

В.В. Тишков

## **ОЦЕНКА ВОДОПРИТОКА В КАНАЛ ПОДЗЕМНОГО ГАЗОГЕНЕРАТОРА, ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ПРОНИЦАЕМОСТИ МАССИВА, В УСЛОВИЯХ ДНЕПРОБАССА**

*Обоснована схематизация гидрогеологических условий участка выгазовывания в плане и разрезе на примере прибортовой части буровугольного разреза в Днепробассе. На основе ранее установленных зон изменения фильтрационных параметров над кровлей и подошвой канала газогенератора выявлена динамика формирования удельного водопритока согласно развитию канала выгазовывания.*

---

### **ОЦІНКА ВОДОПРИПЛИВУ В КАНАЛ ПІДЗЕМНОГО ГАЗОГЕНЕРАТОРА, ЗА УМОВ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ПРОНИКНОСТІ МАСИВУ, В УМОВАХ ДНІПРОБАСУ**

*Обґрунтовано схематизацію гідрогеологічних умов ділянки вигазовування в плані та розрізі на прикладі прибортової частини буровугільного розрізу в Дніпробасі. На основі раніше встановлених зон зміни фільтраційних параметрів над покрівлею і подошвою каналу газогенератора виявлена динаміка формування питомого водоприпливу згідно розвитку каналу вигазовування.*

---

### **ESTIMATION OF WATER CONTROL IN CHANNEL UNDERGROUND GAS GENERATOR DURING CHANGING OF PARAMETERS CONSTANT MASS IN CONDITION DNIPROBASS**

*Schematization of hydrogeological conditions in the area of degasification plan and section on the example of the near-the-board lignite mine in Dniprobass is substantiated. On the basis of previously established zones filtration parameters change over top and a bottom channel gasifier revealed the specific dynamics of formation water production according to channel development degasification.*

---

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Процесс подземной газификации угля (ПГУ), как правило, сопровождается значительными геомеханическими и гидрологическими изменениями в массиве горных пород прилегающем к угольному пласту. Оценка изменения водопритоков в канал газификации по мере выгазовывания уголь-

ного пласта довольно сложна и базируется на учете ряда основных факторов: наличия остаточных напоров на угольный пласт в кровле и почве; гидрогеологической проводимости самого угольного пласта и вмещающих его слабопроницаемых пород; улучшения вертикальной гидравлической проводимости горной породы выше камеры сгорания в результате геомеханических нарушений; процессами температурного воз-

действия на боковые породы вокруг газогенератора.

Определение пространственных фильтрационных параметров массива при ПГУ в их количественном контексте в первую очередь будет зависеть от гидрогеомеханических изменений, происходящих в нем [1, 3 – 5].

Не вызывает сомнения то, что в пределах рассмотренных выше позиций для участка подземного газогенератора важно минимизировать затраты по предварительному дренированию обводненных надугольной и подугольной толщи горных пород.

Оптимизация данных требований возможна при расположении газогенератора на некотором удалении от прибортовой зоны неотрабатываемого угольного разреза.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДОПРИТОКОВ К КАНАЛУ ГАЗОГЕНЕРАТОРА В СЛОИСТОМ МАССИВЕ МЕТОДОМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Для исследования фильтрационных полей и закономерностей их изменения в затронутых процессом газификации условиях создана численная гидродинамическая модель породного массива, характерного для бурогоугольных месторождений Украины, и представленного толщей песчано-глинистых отложений, вмещающих угольный пласт.

При оценке закономерностей нарушенного режима подземных вод гидрогеологические прогнозы базируются на решении основного дифференциального уравнения неустановившейся фильтрации, которое для двумерного в плане потока подземных вод имеет вид [6]:

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

где  $H$  – искомая функция напора;

$T_x$  – проводимость водоносного горизонта в направлении « $x$ »;

$W$  – величина единичной инфильтра-

ции;

$Q_p$  – единичный расход, отражающий взаимосвязь с рекой;

$Q_n$  – единичный расход, характеризующий взаимосвязь водоносных горизонтов через слабопроницаемые разделяющие слои;

$\mu$  – упругая водоотдача,

$t$  – текущее время.

Начальные и граничные условия, при которых решается уравнение (1), формируются в зависимости от природных и техногенных условий и заданных условий возмущения потока подземных вод, а само решение проводится численными итерационными методами, в основе которых лежит использование метода сеток, т.е. системы конечно-разностных уравнений.

Фильтрационное сопротивление (величина обратная водопроницаемости) между центрами соседних блоков представляет собой отношение потерь напора к расходу потока на выбранном участке:

$$\Phi = \frac{\Delta H}{Q} = \frac{\Delta H}{K\omega \frac{\Delta H}{\Delta x}} = \frac{\Delta x}{K\omega}, \quad (2)$$

где  $\omega$  – площадь поперечного сечения потока подземных вод.

Для планового потока подземных вод шириной  $\Delta y$  уравнение (2) принимает вид

$$\Phi = \frac{\Delta H}{q\Delta y} = \frac{\Delta H}{T\Delta y} = \frac{\Delta H}{T\Delta y \Delta H / \Delta x} = \frac{\Delta x}{T\Delta y}. \quad (3)$$

Фильтрационное сопротивление  $\Phi$  потока между расчетными блоками, выражают, согласно (3), через размеры блоков ( $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ) и значения водопроницаемостей  $T$ .

Параметр  $W$  отражающий питание (разгрузку) пласта по площади распространения, в данной постановке задачи отражает перетекание через слабопроницаемые (разделяющие) слои. Его численное значение определяется соотношением

$$W = \frac{H - H'}{m_0/k_0},$$

где  $H$ ,  $H'$  – напоры подземных вод в рассматриваемом и смежном водоносных горизонтах;

$k_0$ ,  $m_0$  – коэффициент фильтрации и мощность разделяющего слоя.

Геофильтрационные задачи решаются итерационными методами, сущность которых состоит в последовательном приближении получаемого решения к точному. Критерием завершения итерационного процесса является условие близости результатов двух последовательных итераций:

$$\max_{j,i} |H_{j,i}^{k+1} - H_{j,i}^k| \leq \xi.$$

Полагается, что расчетная итерация отличается от точного решения не более, чем на заданное малое число  $\xi$ . Дополнительным критерием служит соблюдение поточечного баланса по всей области фильтрации.

Все вышеописанные алгоритмы численного решения стационарных и нестационарных задач геофильтрации применены для решения задач прогнозирования изменения водопритока в канал газогенератора на различных стадиях его развития.

*Геофильтрационная схематизация условий.* Участок исследований площадью около 5,54 км<sup>2</sup> находился на некотором удалении от прибортовой части угольного разреза.

В соответствии с геолого-гидрогеологическим строением участка в разрезе область схематизирована трехслойной водоносной толщей. Первый расчетный слой представлен надугольным водоносным комплексом ( $N_1pl$ ,  $P_2kv$ ,  $P_2b\bar{c}_I$ ), второй – продуктивной угольной толщей. Третий – подугольным напорным водоносным горизонтом бучакских отложений ( $P_2b\bar{c}$ ).

Водоносные горизонты имеют тесную гидравлическую связь, которая подтверждается близостью абсолютных отметок их уровней.

Водовмещающими породами первого расчетного слоя являются плотные мелко-

зернистые пески со средней водопроницаемостью  $km$  около 80 м<sup>2</sup>/сут, мощностью до 28 м, коэффициентом урвнепроводности 10<sup>3</sup>, водоотдачей 0,02. Буроугольная толща, заключенная между двумя относительноными водоупорами представленными углистыми глинами, классифицировалась как второй расчетный слой ( $km \approx 1$  м<sup>2</sup>/сут). Третий расчетный слой был приурочен к разнотернистым подугольным пескам с проницаемостью до 44 м<sup>2</sup>/сут при средней мощности около 4 м.

Питание водоносных слоев происходит за счет подтока от водораздела. Разгрузка подземных вод осуществляется через бортовую часть карьера.

Гидрогеологические параметры водоносных толщ и разделяющего слоя в модели приняты по данным опытно-фильтрационных работ и режимных наблюдений и корректировались в процессе решения обратных задач.

Непрерывное фильтрационное поле в модели представлено сеточной областью 77×75 ячеек. Размер ячейки 2×2 м, с уменьшением шага по  $Y$  в пределах газогенератора до 1×2 м. Граничные условия во всех расчетных слоях идентичны, поскольку общее направление потока подземных вод направлено к борту карьера. Удаленная от борта карьера граница схематизирована как условие первого рода с обеспеченным питанием ( $H = const$ ), что соответствует реальному положению уровней подземных вод для данных условий. На основании решения обратной задачи данное граничное условие изменено на границу второго рода с притоком согласно сходимости балансных и уровневых решений.

Зона разгрузки расчетных слоев схематизирована в плане как граница ( $H = const$ ) с абсолютными отметками выхода подземных вод в борт карьера.

Боковые границы совпадают с линиями токов обводненной толщи и схематизированы в плане как  $Q = 0$ .

Параметр перетекания в разделяющих

слоях при начальных мощностях слабопроницаемых пород до 2,0 м и значении коэффициента фильтрации 0,001 м/сут оценивался исходя из общего баланса геофильтрационной модели при решении эпигнозных задач.

Оценка соответствия модели и объекта. Соответствие численной модели натурным условиям устанавливалось в процессе решения обратных задач по балансовым составляющим геофильтрационной модели и начальному положению уровенной поверхности в водоносных горизонтах. Критерием оценки балансовой составляющей являлось соответствие положения уровенных поверхностей в расчетных слоях реальным условиям. При общем балансе моделируемой области около 134 м<sup>3</sup>/сут невязка по балансу составила 1,24% с погрешностью 4,34 м<sup>3</sup>/сут. Невязка баланса была максимальна во втором расчетном слое (продуктивная толща) и не превышала 4,3%.

Решение обратных задач для идентификации модели к натурным условиям

представляло собой многовариантные расчеты, в процессе которых оценивалось влияние на уровни подземных вод и подземный сток последовательных изменений водопроводимости пластов, инфильтрационного питания, параметров взаимосвязи водоносных горизонтов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Решение прогнозных задач по определению динамики развития водопритока в канал подземного газогенератора осуществлялось по трем вариантам. Первый вариант решения прогнозной задачи заключался в моделировании прогнозного удельного водопритока в природных условиях залегания водоупора (ненарушенное состояние). Второй и третий варианты решения соответствовали определению удельного водопритока при разной мощности водоупорных углистых глин с учетом температурных и геомеханических изменений в массиве [2 – 5].

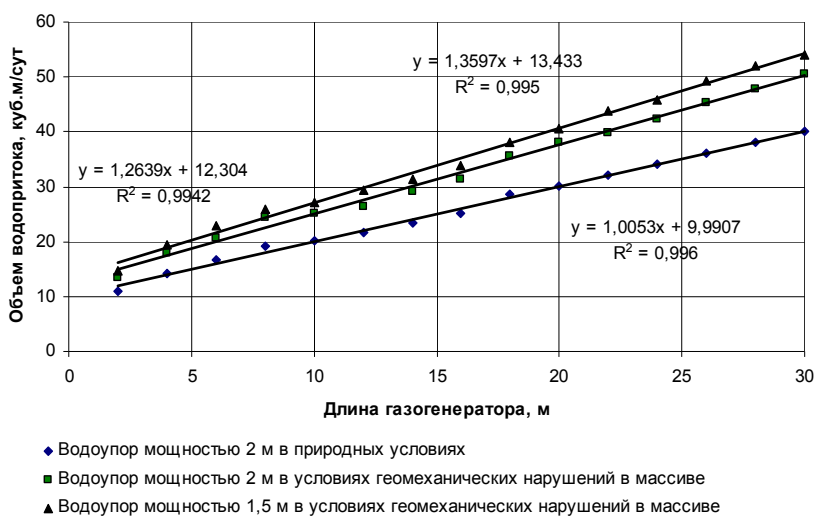


Рис. 1. Динамика изменений удельного водопритока в канал подземного газогенератора при его развитии

Постановка решения прогнозных задач осуществлялась в нестационарном режиме фильтрации, что определялось развитием

площади канала газификации во времени.

Как видно из полученных результатов, величина изменения удельного водопритока

ка носит линейный характер, зависит от мощности водоупора и нарушений фильтрационной проницаемости массива.

## ВЫВОДЫ

1. Определение динамики изменения водопритока на данном этапе исследований моделировалось с учетом близких к оптимальному положений уровня подземных вод. Так напор в подугольном водоносном горизонте варьировал в пределах от 4 до 8 м. Остаточный напор в надугольном водоносном комплексе соответствовал 4 – 6 м.

2. Изменение фильтрационной проницаемости массива над каналом газогенератора изменялось от 2 до 15%, что соответствует ранее полученным результатам для данных горно-геологических условий.

3. Полученные результаты указывают, что при решении фильтрационной задачи в нестационарном режиме, на данный расчетный период времени (до 60 сут), величина изменения удельного водопритока носит линейный характер, зависит от мощности водоупора и нарушений фильтрационной проницаемости массива. Величина удельного водопритока на 1 м канала газификации, при средней мощности выгасываемого угля 1,5 – 2 м, изменяется от 1,33 до 1,81 м<sup>3</sup>/сут.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Elizabeth Burton, Julio Friedmann, Ravi Upadhye. *Practices in Best Practices in Underground Coal Gasification/Lawrence Livermore National Laboratory. This work was performed under the auspices of the U.S. Department of Energy by the University of California, Lawrence Livermore National Laboratory under contract No. W-7405-Eng-48.*

2. Крейнин Е.В. *Подземная газификация углей / Е.В. Крейнин. – М.: Недра, 1982. – 394 с.*

3. Крейнин Е.В. *Нетрадиционные термические технологии добычи трудноизвлекаемых топлив: уголь, углеводородное сырье / Е.В. Крейнин. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2004. – 301 с.*

4. Тишков В.В. *Особенности формирования техногенной проницаемости в кровле угольного пласта при*

*подземной газификации угля / В.В. Тишков // Научный вестник НГУ. – Д., 2012. – № 1. – С. 35 – 39.*

5. *Influence of layers gasification on bearing rocks / V. Timoshuk, V. Tishkov, O. Inkin [etc.] // Geomechanical processes during underground mining. Proc. of the School of underground mining, Dnipropetrovs'k, 2012. – CRC Press, Taylor and Francis Group, London, 2012. – P. 109 – 113.*

6. Мироненко В.А. *Динамика подземных вод: учебник для ВУЗов / В.А. Мироненко. – М.: МГУ, 2009. – 519 с.*

## ОБ АВТОРАХ

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

