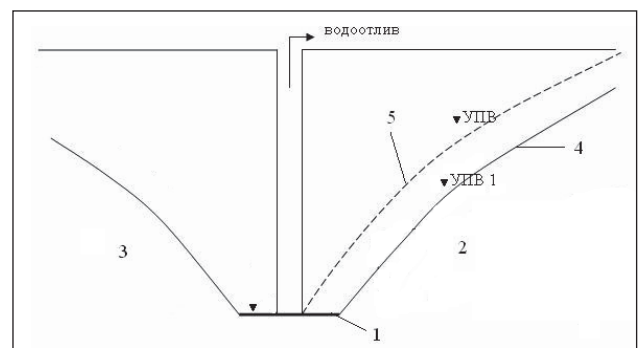


Рис. 5 Схема управления затоплением отработанных частей шахтного поля:

1 – горизонт водоотлива; 2, 3 – отработанный и отработываемый блоки, соответственно; 4, 5 – уровень подземных вод до и после затопления блока 2

водопритока на 25%) при коефіцієнті фільтрації 10^{-2} м/сут, який приймався як базовий в розрахунках і підтверджений практикою зменшення проникності при тампонажі порід.

Наличчя відкритої гідравлічної зв'язі карбонатних відкладень і бучакського водоносного горизонту обумовлює активну реакцію шахтного поля на збільшення лінійних розмірів ПФЗ. Наприклад, при максимальному перекритті виходів пластів C_{10} , C_5 , C_4 можливо зменшення водопритоку в шахту до $695 \text{ м}^3/\text{час}$ (-38%).

Варіант 4. Гідроізоляція перетока із р. Самара передбачує формування по відомій технології «стени в ґрунті», перешкоди подтоку із ріки. В умовах ведення гірських робіт на сучасному етапі можливо в 2 рази зменшити подток із ріки до $31 \text{ м}^3/\text{час}$ шляхом гідроізоляції прируслової зони.

Реалізація розглянутих технологічних схем водорегулювання дозволяє знизити приток води в шахту від 10 до 38%. При цьому застосовуються вони можуть

як незалежно одне від одного на різних етапах експлуатації шахти, так і одночасно.

В якості пілотного проекту розроблена і реалізована конструкція водоізоляційної перегородки в збірному штреку, в якій передбачені контрольні пристрої для фіксації параметрів зміни гідродинамічного тиску і корективних модельних прогнозів.

Висновки. Встановлені закономірності зміни техногенної проникності і обґрунтована методика моделювання геофільтрації шахтного поля підвищують достовірність довготривалих гідродинамічних прогнозів і дозволяють розробляти технологічні схеми зниження притоків води в шахту. Створена гідродинамічна модель поля шахти ім. Н.І. Сташкова є складовою частиною геофільтраційної моделі регіону Західного Донбасу для рішення поточних завдань водорегулювання і екологічно шадливого процесу наступного замінування гірських робіт.

Список літератури:

1. Садовенко І.А., Загриценко А.Н., Подвігіна Е.О., Тимошук В.І. Обґрунтування параметрів безпечної пересічення гірними виробками крупноамплітудного тектонічного порушення. Уголь України. 2017. №3. С. 17-24.
2. Білокопитова Н.А., Подвігіна О.О., Токар М.В. Особливості моделювання гідрогеологічних умов Донбасу. Збірник наукових праць Українського державного геологорозвідувального інституту. 2003. № 2. С. 59-62.
3. Мохов А.В. Підземні води як індикатор геомеханічних процесів. ГІАБ. 2014. №3. С. 273-282.
4. Дрибан В.А., Дуброва Н.А. Вивчення кількісних і просторових параметрів розподілу шкідливих забруднюючих речовин в техногенно порушеному масиві гірських порід складного строєння. Наукові праці УкрНДМІ НАН України: збірник наукових праць. 2012. № 11. С. 306-318.

ПАРАМЕТРИЧНА ОСНОВА ВОДОРЕГУЛЮВАННЯ ПРИ ВЕДЕННІ ГІРНИХ РОБІТ У СКЛАДНИХ ГІДРОДИНАМІЧНИХ УМОВАХ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ

Оцінено ефективність технологічних схем водорегулювання за допомогою чисельного моделювання процесу геофільтрації у природній та порушеній гірничими роботами гідродинамічній обстановці з хронологічним відтворенням всіх етапів відпрацювання шахтного поля і визначенням факторів формування водопритоків.

Ключові слова: моделювання геофільтрації, обернені задачі, на-параметри проникності, водорегулювання.

PARAMETRIC BASIS OF WATER REGULATION DURING MINE OPERATION IN COMPLEX HYDRODYNAMIC CONDITIONS OF WESTERN DONBASS

The effectiveness of technological schemes of water regulation is estimated via numerical simulation of geofiltration process in natural hydrodynamic conditions and conditions disturbed by mining with a chronological reproduction of all stages of mine field operation and determining the factors of water inflows formation.

Key words: geofiltration simulation, inverse problems, permeability parameters, water regulation.