

В.В. Тишков

ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОНИЦАЕМОСТИ МАССИВА ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ

Выполнен анализ гидрогеомеханических закономерностей в системе водоносные породы – канал подземной газификации на основании синтеза двух видов численных моделей. Оценены результаты зональных изменений величин объемной деформации пород при ведении процесса подземной газификации угля. Даны рекомендации по корректировке данных проницаемости массива при гидрогеологическом моделировании с целью определения водопритоков в подземный газогенератор.

ОЦІНКА ВПЛИВНИХ ФАКТОРІВ НА ЗМІНУ ПАРАМЕТРІВ ПРОНИКНОСТІ МАСИВУ ПРИ ПІДЗЕМНІЙ ГАЗИФІКАЦІЇ ВУГІЛЛЯ

Виконано аналіз гідрогеомеханічних закономірностей в системі водоносні породи – канал підземної газифікації на основі синтезу двох видів чисельних моделей. Оцінено результати зональних змін величин об'ємних деформацій порід при веденні процесу підземної газифікації вугілля. Надано рекомендації щодо корегування даних проникності масиву при гідрогеологічному моделюванні з метою визначення водопритоків у підземний газогенератор.

ASSESSMENT OF FACTORS AFFECTING THE CHANGE IN PERMEABILITY PARAMETERS MASSIF AT UNDERGROUND COAL GASIFICATION

The analysis of patterns in the system of hydrogeomechanical rock aquifers – underground gasification channel based on the synthesis of two types of numerical models is carried out. The results of zonal change of volume deformation magnitudes while caring out underground coal gasification process are emphasize. The updating massif penetration recommendations while hydro-geological simulation for the purpose of water inflows in underground gas-generator are given.

ВВЕДЕНИЕ

Процесс подземной газификации угля сопровождается формированием в массиве горных пород полостей выгазовывания и мульд сдвижения. Оценка факторов, влияющих на изменение параметров проницаемости массива, напрямую зависит от установления гидрогеомеханических зако-

номерностей в системе водоносные породы – канал подземной газификации.

Решение возникающих задач в этом направлении связано с повышением эффективности ведения процесса подземной газификации угля при одновременном снижении водопритоков и относится к управлению геофильтрационным состоянием горного массива [1]. Базовым инструментом для апробации таких разработок может

служить численное математическое моделирование гидрогеомеханических процессов, сопровождающих комплекс горных работ по подготовке и обработке угольных месторождений методом подземной газификации.

Рассмотрим методику синтеза двух видов численных моделей для решения задач управления геофильтрационным состоянием горного массива: геомеханической модели на основе метода конечных элементов (Phase2) и геофильтрационной модели на основе метода конечных разностей (MIF).

Типовую для Днепробасса структурно-гидрогеологическую схему формирования водопритоков в подземный газогенератор можно рассматривать в двух вариантах (наличие или отсутствие водоупора в кровле угольного пласта) и представить тремя основными зонами: 1 – водоносный комплекс надугольных отложений; 2 – наличие или отсутствие пласта слабопроницаемых пород; 3 – выгазованное пространство, которое плавно сочленяется с обрушенными горными породами, слагающими кровлю угольного пласта. Зона 1 является основным источником питания транзитного потока через зону 2 к зоне 3. Причем сопоставительный анализ скорости формирования полости подземного газогенератора и уровня режима в зоне 1 позволяет рассматривать нестационарную фильтрацию, ограничиваясь удаленным контуром постоянного напора в водоносном комплексе и зональным изменением параметров проницаемости массива в зонах 1 и 2.

Нестационарность фильтрационного потока в направлении границ подземного газогенератора обусловлена перемещением контуров стока синхронно подвиганию огневого забоя и нестационарным пространственно неоднородным геомеханическим процессом водопроводящего разрыхления над каналом газификации, зависящим от скорости выгазовывания, мощности угольного пласта, а также физико-механических свойств горных пород и их структуры.

Отмеченные особенности гидрогеомеханических процессов выгазовывания угольного пласта предопределяют прикладное значение их моделирования для установления численных параметров деформаций и проницаемости, контролирующих данные процессы. Рассмотрим состав, назначение и особенности идентификации каждой из используемых численных моделей для описания геофильтрационного состояния горного массива в пределах влияния подземного газогенератора.

Геомеханическая модель на основе конечных элементов реализует деформирование слоистого массива горных пород с разрыхлением на запредельной стадии нагружения появлением разрывов на границе сочленения массива пород и канала газификации (рис. 1).

Дискретизируемая область захватывает описанные зоны 1 и 2. Основа алгоритма такой модели строится по рекомендациям работы [2]. Наиболее существенными отличительными моментами алгоритма являются: использование метода начальных напряжений для расчета фактических напряжений в элементах, нагруженных через узловы точки приложенными силами; контроль перехода элементов модели в область запредельного деформирования (породы кровли над огневым забоем); соответствующий предельным соотношениям вид дискретизации – сдвиг или расслоение, достигается модификацией матрицы коэффициентов системы аппроксимирующих уравнений; учет трения в плоскости контакта породных слоев, достигаемый добавлением компонентов сил трения на участие сдвига к общему вектору сил; переход элементов в стадию пластического течения при одновременном превышении деформаций, описываемых запредельной ветвью деформирования, и достижении предельного соотношения по Кулону-Мору в виде касательной к кругу остаточной прочности горных пород.

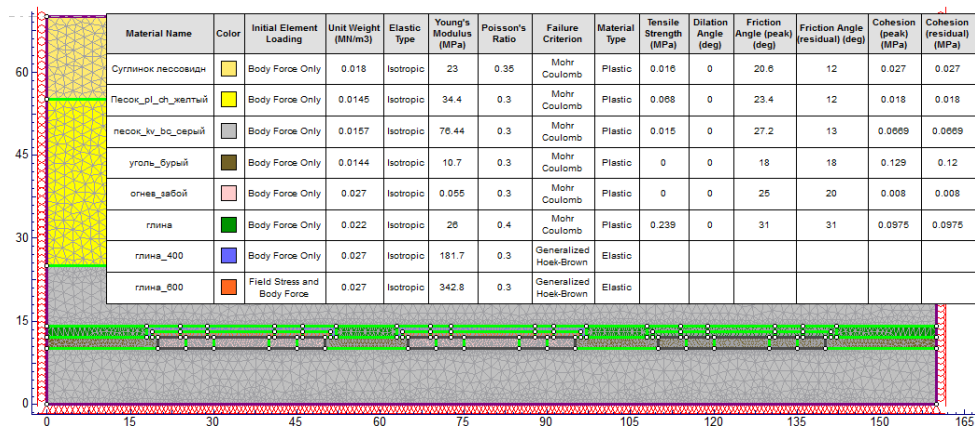


Рис. 1. Геомеханическая модель на основе конечных элементов сочленяющая массив пород и каналы газификации

Наиболее эффективным приемом для имитации пошагового формирования выгазованного пространства и получения быстроходящихся решений является вариация фактическими данными физико-механических и прочностных свойств пород (стабиллометрические испытания [3]) с учетом влияния температурного поля, по двум основным вариантам выбранной структурно-гидрогеологической схемы.

Результаты расчетов представляются в виде численного поля поэлементных относительных объемных деформаций, которые являются нормативной основой для внесения корректировки в выбор соответствующих коэффициентов фильтрации.

Наименьшее значение отрицательной объемной деформации, фиксируемое в зоне с разрыхлением элементов численной модели, является базовой величиной для имитационного выбора начального коэффициента фильтрации и его расчета в остальных элементах пропорционально величинам деформаций [3].

Коррекция коэффициентов фильтрации реализуется на геофильтрационной численной модели, решаемой методом конечных разностей (МКР). Очевидно, что наибольший эффект, как в части необходимой точности решения, так и снижения его трудоемкости, может быть достигнут сохранением масштабных коэффициентов

разбивки дискретизируемой области.

Геофильтрационная численная модель на базе МКР в этом случае аппроксимирует уравнение нестационарной фильтрации в плоскостях x , y , z [4]:

В потоке входных данных сведения о граничных условиях с постоянным напором (естественное положение уровня грунтовых вод) и природными значениями водопроводимости в пределах 1-й зоны задаются на некотором удалении от площади влияния подземного газогенератора.

По нижнему контуру зоны 1 и в зоне 2 задаются поля с различной проводимостью согласно геомеханическим нарушениям в массиве горных пород, полученным по результатам предыдущего моделирования.

В реальных условиях суммарный водопиток из обрабатываемого методом подземной газификации участка поддается измерению косвенно, по количеству влаги, содержащейся в выходном продукте на газоотводящей скважине. Установить закономерность его планового распределения возможно построением численной геофильтрационной модели методом конечных разностей. Элементы области моделирования плановой фильтрации с использованием МКР для рассматриваемого случая представлены двумя вложенными прямоугольными контурами, представляющими водоносный комплекс и обрабатываемый

угольный пласт в определенных вариантах, разделенные разной по мощности водопорной толщей.

Моделируемый фильтрационный процесс нестационарен наложением двух пространственных составляющих: первая характеризует развитие депрессионной воронки от контуров стока (внутренняя граница подземного газогенератора), совпадающая с контактом 1-й, 2-й и 3-й структурных зон; вторая характеризует постепенное приближение контура стока к внешней границе первого рода вследствие подвигания линии огневого забоя по мере выгазовывания обрабатываемого участка.

Модель идентифицируется имитационным выбором водопроводимости между упомянутыми прямоугольными контурами и сопоставлением рассчитываемого суммарного объема водопритока со сходимостью балансовых составляющих.

Описанный синтез численных моделей позволяет определять количественно изменение водопритока в канал подземного газогенератора на основании учета факторов влияющих на изменение параметров проницаемости массива, и разрабатывать специальные технологические меры для управления его геофильтрационным состоянием.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате исследований напряженно-деформированного состояния породного массива над подземным газогенератором установлена закономерность изменения зон объемных деформаций в зависимости от горно-геологических условий и стадий выгазовывания.

На рис. 2 и 3 представлена динамика изменения объемной деформации над каналом центрального газогенератора для различных вариантов и стадий проведения процесса подземной газификации.

В первом варианте представлены изменения объемных деформаций в песчаном массиве без учета воздействий температурного поля (физико-механические и прочностные свойства пород в кровле газогенератора соответствуют их природному состоянию). Динамика последовательного ввода в эксплуатацию 2-го и 3-го газогенераторов не приводит к значительным изменениям объемных деформаций в кровле 1-го. Своего максимума (около 6%) объемные деформации разрыхления достигают на двухметровом удалении от кровли канала газогенератора и затухают на расстоянии 12 – 13 м (рис. 2, а).

Второй и третий варианты расчетов рассматривают различное геологическое строение пород, находящихся в непосредственной кровле угольного пласта с учетом изменения их свойств под влиянием температур при проведении подземной газификации (рис. 2, б и 3).

В случае залегания в кровле угольного пласта песчаных пород, преобразованных термополем, максимум объемных деформаций разрыхления будет находиться в интервале 0 – 2 м и достигнет 6,5%. При наличии в кровле угольного пласта глинистых отложений динамика изменения объемных деформаций разрыхления совсем иная (рис. 3). Максимум значений таких деформаций приходится на интервал 0 – 0,8 м и составляет 2,3 – 2,8%. Причем, деформации разрыхления меняются на деформации сжатия еще в пределах участка воздействия на массив температурного поля (рис. 3).

Величина изменения объемных деформаций в пределах всего газогенераторного поля рассматривалась вкрест формирования каналов газификации на различных стадиях их развития для трех вышерассмотренных вариантов горно-геологических условий в массиве.

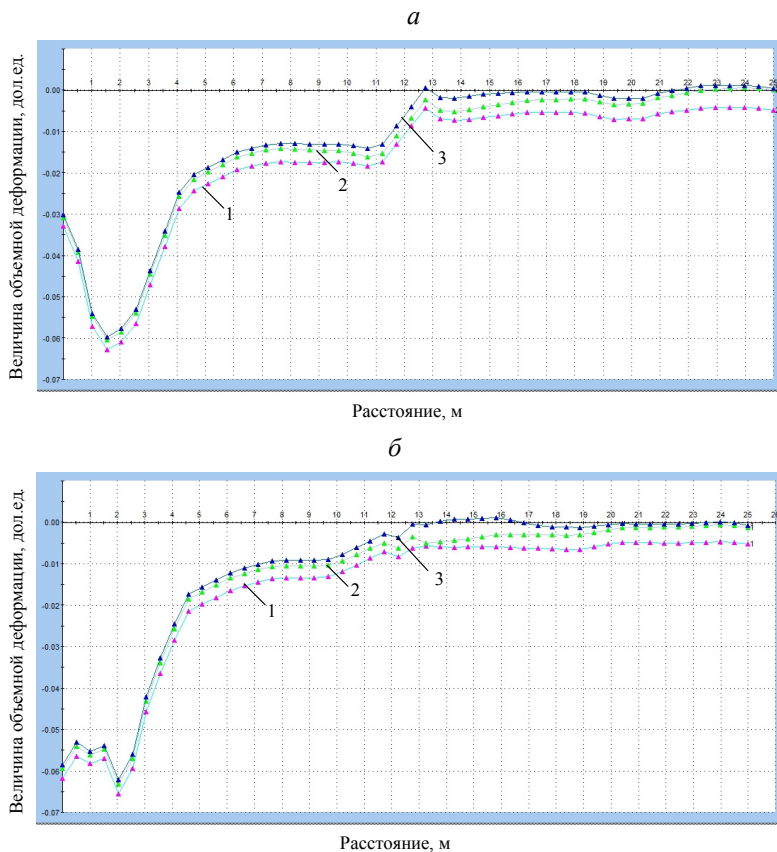


Рис. 2. Величина изменения объемной деформации в массиве песчаных пород над каналом 1-го газогенератора без (а) и с учетом (б) воздействия температурного поля: 1 – максимальная площадь выгазовывания 1-го газогенератора; 2 – 1-го и 2-го газогенераторов; 3 – 1-го, 2-го и 3-го газогенераторов

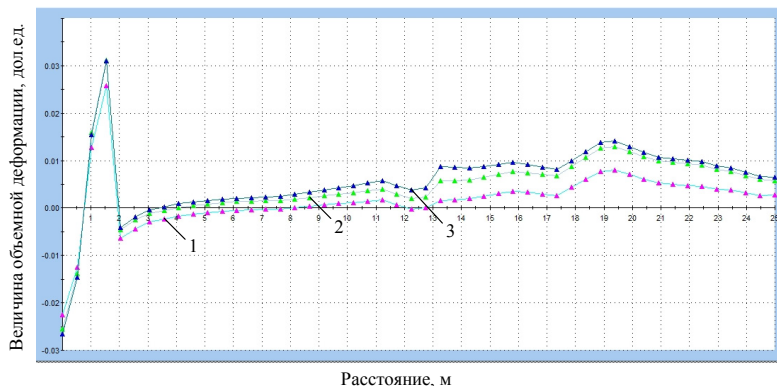


Рис. 3. Величина изменения объемной деформации в массиве песчаных пород над каналом 1-го газогенератора при наличии линистого прослоя с учетом воздействия температурного поля: 1 – максимальная площадь выгазовывания 1-го газогенератора; 2 – 1-го и 2-го газогенераторов; 3 – 1-го, 2-го и 3-го газогенераторов

Для вариантов залегания в кровле угольного пласта песчаных пород (рис. 4) отличие в формировании зон объемных деформаций характерно как пространственно, так и амплитудно. В первом варианте (рис. 4, а) зоны разрыхления формируются по всей площади выгазовывания и значения объемных деформаций достигают от 1 – 4,5%.

Во втором варианте (рис. 4, б) максимум деформаций разрыхления приходится на центральную часть первого отработываемого газогенератора и на удаленные стороны 2-го и 3-го газогенераторов. Значение таких деформаций достигает 6,5 – 8,5%, но площади их распространения довольно локальны.

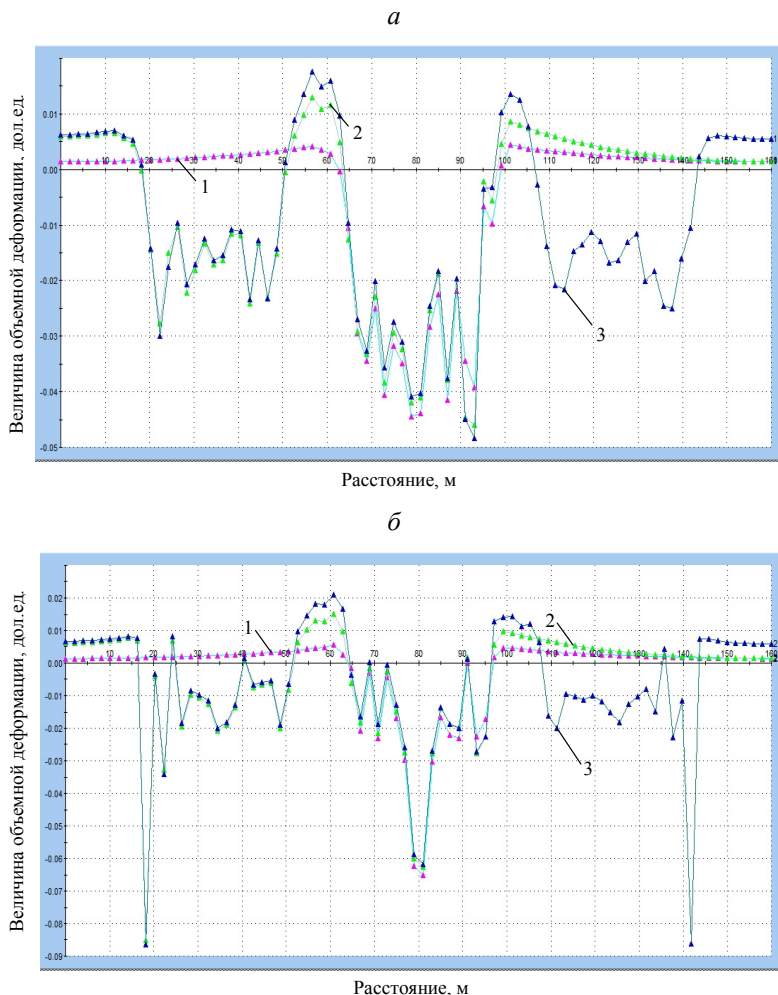


Рис. 4. Величина изменения объемной деформации в массиве песчаных пород по простираению газогенераторного поля, на расстоянии 2 м над каналом выгазовывания без учета (а) и с учетом (б) воздействия температурного поля: 1 – максимальная площадь выгазовывания 1-го газогенератора; 2 – 1-го и 2-го газогенераторов; 3 – 1-го, 2-го и 3-го газогенераторов

При наличии в кровле угольного пласта глинистых прослоев, подвергшихся воздействию температурного поля, характер изменений полей объемных деформаций несколько иной (рис. 5). Значение деформаций разрыхления хоть и достигает своего максимума (около 20%), но носит весьма локальный характер, формируясь лишь в краевых зонах центрального газогенератора (первого по порядку отработки).

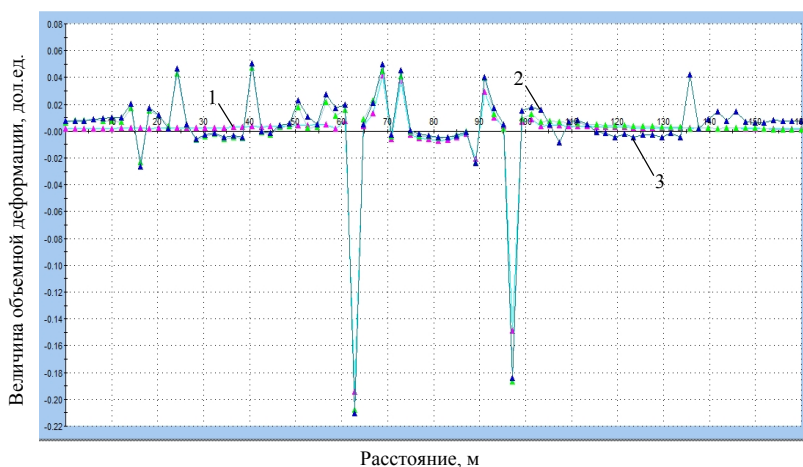


Рис. 5. Величина изменения объемной деформации в массиве песчаных пород по простирацию газогенераторного поля, на расстоянии 2-х метров над каналом выгазовывания, при наличии глинистого прослоя и с учетом воздействия температурного поля: 1 – максимальная площадь выгазовывания 1-го газогенератора; 2 – 1-го и 2-го газогенераторов; 3 – 1-го, 2-го и 3-го газогенераторов

В пределах межгенераторных целиков (варианты залегания песчаных пород в непосредственной кровле) формируются зоны дополнительного уплотнения (рис. 4), что в свою очередь будет уменьшать гидравлическую взаимосвязь смежных газогенераторов после их отработки. В случае залегания в непосредственной кровле глинистых (водоупорных) пород изменение объемных деформаций в пределах смежных газогенераторов практически отсутствует и гидравлическая связь между ними, в большинстве своем, будет определяться фильтрационными свойствами угольного пласта.

Изменение значений объемной деформации горных пород по мере развития канала подземного газогенератора и включения в работу его новых панелей, полученные по результатам геомеханического моделирования, позволяют с достаточной степенью достоверности внести корректировку в фильтрационные параметры массива.

ВЫВОДЫ

Оценка факторов, влияющих на изменение параметров проницаемости массива возможна при реализации синтеза двух видов численных моделей: геомеханической на основе метода конечных элементов (Phase2) и геофильтрационной на основе метода конечных разностей (MIF).

Две основные для Днепробасса структурно-гидрогеологические схемы изменения проницаемости массива при подземной газификации угля рассмотрены на основе анализа полей объемной деформации пород.

Рассмотренная ранее взаимосвязь объемных деформаций пород и их коэффициентов фильтрации [3] позволит с достаточной степенью достоверности определять

количественно величину водопритока на различных стадиях процесса подземной газификации.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Управление геофильтрационным состоянием горного массива при ведении горных работ / И.А. Садовенко, В.И. Тимошук, А.А. Матвиенко // Комплексное и рациональное освоение железорудных месторождений. – Губкин, 1990. – С. 29 – 31.

2. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике / А.Б. Фадеев. – М.: Недра, 1987. – 221 с.

3. Тишков В.В. Особливості формування техногенної проникності в кровлі вугільного шару при підземній газифікації вугілля / В.В.Тишков // Науковий вісник НГУ. –

2012. – № 1. – С. 35 – 39.

4. Ломакин Е.А. Численное моделирование геофильтрации / Ломакин Е.А., Мироненко В.А., Шестаков В.М. – М.: Недра, 1988. – 228 с.

ОБ АВТОРАХ

Тишков Владимир Владимирович – ассистент кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Национального горного университета.