© Ю.А. Норватов, Д.И. Савельев, А.В. Яшина, 2014

УДК 556.3

Ю.А. Норватов, Д.И. Савельев, А.В. Яшина

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГОРНЫХ РАБОТ ПРИ РАЗРАБОТКЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

Предложена типизация природно-техногенных гидрогеологических структур и условия формирования водопритоков в шахты.

Рассмотрены гидрогеологические структуры полей трех шахт в Кузбассе. Представлены оценки прогнозных притоков подземных вод в шахту «Котинская», полученные с использованием численной геофильтрационной модели. Даны рекомендации по определению параметров техногенного комплекса при выемке свит пластов под рекой.

Ключевые слова: прогноз притоков, природно-техногенные гидрогеологические структуры, численные геофильтрационные модели.

В настоящее время при разработке угольных месторождений подземным способом возникают особые гидрогеологические проблемы. В частности, при возросшей в последние годы скорости проходки горных выработок на шахтах наблюдаются периодические резкие увеличения водопритоков, приводящие к подтоплению горных выработок, которое создает проблемы в организации водоотвода. Для решения этих проблем необходимо совершенствование методики как оперативных, так и долгосрочных прогнозов водопритоков в шахты.

Прогноз притоков подземных вод в горные выработки следует выполнять на основе анализа условий формирования природно-техногенных гидрогеологических структур в процессе ведения очистных работ. Природно-техногенные структуры представлены приповерхностным водоносным комплексом, связанным с зоной повышенной естественной трещиноватости верхней части массива угленосных отложений, и техногенным комплексом, который формируется в зависимости от технологии очистных работ. При выемке угольных пластов системами с управлением кровлей полным ее обрушением существенно нарушается структура подработанных массивов. Над выработанным пространством образуются водопроводящие трещины гидравлически активно связаны с выработанным пространством, заполненным дезинтегрированными породами.

Зону водопроводящих трещин в совокупности с выработанным пространством можно рассматривать как техногенный комплекс. Верхняя граница техногенного комплекса располагается на высоте (над выработанным пространством) в среднем равной 40 м (где m – мощность вынимаемого пласта). Породный массив в пределах техногенного комплекса характеризуется чрезвычайно высокой проницаемостью, поэтому гидростатические давления в пределах этого массива обычно снижены до величины атмосферного давления [2].

Условия формирования техногенных комплексов существенно усложняются при выемке свиты угольных пластов. По результатам многочисленных натурных наблюдений в Кузбассе и в других угольных бассейнах

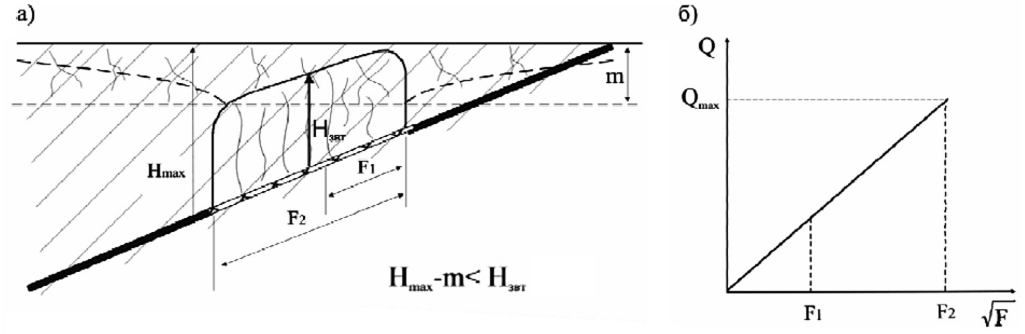

Рис. 1. Природно-техногенная структура типа I: а – схема гидрогеологической структуры, б – график изменения водопритоков в шахту (Q) при увеличении площади горных работ (F), где H_{max} – максимальная глубина очистных работ, $H_{ЗВТ}$ – высота зоны водопроводящих трещин над выработанным пространством, m – мощность приповерхностного водоносного комплекса, F – площадь участков очистных работ

(в частности Печорском – на Интинском месторождении) установлено, что при выемке свиты сближенных угольных пластов высота зоны водопроводящих трещин над первоначально вынутым пластом увеличивается незначительно [4]. Поэтому при оценке положения верхней границы техногенного комплекса, соответствующего выемке (в порядке сверху-вниз) второго и последующих пластов, можно считать, что мощность комплекса, согласно рекомендациям А.С. Ягунова [5], увеличивается каждый раз на 20% от зафиксированного предыдущего значения этого параметра.

При высоких скоростях подвигания забоя очистных выработок шаг посадки основной кровли увеличивается [1], и приращение площади техногенного комплекса происходит неравномерно, что предопределяет скачкообразный характер увеличения притоков в шахты.

В зависимости от положения приповерхностного водоносного комплекса и техногенного комплекса в разрезе при ведении очистных горных работ формируются различные по характеру природно-техногенные гидрогеологические структуры. Гидрогеологическая структура типа I – верхняя граница техногенного комплекса (зоны водопроводящих трещин) фиксируется на отметках, превышающих отметки подошвы приповерхностного комплекса по всей площади очистных работ (в соответствии с рис. 1).

Этот тип природно-техногенных структур характерен, например, для

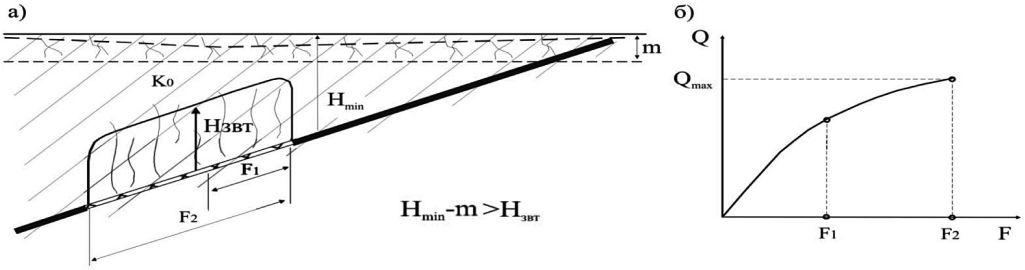

Рис. 2. Природно-техногенная структура типа II

Рис. 3. Природно-техногенная структура типа III

условий Кузбасса, где подземные горные работы выполняются на сравнительно малых глубинах при выемке мощных пластов.

Природно-техногенная структура типа II – верхняя граница техногенного комплекса фиксируется на отметках, не превышающих отметки подошвы приповерхностного водоносного комплекса по всей площади очистных работ. Для этой структуры характерно наличие пачки слабопроницаемых пород между нижней границей приповерхностного комплекса и верхней границей техногенного комплекса (рис. 2).

Природно-техногенная структура типа III – (рис. 3) является наиболее характерной для условий подземной разработки угольных пластов в разных бассейнах.

Зачастую, при выемки свит пластов формируется несколько техногенных комплексов, разделенных относительным водоупором. Например, на Интинском угольном месторождении при выемке одинадцати пластов разной мощности образовано два техногенных комплекса, разделенных относительным водоупором мощностью около 150 м.

В зависимости от типа природно-техногенной структуры приток подземных вод в шахту поступает из приповерхностного водоносного комплекса либо непосредственно (тип I), либо путем перетекания через относительный водоупор между приповерхностным и техногенным комплексом (тип II).

В качестве примера типизации можно рассмотреть условия формирования природно-техногенных структур на шахте «Котинская» ОАО «СУЭК-Кузбасс» и результаты оценки прогнозных водопритоков при развитии горных работ.

Шахта «Котинская» характеризуется сложными гидрогеологическими условиями. Угленосный массив представлен переслаиванием аргиллитов и песчаников. Мощность покровных четвертичных отложений, представленных песчано-глинистыми породами, изменяется от 10 м до 50 м. Приповерхностный водоносный комплекс характеризуется мощностью зоны повышенной трещиноватости, составляющей 50–70 м. По характеру природно-техногенной структуры шахта относится к типу III, так как отработка пласта 52, мощностью около 4 м, проводилась от его выходов под покровные отложения, где зона водопроводящих трещин безусловно вскрывает приповерхностный водоносный комплекс. Далее очистные работы уходят на глубины, при которых между нижней границей приповерхностного комплекса и верхней границей техногенного комплекса характерно наличие пачки слабопроницаемых пород, мощность которой увеличивается по мере повышения глубины отработки пласта.

Горные работы велись на отдельных участках под руслом реки Нижняя Тыхта на предельно допустимых глубинах, что предопределило резкое повышение водопритоков в шахту (от 250 м^3/час до 800 м^3/час). При подобных сложных гидрогеологических условиях прогнозировать водопритоки в горные выработки аналитическими методами весьма затруднительно, поэтому достоверный прогноз возможен только с применением численной геофильтрационной модели шахтного поля.

В настоящее время для оценки достоверных прогнозов водопритоков в горные выработки целесообразно использовать численное геофильтрационное моделирование. Широкое распространение при моделировании геофильтрационных процессов получила программа MODFLOW.

В качестве примера можно привести результаты применения численного моделирования для анализа и прогноза водопритоков в шахту «Котинская».

Общий вид геофильтрационной модели поля шахты «Котинская» представлен на рис. 4.

Модель отражает гидрогеологические условия территории площадью 32 км^2. Моделируемая территория включает водосборный бассейн, ограниченный на западе рекой Верхняя Тыхта, на юго-востоке – рекой Средняя Саланда. Эти реки заданы на модели границей третьего рода (постоянный напор). На севере и северо-востоке границы модели характеризуются условием второго рода (непроницаемая граница).

Территория, рассматриваемая на численной модели, представлена пря-

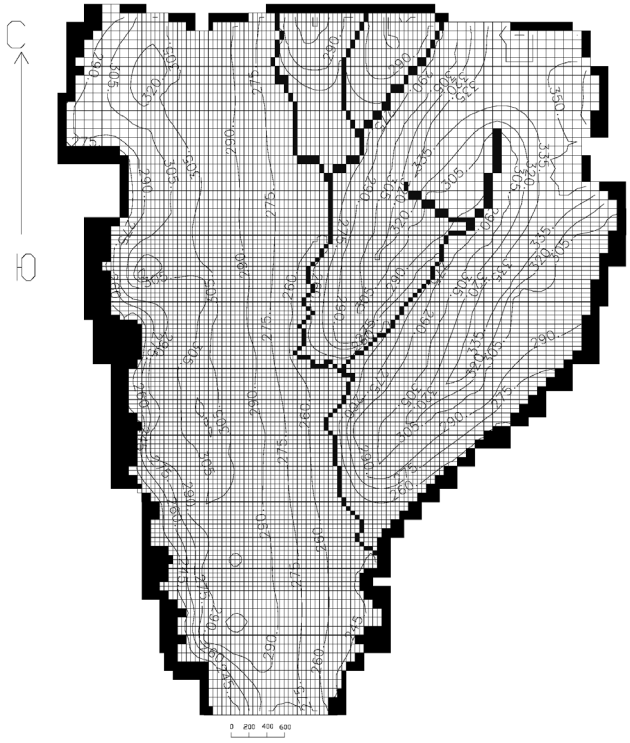

Рис. 4. Общий вид численной геофильтрационной модели поля шахты «Котинская» (изогипсы кровли первого слоя модели)

Суммарные прогнозные водопритоки в горные выработки шахты «Котинской» при отработке пластов 50 и 49 с оставлением целиков под рекой Нижняя Тыхта

Номер лавы	Номер отрабатываемого пласта	Водоприток, $м^3$/час
5004	50	995
5008	50	1102
5011	50	1059
4904	49	1150
4908	49	1243
4911	49	1133

моугольными элементарными участками, площадью от 2500 $м^2$ (на площади шахтного поля) до 10000 $м^2$ (на периферийной части моделируемой территории), образованными ортогональной сеткой (столбцами и строками) в соответствии с рис. 4. Сетка ориентирована в меридиональном и широтном направлениях. Численная геофильтрационная модель в разрезе представлена тремя расчетными слоями. Первый слой соответствует приповерхностному водоносному комплексу, проводимость которого по площади изменяется в основном от 2 $м^2$/сутки до 70 $м^2$/сутки. Максимальная проводимость (до 600 $м^2$/сутки) приурочена к долине реки Нижняя Тыхта.

Второй слой соответствует пачке слабопроницаемых угленосных отложений, залегающей между подошвой приповерхностного комплекса и верхней границей техногенного комплекса. Проницаемость этой пачки вкрест напластованию принята равной 10–3 $м^2$/сутки. Третий слой модели соответствует характеристикам нарушенного техногенного комплекса. Параметры модели определялись при имитации на ней естественного гидродинамического режима и техногенного режима при использовании фактических данных о водопритоках в шахту на разных этапах развития очистных работ.

Далее на модели выполнен прогноз водопритоков в шахту при последовательной выемки нижележащих пластов 50, 49. Результаты прогноза приведены в таблице.

Для уточнения условий планируемой выемки пластов 50 и 49 необходимы дополнительные гидрогеологические работы по определению высоты зоны водопроводящих трещин [2].

Таким образом, гидрогеологическое обеспечение горных работ при подземной разработке угольных месторождений включает обязательное использование численного геофильтрационного моделирования для прогнозных оценок водопритоков в горные выработки. Для обоснования структуры численной модели при решении эпигнозной задачи (при имитации фактической гидрогеологической обстановки на шахтном поле) первоначально следует приводить анализ природно-техногенной структуры и условий формирования водопритоков подземных вод в горные выработки. При выемке свиты пластов под водными объектами обязательным видом работ является экспериментальная оценка высоты зоны водопроводящих трещин в натурных условиях. При планировании и проведении дополнительных опытно-фильтрационных работ для оценки параметров приповерхностного водоносного комплекса целесообразно использовать современные компьютерные технологии, например программу «ANSDIMAT» (Россия, автор Л.Н. Синдаловский) [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Баранов С.Г.* Влияние скорости подвигания очистного забоя, глубины работ и мощности пород основной кровли на шаг ее осадки. Сборник трудов ВНИМИ. – СПб., ВНИМИ, 2009.

2. *Норватов Ю.А.* Изучение и прогноз техногенного режима подземных вод. – Л.: Недра, 1988.

3. *Синдаловский Л.Н.* ANSDIMAT программный комплекс для определения параметров водоносных пластов. – СПб.: Наука, 2011.

4. *Ягунов А.С.* Закономерности сдвижения горных пород в Кузбассе. – СПб.: ВНИМИ, 2000.

5. *Ягунов А.С.* Динамика деформаций в подработанном горном массиве. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2010. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Норватов Юлий Александрович – доктор геолого-минералогических наук, профессор, главный научный сотрудник, e-mail: norvatov@mail.ru,
Савельев Денис Игоревич – аспирант, научный сотрудник, e-mail: saveliev78@gmail.com, Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»;
Яшина Александра Владимировна – инженер, ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева».

UDC 556.3

HYDROGEOLOGICAL ENSURING OF MINING OPERATIONS DURING THE UNDERGROUND MINING OF COAL DEPOSITS

Norvatov Y.A., Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Chief Researcher, e-mail: norvatov@mail.ru,
Saveliev D.I., Graduate Student, Researcher, e-mail: saveliev78@gmail.com, National Mineral Resource University «University of Mines»;
Yashina A.V., Engineer, JSC «VNIIG B.E. Vedeneeva».

Typology of natural and man-made structures and hydro-geological conditions of formation water production in the mines is proposed. Hydrogeological structure of the fields of the three mines in the Kuzbass. Estimates of projected inflow of groundwater into the mine «Kotinskaya» obtained using the numerical geofiltrational model. The recommendations for the characterization of complex man-made reservoir formations digging under the river is considered.

Key words: forecast inflows, natural-technogenic hydrogeological structure, geofiltrational numerical model.

REFERENCES

1. Baranov S.G. *Vlijanie skorosti podviganija ochistnogo zaboja, glubiny rabot i moshhnosti porod osnovnoj krovli na shag ee osadki. Sbornik trudov VNIMI* (Rate effect podviganiya stope, the depth and power of the work of the main roof rocks to step on her deposition. Sat mp. VNIMI), Saint-Petersburg, VNIMI, 2009.

2. Norvatov Ju.A. *Izuchenie i prognoz tehnogennogo rezhima podzemnyh vod* (The study and prediction of anthropogenic groundwater regime), Leningrad, Nedra, 1988.

3. Sindalovskij L.N. *ANSDIMAT programmnyj kompleks dlja opredelenija parametrov vodonosnyh plastov* (ANSDIMAT software for determining the parameters of aquifers), Saint-Petersburg, Nauka, 2011.

4. Jagunov A.S. *Zakonomernosti sdvizhenija gornyh porod v Kuzbasse* (Patterns of strata movement in Kuzbass), Saint-Petersburg, VNIMI, 2000.

5. Jagunov A.S. *Dinamika deformacij v podrabotannom gornom massive* (The dynamics of the deformations in the rock mass earn), Kemerovo, Kuzbassvuzizdat, 2010.