УДК 622.775

## Ш.Ш. Аликулов, Ф.Ф. Нажимов

## АНАЛИЗ БАЗОВОЙ МОДЕЛИ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ УРАНА К ПРИРОДНЫМ УСЛОВИЯМ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

На основе этого анализа, разработана детерминированная модель процесса ПВ. В качестве метода детерминированного моделирования выбран функциональный анализ, который предопределил исследование причинно-следственных связей процесса ПВ, исходя из физико-химических закономерностей, протекающих в естественных природных средах. Для описания процесса ПВ разработаны уравнения (математические зависимости) с учетом основ гидродинамики, кинетики вышелачивания и массопереноса. Решение полученных систем уравнений дает искомое соотношение между входными и выходными параметрами процесса ПВ в динамике его развития. А анализ результатов отклика систем на изменение входных параметров позволяет осуществлять целенаправленное управление и оптимизацию параметров системы ПВ.

Ключевые слова: подземное выщелачивание, гидродинамика, кольматация, скважина, моделирование, дебит, расход реагента, серная кислота.

Параметры скважинных систем отработки способом ПВ в зависимости от природных геологических и гидрогеологических условий характеризуются различными геотехнологическими показателями. Изменение технологических параметров систем ПВ, соответственно вызывает необходимость корректировки значений геотехнологических показателей с целью повышения эффективности добычи.

Таким образом, геотехнологические показатели являются основой для всех последующих расчетов и анализа работы той или иной системы разработки, сопоставления и выбора эффективного варианта расположения скважин, схем вскрытия и технологических режимов добычи.

Созданием и автоматизацией методов расчетов основных геотехнологических показателей скважинных систем разработки пластовых месторождений в разное время занимались ряд исследователей. Известные в настоящее время методы расчетов основных геотехнологических показателей основаны на применении трех математических моделей: детерминированной, вероятностно-статистической и эвристической.

Многообразие и высокая степень изменчивости основных параметров характеризующие природные факторы месторождения урана, подтвердили, что построение детерминированных моделей не позволяет с высокой степенью точности характеризовать процесс формирования продуктивных растворов. Поэтому, усилия разработчиков были направлены на создание математических моделей, с высокой долей вероятности, описывающих процесс скважинного подземного вышелачивания.

Широкое распространение получил принцип дифференциального наложения (по лентам тока) на структуру фильтрационного потока кинетических закономерностей перевода урана в раствор, полученных для одномерных условий фильтрации, и интегральное обобщение их во времени на выходе из откачной скважины.

На основе такого подхода построены модели процесса ПВ, которые в частных случаях удовлетворительно решают узкий круг технологических задач. Все эти модели могут применяться, как правило, после адаптации их к определенным природным условиям.

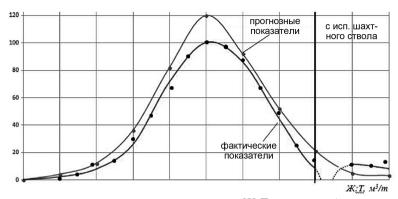
В одних моделях адаптация кинетики заключается в определении (подгонке) таких значений констант, для которых среднеквадратическое отклонение теоретической и фактической добычи и концентрации полезного компонента будет минимальным.

В других моделях при решении задач массопереноса в качестве исходных кинетических закономерностей перевода урана в раствор используются выходные кривые-зависимости извлечения полезного компонента от Ж:Т, полученные по данным лабораторных исследований кернового материала в условиях одномерной фильтрации, или по результатам единичных полевых опытных работ, проведенных для определенных, выбранных по природным условиям объектов ПВ. Подобные выходные графики фактически являются готовыми численными решениями дифференциальных уравнений массопереноса и в интегральной форме включают весь комплекс физико-химических процессов, возникающих и протекающих в одномерных условиях фильтрации.

Использование в качестве исходного параметра основного геотехнологического показателя Ж:Т в таких моделях не соответствует в реальности процессу выщелачивания. Общеизвестно, что геотехнологические показатели ПВ (время отработки, скорость продвижения зоны выщелачивания, удельные расходы реагента на одну тонну вышелачиваемой горнорудной массы, удельные расходы реагента на добычу одного кг металла, среднее содержание металла в продуктивных

растворах, в том числе и Ж:Т (удельные расходы растворов на одну тонну выщелачиваемой горнорудной массы) являются функциями взаимодействия его природных и технологических параметров. Поэтому использование Ж:Т как, между прочим, и всех других геотехнологических показателей в моделях в качестве исходных равносильно рассмотрению следствий (показателей) в отрыве от причин, их вызвавших (исходных параметрах). По материалам предварительной и детальной разведок выбирается участок для опытно-промышленной отработки. При проектировании схем разработок (ячеистых, прямоугольных, рядных, с этажным расположением фильтров, комбинированных и т.д.) общим положением является достоверное представление об основных параметрах и условиях залегания намеченных к отработке рудных залежей (их частей). Выбор и применение тех или иных схем разработок (и их вариантов), основными составляющими элементами которых являются схемы размещения технологических скважин с различными межрядными и межскважинными расстояниями, режимы закачки-откачки растворов, концентрация в них реагентов, зависит главным образом от многообразия условий залегания руд. Любая схема отработки, как показывает опыт ПВ, может быть оптимальной только применительно к определенным условиям залегания и технологическим режимам эксплуатации рудных залежей.

Качественное проведение горноподготовительных работ на опытнопромышленном участке ПВ базируется на фактических материалах изученности природных параметров и условий залегания отрабатываемых рудных залежей и рудовмещающих горизонтов, полученных на стадии предварительной и детальной разведки. Определяется общая направлен-



Извлечения урана в раствор в зависимости от Ж:Т для рядной схемы расположения скважин

ность отработки блоков ПВ, выбираются варианты схем расположения скважин, рассчитываются межрядные и межскважинные расстояния в зависимости от технологических режимов, которые рассчитываются с применением базовой модели ПВ.

Последовательность работ на этапе проектирования следующая:

- по данным разведки на рудно-геологических планах намечаются контуры проектируемого эксплуатационного опытно-промышленного блока;
- проводится подсчет запасов металла по принятым эксплуатационным кондициям;
- в случае сложной конфигурации рудной залежи в плане (резкая изменчивость ширины, волнообразная форма контура, наличие безрудных участков и т.д.) проводится формализация ее контура, при этом учитываются выделенные природные типы и сорта руд;
- анализируется продуктивность и морфология рудной залежи в плане и разрезе, карбонатность по  ${\rm CO}_2$  (для сернокислотной технологии), фильтрационные свойства руд и вмещающих пород;
- проводится подсчет запасов по опытно-промышленному блоку с учетом переоконтуривания рудных залежей в границах блоков  $\Pi B$ ;

- выбираются возможные варианты схем разработок в зависимости от природных параметров и особенностей строения и залегания рудной залежи и намечаются межрядные и межскважинные расстояния;
- определяются численные значения природных и геотехнологических параметров, необходимых для расчетов технико-экономических показателей;
- подбираются возможные режимы вышелачивающих растворов и определяются производительность закачки-откачки с учетом расположения скважин;
- вся подготовленная информация является исходной для компьютерного расчета геотехнологических показателей ПВ по вариантам выбранных схем разработок;
- по результатам многовариантных расчетов выбирается оптимальный вариант вскрытия по критерию минимальных затраты добычи урана;
- для выбранного оптимального варианта вскрытия намечаются положения наблюдательных скважин.

Графическими приложениями к первому этапу проектирования опытно-промышленных работ являются:

- планы опробования рудных залежей в масштабе 1:1000 или 1:2000;
- геологические разрезы с данными детальной и эксплуатационной разведок;

### Исходные параметры для расчетов геотехнологических показателей процесса ПВ

Наименование параметра	Единица измерения	Индекс
Природные геолого-гидрогеологические параметры	М	
Общая (эксплуатационная) мошность рудной залежи с учетом безрудных прослоев	М	
Средняя рудная мощность (прессованная)	М	
Среднее содержание урана в руде	%	
Средняя площадная продуктивность	кг/м <sup>2</sup>	P
Средняя мощность рудовмещающего горизонта	М	M
Объемная масса руды и вмещающих пород	кг/м <sup>3</sup>	Y
Коэффициент анизотропии фильтрационных свойств вдоль $(K_{_{\! \! \! \! \! \! \! \! \! \! \! \! \! \! \! \! \! \! $	доли.ед	Ka
Карбонатность руд и вмещающих пород (по ${\rm CO_2}$ )	%	$CO_2$
Температурный режим пластовых вод	°C	$t_{0}$
Г еотехнологические параметры		
Параметры прямоугольной трехскважинной, ячеистой и этажной схем вскрытия:	М	L
Межрядное расстояние	М	$L_3$
Расстояние между скважинами в откачном ряду	М	$L_{\circ}$
Площадь, приходящаяся на одну откачную скважину	М	$S_{_{ m m}}$
Соотношение количества откачных и закачных скважин	ед.	$n_0$
Средняя длина фильтров	М	$l_{\Phi}$
Расстояние от подошвы верхнего водоупора до верха фильтра	М	$M_{_{ m фH}}$
Средняя глубина технологических скважин	М	$l_{_{\mathrm{CKB}}}$
Коэффициент открытости фильтров (рабочая часть)	%	$K_{\circ}$
Средняя концентрация кислоты в рабочих растворах на стадии закисления блоков $\Pi B$	%	$C_{\scriptscriptstyle{\mathrm{K3}}}$
Концентрация реагента в рабочих растворах на стадии отработки опытно-промышленного блока	%	$C_{_{\mathrm{KO}}}$
Средняя концентрация реагента в рабочих растворах до определенного уровня отработки запасов урана в	%	$C_{\scriptscriptstyle \mathrm{K}}$
Производительность откачных скважин	м <sup>3</sup> /ч	$V_{\circ}$
Производительность закачных скважин	м <sup>3</sup> /ч	$V_3$
Коэффициент использования работы технологических скважин	доли ед.	$K_{_{\mathrm{\!\tiny M}}}$
Эффектная мощность рудовмещающего горизонта	М	$M_{_{_{9}}}$
Приведенное содержание урана в интервале эффективной мощности, в выщелачиваемом объеме	%	TC
Интенсивность фильтрационной проработки одной тонны выщелачиваемой горнорудной массы	м <sup>3</sup> /т- квартал	J

• планы и обозначений параметров площадной продуктивности, карбонатности и т.д.

Следующий этап подготовки опытно-промышленного блока выполняется после завершения бурения технологических скважин и получения дополнительного материала по их опробованию. По суммированным данным пересчитываются эксплуатационные запасы урана в блоке ПВ, уточняются контуры с различными природными типами и сортами руд. Возможно частичное изменения схемы вскрытия, принятой на начальном этапе подготовки, за счет бурения единичных дополнительных технологических скважин, корректировки режимов выщелачивающих растворов, изменения производительностей скважин в пределах допустимого.

В таблице приводится состав исходной информации, необходимой для выполнения расчетов использованием модели процесса ПВ.

В результате обработки и анализа полученных результатов создана детерминированная динамическая модель ПВ, которая качественно и количественно отражает взаимосвязи и взаимообусловленность природных, технических и геотехнологических

параметров, определяющих эффективность процесса ПВ.

Созданная математическая модель ПВ основывается на описании динамики процесса ПВ, протекающего в естественных условиях в зависимости от природных, технических параметров и условий залегания рудных залежей, на основе обработки и анализа результатов многочисленных лабораторных, опытных и опытнопромышленных работ. Для определения основных геотехнологических показателей процесса ПВ разработаны следующие зависимости:

- время (продолжительность) отработки блоков является основным для оценки эффективности процесса вышелачивания, из которой последовательно, после соответствующих преобразований, получены значения Ж:Т, расход реагента на единицу выщелачиваемой рудной массы и среднее содержания урана в продуктивном растворе;
- при увеличении приведенного содержания урана (отношение линейного запаса к эффективной мощности) время отработки возрастает, а с увеличением концентрация реагента в рабочих растворах и интенсивности фильтрационной проработки снижается.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ческого моделирования для исследования фильтрационных процессов, происходящих при подземном выщелачивании / Доклады III Всесоюзной конференции по геотехнологическим методом добычи полезных ископаемых. – М.: ГИГХС, 1983. – С. 108–109.

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ \_

Аликулов Шухрат Шарофович – кандидат технических наук, старший преподаватель, e-mail: shuxrat\_aliqul@mail.ru,

Нажимов Фарход Фахриддинович – магистр, e-mail: Dj.sarvar.91@mail.ru, Навоийский государственный горный институт, Узбекистан.

<sup>1.</sup> Кричевец Г.Н. Математические модели и программы для гидрогеологических и геотехнологических расчетов. – М.: МГРИ, 1987

<sup>2.</sup> Крашин И.И., Фазлуллин М.И., Шилов  $\Gamma$ .А. Применение методов математи-

UDC 622.775

## ANALYSIS OF IN-SITU URANIUM LEACHING REFERENCE MODEL CUSTOMIZATION TO NATURAL ENVIRONMENT OF A DEPOSIT

Alikulov Sh.Sh., Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, e-mail: shuxrat\_aliqul@mail.ru, Nazhimov F.F., Master, e-mail: Dj.sarvar.91@mail.ru, Navoi State Mining Institute, 210100, Navoi, Uzbekistan.

On the basis of this analysis, the determined model of process of developed. As a method of the determined modeling the functional analysis which predetermined research of relationships of cause and effect of process, proceeding from the physical and chemical regularities proceeding in natural environments is chosen. The equations (mathematical dependences) taking into account fundamentals of hydrodynamics, kinetics of leaching and a mass transfer are developed for the description of process. The decision of the received systems of the equations gives a required ratio between input and output parameters of process in dynamics of its development. And the analysis of results of a response of systems to change of input parameters allows to exercise purposeful control and optimization of parameters of system.

Key words: underground leaching, hydrodynamics, mudding, well, modeling, flow rate, flow rate of reagent sulfuric acid.

#### REFERENCES

- 1. Krichevets G.N. Matematicheskie modeli i programmy dlya gidrogeologicheskikh i geotekhnologicheskikh raschetov (Mathematical models and programs for hydrogeological and geotechnological calculations), Moscow, MGRI, 1987.
- 2. Krashin İ.I., Fazlullin M.I., Shilov G.A. *Doklady III Vsesoyuznoi konferentsii po geotekhnologicheskim metodom dobychi poleznykh iskopaemykh* (Proceedings of III All-Union Conference on Geotechnologies in Mineral Mining), Moscow, GIGKhS, 1983, pp. 108–109.



# — РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

# МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ (НДС) ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СПЛАВА ГРУППЫ WC-CO ПЕРЕД АРМИРОВАНИЕМ УДАРНОГО БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА

 $(N^{\circ} 1043/03-15 \text{ от } 17.12.14, 11 \text{ с.})$ 

Боярских Геннадий Алексеевич – доктор технических наук, зав. кафедрой,

e-mail: igb2000@mail.ru,

Боярских Илья Геннадьевич – инженер, e-mail: igb2000@mail.ru,

Уральский государственный горный университет.

# THE METHOD OF MODELING THE STRESS-STRAIN-STANDING (VAT) OF TUNGSTEN CARBIDE PRODUCTS OF ALLOY BAND WC-CO BEFORE REINFORCEMENT PERCUSSION DRILLING TOOL

Boyarsky G.A.<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Head of Chair,

e-mail: igb2000@mail.ru,

Boyarsky I.G.<sup>1</sup>, Engineer, e-mail: igb2000@mail.ru,

<sup>1</sup> Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.