

## **АЛГОРИТМЫ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ**

Технологические процессы подземного выщелачивания по своей структуре являются сложными техническими многосвязными системами, охватывающими несколько подсистем (пласт-скважина – насосные станции – концентрации реагентов и т.д.). Все эти подсистемы взаимосвязаны, и нарушение технологического режима хотя бы одной из подсистем приводит к остановке всего цикла работы системы в целом. Поэтому в настоящее время большое внимание уделяется прогрессивным методам разработки многокомпонентных систем, одним из которых является метод подземного выщелачивания (ПВ). Метод ПВ по сравнению с другими методами наиболее экономичный и безвредный, а его использование не приводит к нарушению окружающей среды.

Сложность процесса, протекающего в реальных подземных условиях, обуславливает необходимость разработки математических моделей и программного обеспечения для изучения всего цикла технологического процесса ПВ в реальных условиях и принятия решений в соответствии с целью управления. Таким образом, разработка моделей для решения проблем анализа и принятия решений в управлении технологическими процессами подземного выщелачивания при добыче полезных ископаемых в рудных месторождениях, а также создание соответствующих вычислительных алгоритмов и программного обеспечения являются актуальными на сегодняшний день.

Сущность метода ПВ заключается в приведении полезных ископаемых в подвижное состояние посредством образования на месте их залегания тепловых, массообменных, химических, диффузионных и гидродинамических процессов. В развитие этих вопросов значительный вклад внесли многие исследователи, в частности зарубежные исследователи В.Ж. Аренс, В.Г. Бахуров, Н.П. Бусленко, Н.Н. Веригин, Л.Г. Ворошнин, В.С. Голубев, В.А. Грабовников, А.Н. Канавалов, Л. Лукнер, В.М. Шестаков, И.К. Луценко, В.И. Белецкий, В.А. Мамилов, В.Н. Николаевский, Г.Х. Хчеян., И.С. Нафтулин, И.А. Чарный, Е.И. Рогов, В.Г. Языков, М.В. Шумилин, а также такие узбекские ученые, как академики В.К. Кабулов, В.Р. Рахимов, Б.Ф. Абуталиев, профессора Н.М. Мухидинов, Х. Каримов, И. Алимов, Т. Валиев и др.[1-5]

Анализ моделей и вычислительных алгоритмов для технологических процессов ПВ, разработанных на сегодняшний день, показывает, что существует еще много нерешенных проблем.

Исходя из этого, в данной статье отдельное внимание уделяется задаче разработки моделей управления процессом ПВ для явлений, протекающих в неоднородной среде с учетом реальных свойств объекта, а также принятию целесообразных решений и прогнозированию с помощью разработанных моделей [6].

Растворение полезного компонента в недрах земли и последующее движение образовавшихся соединений происходят в основном в соответствии с гидродинамическими законами, законами массопереноса и химической кинетики. Сложность процесса, протекающего в реальных подземных условиях, обуславливает необходимость разработки математических моделей и программного обеспечения для изучения всего цикла технологического процесса ПВ в реальных условиях и принятия решений в соответствии с целью управления. Основная цель создания модели – характеристика и прогнозирование некоторых объектов и технологических процессов. Модели, основанные на математической интерпретации проблемы, помогают в поиске необходимой информации для принятия решений с помощью определенных алгоритмов. Математическая модель управления для принятия решений при анализе технологического процесса ПВ предлагается в следующем уравнении, отображающем характер изменения фильтрационного потока:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{kh}{\mu} \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{kh}{\mu} \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \mu \sum_{i=1}^N \delta(x - x_i, y - y_i) Q_i(t) = mh\beta \frac{\partial H}{\partial t} \quad (1)$$

в области  $G = \{(x, y, t) / a < x < b, \quad c < y < d, \quad 0 < t \leq T_k\}$ , удовлетворяющей

граничным  $(\alpha \frac{\partial H}{\partial n} + (1 - \alpha)H) / \Gamma = \varphi(x, y)$  и начальным

$H(x, y, 0) = H_0(x, y)$  условиям.

После решения задачи (1) и определения напора  $H$  находится скорость фильтрации по закону Дарси:  $v_x = -k_1 \frac{\partial H}{\partial x}$ ,  $v_y = -k_2 \frac{\partial H}{\partial y}$ .

С целью определения концентрации полезного компонента в пласте рассматривается уравнение конвективной диффузии:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D \frac{\partial C}{\partial y} \right) - \frac{\partial (v_x C)}{\partial x} - \frac{\partial (v_y C)}{\partial y} - \gamma(C - C_m) = m \frac{\partial C}{\partial t}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} = \gamma(C)f(C, N, L, \Gamma), \quad N(x, y, 0) = N_0(x, y)$$

в области  $G$  с начальным  $C(x, y, 0) = C_0$  и граничным

$$\left( \alpha \frac{\partial C}{\partial n} + (1 - \alpha)C \right) \Big|_{\Gamma} = \psi(x, y, t), \quad \text{а также внутренними}$$

$$C(x, y, t) \Big|_{(x, y) = (x_i, y_i)} = C_i, \quad \frac{\partial C}{\partial n} \Big|_{(x, y) = (x_j, y_j)} = 0 \text{ условиями.}$$

Главная задача состоит в обеспечении целесообразных действий с помощью управления процессом ПВ и выборе параметров, гарантирующих осуществление следующих основных целей: минимизация притока реагента через рудоносные границы пласта; обеспечение равномерного гидродинамического выщелачивания; максимизация значений концентрации полезного компонента; оптимальное расположение скважин.

Эти цели реализуются путём минимизации целевой функции  $R$  выбором критерия оптимизации ( $U$ ), т.е. решением задачи.

Здесь  $C(X, U)$  – решение задачи (1)–(2) в точке  $(x, y)$  в заданный момент времени  $t$ ,  $C_b(X, U)$  – требуемое оптимальное значение полезной компоненты,  $\varepsilon$  – заданная точность,  $U$  – вектор с компонентами,  $\gamma$  – концентрация кислоты в закачиваемом растворе,  $q_0, q_k$  – дебиты скважин,  $\nu$  – скорость фильтрации и др. Вводятся следующие критерии управления для решения этой задачи.

Допускается, что уравнение фильтрационного потока описывается уравнением

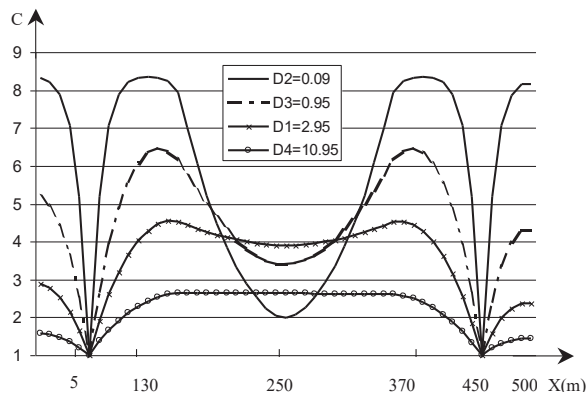
$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial y^2} = \frac{1}{\chi} \frac{\partial H}{\partial t} + f(x, y, t) \quad (3)$$

удовлетворяющим начальному  $H(x, y, t) \Big|_{t=0} = H_0(x, y)$  и граничному

$$\frac{\partial H(x, y, t)}{\partial n} \Big|_{\Gamma} = 0 \text{ условиям. Здесь, } f(x, y, t) = \frac{\mu}{kh} \sum_{i=1}^N q_i(t) \delta(x - x_i, y - y_i).$$

Причина резкого повышения значения концентрации на правой границе состоит в том, что здесь кислотная щелочь прибывает очень быстро. Левая граница находится очень далеко от закачной скважины и в рассматриваемый момент времени сохраняется начальная концентрация.

На рис. 1 показан характер зависимости изменения значений концентрации полезной компоненты от коэффициента диффузии ( $D$ ) в момент времени, равный 900 суток.



**Рисунок 1 – Изменение концентрации  
в зависимости от коэффициента диффузии**

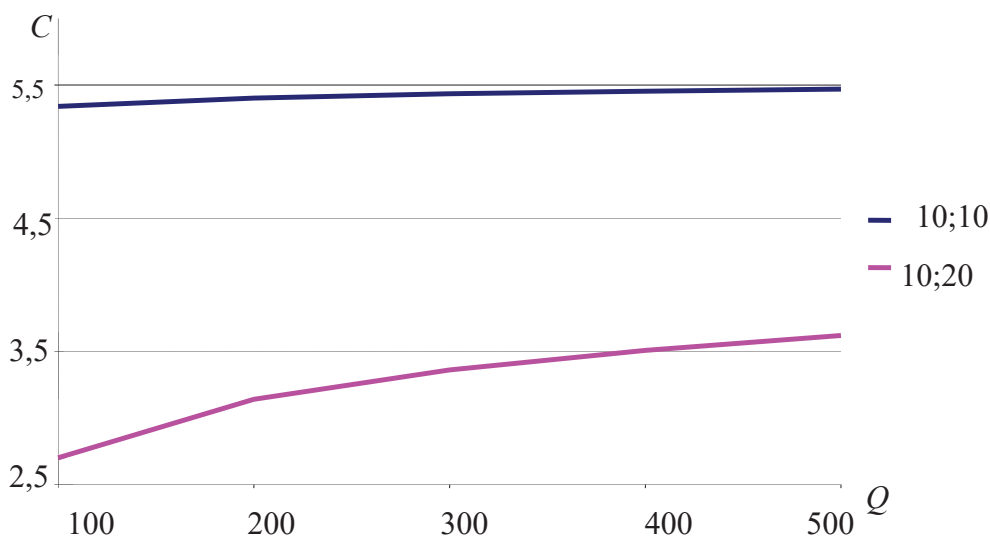
В этом случае наблюдается быстрое распределение значения коэффициента диффузии  $D \geq 1$ , иначе при медленном распределении наблюдается стремление к нулю. Из этого следует, что, если позволяют технологические возможности, надо обеспечить  $D \geq 1$  для равномерного распределения диффузии.

Сначала определяется динамика изменения значения концентрации через изменение дебита откачной скважины. В случае, когда имеются четыре закачных скважин и одна – откачная, расположенная в точке (5, 5), получены результаты для разных значений дебита в откачной скважине. Результаты вычисления проанализированы для  $T = 91$ ; 200 суток.

Результаты анализа для 91 суток приведены на рис. 2, где показан график связи значения дебита в откачной скважине со значением концентрации в точках (10,10) и (10,20).

Из полученных результатов можно заключить, что значение концентрации в точках, расположенных дальше от закачной скважины, повышается быстрее, чем в точках, расположенных близко от закачной скважины. Причина этому – повышение дебита в откачной скважине.

Требуется управлять процессом ПВ так, чтобы в откачных скважинах через 360 суток средняя концентрация полезной компоненты достигла максимума (т.е.  $C_{\text{ср}} = 9,4 \text{ мг/м}$ ) за счет подбора критериев концентрации кислоты в закачиваемый реагент. Для решения задачи из реальных факторов определены пределы изменения концентрации кислоты ( $\gamma$ ) в закачиваемом растворе. В наших данных безразмерное значение этого параметра ( $\gamma$ ) определено в пределах  $0,05 \cdot 10^{-7} < \gamma < 0,5 \cdot 10^{-7}$ .



**Рисунок 2 – Вычислительные значения изменения концентрации для разного дебита во времени**

Итак, для принятия необходимых решений в целях управления технологическим процессом ПВ решаются следующие задачи:

- системное исследование объекта ПВ;
- обработка данных;
- математическое моделирование;
- создание вычислительных алгоритмов;
- объектно-ориентированное программирование;
- получение результатов на вычислительной машине;
- системный анализ полученных результатов для принятия решений в управлении процессом;
- создание базы данных для принятия решений и описание способов ее использования.

Исходя из этих задач, структура управления и характеристика каждого блока, приведены результаты влияния изменения критериев управления процессом и их анализ.

Из-за сложности процесса ПВ выбор параметров происходит не одновременно, а по отдельности. Гидродинамические параметры выбираются с использованием гидродинамической модели для процесса ПВ. В качестве экспериментальных значений используются динамические величины, примененные в предыдущей разработке. После этого выбираются кинетические параметры. В этом случае выходящими параметрами или последней целью является максимизация значений концентрации откачной скважины.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ирискулов С.С., Исманова К.Д. Газ фильтрацияси масалаларини ечишни ташкил этувчи амалий дастурлар боғламини яратиш технологияси ҳақида // Материалы республиканской научно-практической

конференции. – Наманган, 2006. – С. 321-323.

2. Пирназарова Т., Исманова К. Система принятия решений в процессе подземного выщелачивания // Международная конференция по распространению упругих и упругопластических волн, посвященная столетию со дня рождения академика Х.А. Рахматулина: Тез. докл. – Бишкек: КГТУ, 2009. – С. 339-342.

3. Алимов И., Исманова К.Д. Физик-кимёвий диффузия масалаларини сонли ечиш учун чекли-айирмали схемаларни қўллаш // Геотехнология: XXI асрда ерости қориштиришда қўлланаётган инновацион усуллар: Материалы Республиканской научно-технической конференции с международным участием. – Москва – Навои, 2007. – С. 159.

4. Алимов И., Исманова К. Д. Перспективы развития метода подземного выщелачивания для разработки рудных месторождений // Горное, нефтяное, геоэкологическое образование в XXI веке: Тез.докл. II международной конференции. – Москва, 2007. – С. 200-202.

5. Исманова К.Д. Физик-кимёвий гидродинамика жараёнларини бошқаришнинг математик модели ва алгоритми // Информатика ва энергетика муаммолари. – Ташкент, 2007. – №3. – С. 26-36.

6. Жураев Т.М., Исманова К.Д. Модель и алгоритм трехмерной визуализации численных результатов для поддержки принятия технологических решений // Теория и практика современной науки. – 2016. – №. 4. – С. 269-273.

УДК 519.688

А.В. Мингалева, нач. сектора  
(АО «НПО ГИПО», г. Казань, Россия)

### **ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЕШИФРИРОВАНИЯ СКАНЕРНЫХ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ЗАДАННЫХ ТИПОВ ОБЪЕКТОВ**

Применение сканерных тепловизионных съемочных систем (сканерных ТПВ-систем) для авиационного мониторинга обширных территорий позволяет выполнять широкий спектр задач в лесном хозяйстве, задач, связанных с экологическим мониторингом и мониторингом стихийных бедствий. Ключевая особенность сканерных ТПВ-систем – высокая производительность съемки, влечет за собой необходимость обработки большого объема графической информации, превышающего объем графической информации, который оператор способен просматривать в реальном масштабе времени в процессе выполнения съемоч-