

УДК 004.9+622.2

КОМПЛЕКСНОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ МЕТОДОМ СКВАЖИННОГО ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

М.Д. Носков, А.Д. Истомин, А.Г. Кеслер, С.Н. Носкова, А.А.Чеглоков

Северский технологический институт НИЯУ «МИФИ», г. Северск

E-mail: nmd@ssti.ru

Приведены структура и принципы функционирования геотехнологического информационно-моделирующего экспертного комплекса, предназначенного для информационного обеспечения разработки месторождения полезных ископаемых методом скважинного подземного выщелачивания. Комплекс может быть использован для сбора, хранения, обработки и визуализации информации о месторождении и геотехнологическом процессе, моделирования подземного выщелачивания, анализа технологических показателей, оптимизации работы предприятия, оценки экологических последствий разработки месторождений и подготовки планов природоохранных мероприятий.

Ключевые слова:

Управление технологическими системами, разработка месторождений полезных ископаемых, подземное выщелачивание, информационное обеспечение, математическое моделирование, экспертные системы.

Key words:

Technological system control, mining, in-situ leaching, dataware, mathematical modeling, expert system.

Введение

Способ подземного выщелачивания является одним из перспективных методов добычи урана, а также золота, цветных и редких металлов [1, 2]. При разработке месторождений полезных ископаемых данным способом происходит воздействие на залежь на месте её залегания с целью перевода полезных компонентов в раствор и последующее их извлечение, как правило, через скважины, буримые с поверхности до месторасположения залежи. Методом подземного выщелачивания разрабатываются месторождения, в которых рудное тело находится в хорошо проницаемом подземном водоносном горизонте (продуктивном горизонте). Скважинное подземное выщелачивание является более привлекательным и эффективным, по сравнению с традиционными способами добычи, при разработке бедных месторождений, а также глубокозалегающих месторождений, характеризующихся сложными гидрогеологическими и горно-технологическими условиями.

Отличительной особенностью метода скважинного подземного выщелачивания является сложность управления разработкой месторождений. Это обусловлено недостаточностью данных о продуктивном горизонте, невозможностью непосредственного наблюдения за технологическим процессом, значительной инерционностью геотехнологической системы, ограниченными возможностями воздействия на движение растворов с помощью изменения режимов работы технологических скважин и др. Повысить эффективность управления разработкой месторождения можно на основе сбора и обработки большого объема разнородных (геологических, гидрологических, технологических и др.) данных. Для информационной поддержки принятия управленческих решений целесообразно использовать современные информационные технологии.

В настоящее время различные информационные системы активно внедряются на горнодобы-

вающих предприятиях. Геоинформационные системы используются для хранения, обработки и визуализации пространственных данных о месторождении, подсчета запасов и проектирования разработки, например [3–7]. Данные о технологическом процессе собираются и обрабатываются информационно-измерительными системами [8–10]. Методы математического моделирования применяют для оптимизации и прогнозирования разработки месторождений [11–13]. Анализ результатов мониторинга и моделирования, подготовку управленческих решений проводят с помощью экспертных систем, сопряженных с базами знаний и данных [14–16].

Несогласованность различного рода программного обеспечения (разные методики работы, алгоритмы обработки информации, форматы представления данных и др.) приводит к невозможности однозначного сопоставления результатов, оперативного обмена информацией между ними и затрудняет их использование для решения технологических и экологических задач. В связи с этим, является актуальным создание и внедрение интегрированных комплексов программ, предназначенных для информационной поддержки управления работой горнодобывающего предприятия на всех стадиях жизненного цикла, включая геологоразведочные работы, проектирование, отработку запасов, вывод из эксплуатации и рекультивацию природной среды. Работы в этом направлении активно ведутся в последнее время.

Интегрированные программные комплексы широко используют при разработке месторождений нефти и газа, а также добыче полезных ископаемых традиционными подземным и открытым горными способами [17–20]. Применение существующих комплексов для разработки месторождений полезных ископаемых методами физико-химической геотехнологии затруднено в силу специфики данных методов. В настоящей работе представлены структура и принципы функционирова-

ния геотехнологического информационно-моделирующего экспертного комплекса (ГТИМЭК), предназначенного для информационного обеспечения управления разработкой месторождения методом скважинного подземного выщелачивания с учетом его отличительных особенностей.

Структура и принципы функционирования комплекса

ГТИМЭК позволяет собирать, хранить, обрабатывать и использовать информацию о состоянии месторождения и ходе технологического процесса, а также проводить прогнозное моделирование разработки, анализ и экспертную оценку технологических, экономических показателей и экологических последствий работы предприятия. Комплекс состоит из геологической геоинформационной, информационно-технологической, моделирующей и экспертно-аналитической систем, обменивающихся между собой разнородной информацией. Геологическая геоинформационная система (ГГИС) позволяет собирать, хранить и визуализировать информацию о состоянии геологической среды. Информационно-технологическая система (ИТС) предназначена для сбора, хранения и обработки данных о работе добычного комплекса геотехнологического предприятия и результатах мониторинга состояния подземного водоносного горизонта. Моделирующая система (МС) дает возможность проводить расчеты процесса подземного выщелачивания и распространения загрязняющих веществ в подземных водах.

Экспертно-аналитическая система (ЭАС) применяется для оценки и анализа результатов работы добычного комплекса, мониторинга и моделирования, а также для поддержки принятия управленческих решений. Структура ГТИМЭК показана на рисунке.

ГГИС состоит из блоков общения и геологического моделирования, баз первичных геологических данных и моделей продуктивного горизонта. Блок общения позволяет пользователю с помощью системы диалогов вводить, просматривать, редактировать и визуализировать разнородные данные (геологические, гидрогеологические, минералогические, геохимические и т. д.) о состоянии продуктивного горизонта. Также в блоке общения оценивается достоверность введенных данных, проводится их первичная обработка, осуществляется ведение протокола ввода данных, который позволяет определять и контролировать работу лиц, ответственных за введенные данные. База геологических данных предназначена для обеспечения целостности и хранения информации различного типа. Моделирующий блок ГГИС предназначен для построения на основе первичных данных цифровых моделей (ЦМ) рудного тела и продуктивного горизонта. Моделирующий блок производит экстраполяцию/интерполяцию геологических, минералогических, гидрогеологических, геохимических и прочих данных. Результаты геологического моделирования сохраняются в базе данных (БД) моделей месторождения.

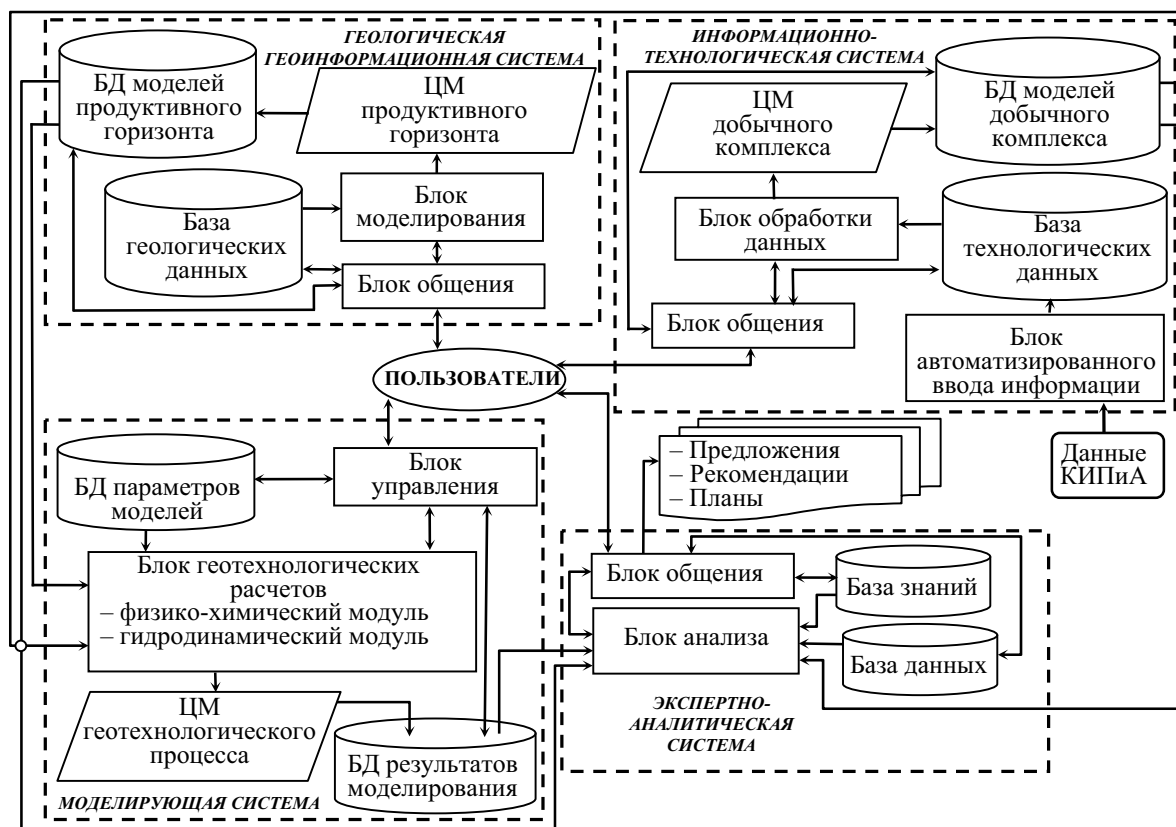


Рисунок. Структура геотехнологического информационно-моделирующего экспертного комплекса

ИТС включает в себя блоки автоматизированного ввода информации, общения, обработки данных, баз технологических данных и цифровых моделей добычного комплекса. Блок автоматизированного ввода информации осуществляет сопряжение с контрольно-измерительной аппаратурой и обеспечивает поступление данных из различных источников. Блок общения позволяет с помощью системы диалогов вводить, просматривать, редактировать и визуализировать разнородные данные, характеризующие технологический процесс. Для вводимой вручную информации выполняется входной контроль на непротиворечивость с уже имеющимися данными и проверка явных ошибок ввода. Из блоков автоматизированного ввода информации и общения информация поступает в базу технологических данных. Блок обработки, на основе хранящейся в базе информации, позволяет создать ЦМ добычного комплекса, которая сохраняется в соответствующей БД.

МС состоит из блоков управления и геотехнологических расчетов, а также баз данных параметров модели и результатов моделирования. Блок управления позволяет пользователю активизировать, приостанавливать и прекращать процесс моделирования, визуализировать результаты расчетов, а также вводить и редактировать параметры моделирования. Работа блока геотехнологических расчетов основывается на комплексной физико-математической модели многокомпонентной фильтрации. В блок входят два взаимосвязанных модуля, выполняющих расчеты физико-химических и гидродинамических процессов.

Физико-химический модуль включает в себя описание гомогенных и гетерогенных химических реакций, определяющих переход из рудных минералов в раствор полезных компонентов и расход реагентов на взаимодействие с породой, сорбцию и десорбцию, образование и растворение осадков. В гидродинамическом модуле проводятся расчеты фильтрации технологических растворов, конвективного массопереноса, гидродинамической дисперсии и изменения фильтрационных характеристик пористой среды. БД параметров модели содержит необходимые для проведения расчетов параметры физико-химических и гидродинамических процессов. Геотехнологические расчеты выполняются на основе ЦМ продуктивного горизонта и добычного комплекса. Созданная в результате расчетов ЦМ геотехнологического процесса сохраняется в БД результатов моделирования.

ЭАС состоит из блоков анализа и общения, а также баз знаний и данных. Блок общения предназначен для управления работой ЭАС, формирования запросов пользователя, редактирования и заполнения баз данных и знаний, подготовки отчетной документации. Блок анализа (решатель) предназначен для оценки эффективности геотехнологического процесса и выработки рекомендаций для подготовки управляющих решений. БД содержит значения геотехнологических параметров

эксплуатационных блоков, критерии оценки показателей технологического процесса, состояния гидрогеологической системы и загрязнения подземных вод. В базе знаний находится набор продукционных правил.

Решатель на основе базы знаний, ЦМ продуктивного горизонта и добычного комплекса, а также результатов мониторинга и моделирования, проводит анализ технологического процесса и состояния подземного водоносного горизонта, оценку работы различных технологических объектов (соответствие качества продуктивных растворов технологическим и экономическим требованиям, достаточность приемистости закачных скважин, наличие гидродинамических дисбалансов работы эксплуатационных блоков по откачным и закачным растворам и т. д.) и геозеологических показателей (размеры ореолов распространения загрязняющих веществ в подземных горизонтах и областей превышения предельно допустимых значений концентрации загрязняющих веществ и т. д.). На основе результатов анализа готовятся рекомендации по повышению эффективности работы отдельных технологических объектов и разработки всей залежи полезных ископаемых, вырабатываются планы мероприятий по уменьшению загрязнения подземных вод и рекультивации водоносного горизонта.

Применение комплекса при разработке месторождений

Можно выделить два основных варианта применения ГТИМЭК для решения задач информационного обеспечения разработки месторождений полезных ископаемых методом подземного выщелачивания. В первом варианте комплекс непрерывно функционирует на всех этапах жизненного цикла геотехнологического предприятия. На стадии геологоразведочных работ с помощью ГГИС осуществляется сбор данных, полученных в ходе изучения керна и геофизических исследований скважин. На основе полученной информации строится цифровая модель продуктивного горизонта.

При проектировании предприятия ИТС применяется для создания ЦМ планируемого добычного комплекса. Затем, на основе созданных ЦМ геологической среды и добычного комплекса, с помощью МС проводятся прогнозные расчеты геотехнологических показателей разработки месторождения, ореолов распространения загрязняющих веществ в подземных водах, изучается характер изменения геологической среды под действием техногенных процессов и поведение остаточных технологических растворов.

Параметры моделирования определяются по результатам лабораторных исследований, геотехнологических опробований и опытно-промышленных исследований, проведенных на месторождении. На основе полученных результатов, используя ЭАС, выполняется анализ и оценка гео-

экологических последствий и технико-экономических показателей работы предприятия, которые используются при проведении экологической экспертизы проекта и технико-экономического обоснования создания предприятия.

В ходе проведения горно-подготовительных работ ГГИС применяется для сбора дополнительных данных о месторождении и уточнения ЦМ продуктивного горизонта. На стадии разработки месторождения с помощью ИТС создается и поддерживается в актуальном состоянии ЦМ добычного комплекса, рассчитываются согласованные значения геотехнологических показателей, готовятся сменные, суточные и месячные отчеты о работе предприятия. МС используется для проведения расчетов процесса выщелачивания полезного компонента и распространения технологических растворов в водоносном горизонте.

Параметры моделирования постоянно уточняются путем сравнения данных контроля добычного комплекса и мониторинга состояния продуктивного горизонта с результатами эпигнозных геотехнологических расчетов. С помощью ЭАС выполняется анализ и оценка эффективности работы отдельных технологических объектов и всего предприятия в целом, определение участков, на которых процесс выщелачивания происходит недостаточно эффективно, подготовка предложений по оптимизации гидродинамических процессов с целью увеличения массы извлекаемого полезного компонента и снижения расхода реагентов. Также проводится оценка загрязнения подземных вод, и, при необходимости, формируются предложения по изменению режимов геотехнологических процессов и проведению природоохранных мероприятий.

На стадии завершения разработки месторождения ГТИМЭК используется для прогнозирования и оценки геоэкологических последствий работы предприятия, определения продолжительности и глубины самоочистки загрязнённых вод, обоснования выбора методов и подготовки планов по рекультивации водоносных горизонтов.

Во втором варианте ГТИМЭК используется для решения конкретной, актуальной на данный момент, геотехнологической или геоэкологической задачи. Работа с комплексом проводится в два этапа. На первом, подготовительном этапе, на основе имеющихся данных создаются ЦМ геологической среды и добычного комплекса, определяются параметры моделирования. На втором этапе выполняется моделирование процесса подземного выщела-

чивания, на основе совокупности данных мониторинга и результатов проведенных расчетов выполняется анализ текущего и прогнозируемого состояний геотехнологического процесса, подготавливаются предложения, направленные на решение поставленной задачи (рекомендации по оптимизации работы геотехнологического предприятия, планы проведения природоохранных мероприятий и т. д.).

Заключение

Предложенная структура и принципы функционирования ГТИМЭК являются достаточно универсальными, что позволяет создавать программные комплексы, имеющие широкую область применения на предприятиях, работа которых связана с разработкой месторождений урана, золота, меди, никеля, рения, скандия и других металлов методом подземного выщелачивания. На стадии геологоразведочных и горно-подготовительных работ комплекс может применяться для сбора, хранения, обработки и визуализации данных о строении продуктивного горизонта, в том числе, для расчета основных геотехнологических показателей подсчетных разведочных блоков и предполагаемых к отработке технологических полигонов.

На этапе проектирования предприятия комплекс может быть использован для подготовки технико-экономического обоснования и проведения экологической экспертизы, а также для выбора оптимальных схем расположения технологических скважин. На действующем предприятии его целесообразно применять для оптимизации геотехнологического процесса и снижения загрязнения подземных вод. После завершения эксплуатации предприятия комплекс будет полезен для прогнозирования распространения загрязняющих веществ, разработки предложений по проведению природоохранных мероприятий и рекультивации водоносных горизонтов.

Предложенная структура комплекса обеспечивает возможность его расширения и модернизации. При разработке месторождений разных металлов методами подземного выщелачивания применяются различные рабочие агенты (серная кислота, нитрит натрия, карбонаты и бикарбонаты аммония, натрия, цианид натрия, гипохлорид калия, йод-, бромсодержащие растворы и др.). Поэтому, при применении комплекса, необходимо проводить адаптацию физико-химического модуля МС для адекватного описания основных процессов, определяющих процесс выщелачивания в конкретном рассматриваемом случае.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арнс Ф.Ж. Физико-химическая геотехнология. — М.: Изд-во МГТУ, 2001. — 656 с.
2. Лавров Н.П., Абдульманов И.Г., Бровин К.Г. и др. Подземное выщелачивание полиэлементных руд. — М.: Изд-во АГН, 1998. — 446 с.
3. Марков Н.Г., Захарова А.А., Ковин Р.В., Ананьина В.П., Гаряев Р.И., Савицкий Р.В. Геоинформационная система для решения задач гидрогеологии // Информационные технологии. — 1997. — № 4. — С. 29–33.
4. Черемисина Е.Н., Никитин А.А. Геоинформационные системы в природопользовании // Геоинформатика. — 2006. — № 3. — С. 5–20.

5. Пучков Л.А., Шеек В.М., Дранишников П.С. Проектирование разработки газугольных месторождений с использованием ГИС-технологий // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2006. — № 3. — С. 5–20.
6. Никулина Ю.В. Методы и автоматизация подсчета запасов месторождения полезных ископаемых с использованием информационных технологий // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2008. — № 2. — С. 126–129.
7. Истомин А.Д., Носков М.Д., Чеглоков А.А. Информационное обеспечение геологоразведочных работ на инфильтрационном месторождении урана // Известия Томского политехнического университета. — 2009. — Т. 314. — № 5. — С. 85–90.
8. Серый С.С., Герасимов А.В., Шайтан О.Б., Кузнецов С.Л. Автоматизированная система информационного обеспечения горного производства // Горный журнал. — 2007. — № 9. — С. 81–85.
9. Гаврилов В.Л. Использование информационных технологий для управления качеством минерального сырья в технологических цепочках «забой — потребитель» // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2009. — Т. 2. — № 12. — С. 105–108.
10. Истомин А.Д., Носков М.Д., Цигура-Косенко Д.В., Чеглоков А.С. Информационная система добычного комплекса предприятия по добыче полезных ископаемых методом скважинного подземного выщелачивания // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. — 2009. — № 2. — С. 126–130.
11. Каплунов Д.Р., Чаплыгин Н.Н., Папичев В.И., Близнюк Г.И. Принципы имитационного моделирования комбинированной разработки рудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2001. — № 11. — С. 5–9.
12. Дзюба В.И. Гидродинамическое моделирование разработки месторождений углеводородов. Проблемы и перспективы // Нефтяное хозяйство. — 2007. — № 10. — С. 78–81.
13. Жиганов А.А., Истомин А.Д., Кеслер А.Г., Носков М.Д., Носкова С.Н., Теровская Т.С. Методика повышения эффективности отработки месторождения урана с помощью программного комплекса «СЕВМУР» // Известия Томского политехнического университета. — 2009. — Т. 314. — № 5. — С. 90–94.
14. Бондаренко И.С. Перспективы развития экспертных систем в области освоения подземного пространства // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2006. — № 6. — С. 196–198.
15. Степанов Ю.А., Корчагина Т.В. Экспертная система для экологического анализа и выработки природоохранных мероприятий // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. — 2007. — № 3. — С. 26–28.
16. Чекушина Е.В., Дребенштедт К. Применение экспертных систем в горном деле // Маркшейдерия и недропользование. — 2009. — № 4 (42). — С. 66–68.
17. Кузнецов О.Л., Цой В.Е., Тихонов А.С., Кашик А.С. Разработка и применение полномасштабных программных комплексов для геологического, гидродинамического моделирования и мониторинга разработки месторождений углеводородного сырья // Отечественная геология. — 2007. — № 2. — С. 43–47.
18. Ямпольский В.З., Захарова А.А., Иванов М.А., Чернова О.С. Анализ программного обеспечения для трехмерного моделирования и оптимизации разработки месторождений нефти и газа // Известия Томского политехнического университета. — Т. 309. — № 7. — 2006. — С. 50–55.
19. Products Micromine // Micromine. 2009. URL: <http://www.micromine.com/products> (дата обращения: 05.05.2010).
20. Mining Software Company // Gemcom. 2010. URL: <http://www.gemcomsoftware.com/products/> (дата обращения: 30.04.2010).

Поступила 14.05.2010 г.