

УДК 004.6

А.Д. Истомин, М.Д. Носков, Д.В. Цигура-Косенко, А.А. Чеглоков

## Информационная система добычного комплекса предприятия по добыче полезных ископаемых методом скважинного подземного выщелачивания

Представлена информационная система, предназначенная для сбора, хранения, обработки и визуализации информации о работе добычного комплекса предприятия по добыче полезных ископаемых методом скважинного подземного выщелачивания.

**Ключевые слова:** информационные системы, управление, автоматизация, геотехнология, месторождение урана, цифровая модель, базы данных, подземное выщелачивание.

### Введение

Скважинное подземное выщелачивание (СПВ) является одним из перспективных методов разработки месторождений полезных ископаемых. При СПВ добыча полезных ископаемых ведется путём их избирательного растворения на месте залегания и последующего извлечения на поверхность в виде химических соединений, образованных в зоне реакции [1, 2]. Добычный комплекс геотехнологического предприятия включает в себя систему технологических скважин, объединённых в технологические ячейки и блоки. Через нагнетательные скважины в продуктивный горизонт подается выщелачивающий (рабочий) раствор, содержащий реагенты, способные растворять содержащий полезный компонент (ПК) минералы. С помощью системы откачных скважин на поверхность выдается продуктивный раствор, который образуется в подземном водоносном горизонте в результате физико-химического взаимодействия выщелачивающих реагентов с рудными минералами и вмещающими породами. Далее, в процессе переработки, из продуктивного раствора производится извлечение ПК, а оставшиеся маточные растворы доукрепляются выщелачивающими реагентами и снова подаются в нагнетательные скважины в качестве рабочего раствора. Сложность управления СПВ связана с недостатком информации о состоянии продуктивного горизонта и происходящих там процессах, их высокой инерционностью, а также необходимостью оперативного анализа большого количества разнородных пространственно распределённых данных о параметрах технологического процесса. В связи с этим возрастает роль современных информационных технологий в повышении эффективности управления процессом СПВ. В настоящей работе представлена информационная система, предназначенная для сбора, хранения, обработки и визуализации информации о работе добычного комплекса предприятия по добыче полезных ископаемых методом СПВ.

### Информационные потоки добычного комплекса

Все исходные первичные данные о работе добычного комплекса предприятия по добыче полезных ископаемых методом СПВ можно разделить на три типа: химические, гидродинамические и технологические. Гидродинамические данные представляют собой динамические уровни подземных вод, дебиты закачных и откачных скважин, расходы растворов в трубопроводах. Химические данные включают в себя значения концентрации рабочего агента, полезного продукта и других компонентов в растворах на разных участках технологического процесса. К технологическим данным относится информация о характеристиках оборудования (способы раствороподъёма, марки насосов, даты их ввода в эксплуатацию, диаметры труб и т.д.) и структуре добычного комплекса (блокировка, определяющая соответствие между трубопроводами, технологическими блоками, ячейками и скважинами). Виды первичных данных, собираемых на различных участках технологической цепочки, приведены в табл. 1.

В процессе работы добычного комплекса геотехнологического предприятия можно выделить три информационных потока (рис. 1). Первый поток связан со сбором первичных данных (химические, гидродинамические и технологические данные, представленные в табл. 1).

Второй поток заключается в определении значений геотехнологических параметров отработки месторождения (масса извлеченного ПК, суммарный и удельные расходы реагентов, объем продуктивного раствора, направляемого на переработку, и др.) на основе фактических данных первого потока. Кроме этого, проводится согласование всех данных о работе добычного комплекса, полученных из различных источников.

Таблица 1

Виды первичных данных о работе добычного комплекса				
№ п/п	Место контроля	Химические данные	Гидродинамические данные	Технологические данные
1	Трубопроводы откачных растворов	Концентрации полезного продукта, рабочего агента	Расходы растворов	Блокировка
2	Трубопроводы закачных растворов	Концентрации рабочего агента	Расходы растворов	Блокировка
3	Закачные скважины	Концентрации рабочего агента	Дебиты, динамические уровни пластовых вод	Блокировка, параметры фильтров
4	Наблюдательные скважины	Концентрации полезного продукта, рабочего агента	Динамические уровни пластовых вод	Координаты скважин, параметры фильтров
5	Откачные скважины	Концентрации полезного продукта, рабочего агента	Динамические уровни пластовых вод, дебиты	Тип подъема раствора, марки насосов, сроки ввода в эксплуатацию насосов, блоки, ряды, параметры фильтров
6	Склад готовой продукции	Концентрации готового продукта	Масса готового продукта	

Первые два потока действуют постоянно (ежедневно, ежесуточно и т.д.) в рамках выполнения должностных обязанностей сотрудников предприятия.

Третий поток данных формируется при подготовке управляющих решений и поэтому функционирует не регулярно, а по мере необходимости. Он включает в себя прогнозные расчеты геотехнологических показателей отработки блоков, оценку эффективности работы добычного комплекса, динамику геотехнологических показателей, подготовку решений на основе всестороннего анализа имеющихся данных.

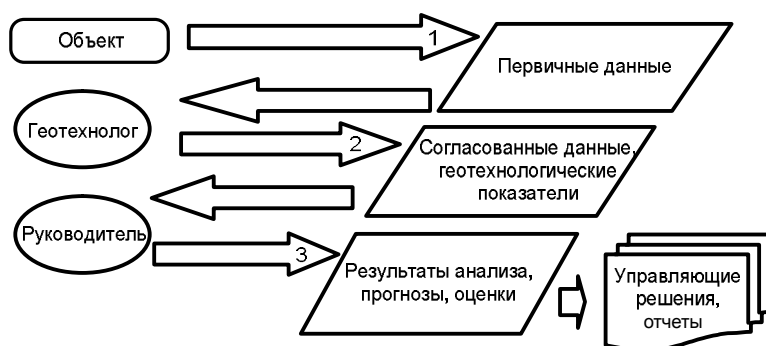


Рис. 1. Потоки информации в процессе работы добычного комплекса

**Принципы функционирования и структура информационной системы**

Информационная система добычного комплекса состоит из трёх подсистем: общения, обработки данных и управления базой данных (рис. 2). Подсистема общения обеспечивает сопряжение с внешними источниками данных и взаимодействие персонала с информационной системой. Подсистема состоит из блоков взаимодействия с пользователями, импорта и экспорта данных. Блок импорта данных запрашивает информацию от внешних источников (например, от геологической базы данных [3]), а также получает данные от системы контрольно-измерительных приборов. Блок экспорта данных передает информацию во внешние моделирующие [4] и экспертные системы [5]. Блок взаимодействия с пользователями позволяет персоналу предприятия вводить первичные данные в информационную систему, редактировать и визуализировать данные, управлять работой блока расчетов геотехнологических параметров, выполнять оценки эффективности работы добычного комплекса и проводить прогнозные расчеты разработки месторождения. С помощью блока взаимодействия, на основе результатов оценок и расчетов, формируются отчеты о работе добычного комплекса и подготавливаются управляющие решения, направленные на повышение эффективности работы предприятия.

Подсистема обработки данных состоит из блоков сопряжения с внешними системами, проверки и обработки вводимых данных, геотехнологических расчетов, экспертной оценки и прогнозирования отработки блоков. Блок сопряжения с внешними системами выполняет подготовку результатов автоматического измерения расходов растворов, дебитов скважин для дальнейшего использования и запись информации в базу гидродинамических данных. Также блок сопряжения на основе информации, полученной от геологической базы данных, определяет значения параметров скважин и блоков. Полученные значения сохраняются в базу технологических данных. Блок проверки и обработки вводимых данных производит проверку достоверности вводимых персоналом значений и их

запись в соответствующие базы. Блок геотехнологических расчетов обеспечивает согласование данных, полученных от различных источников, восстановление недостающей информации и расчет геотехнологических показателей отработки блоков за определенный интервал времени (сутки, недели) по соответствующим алгоритмам. При этом блок запрашивает необходимые для расчета данные из баз геотехнологических, гидродинамических данных и базы данных химических анализов, выполняет расчеты и записывает полученные результаты в базу данных геотехнологических параметров. Блок экспертной оценки и прогнозирования отработки блоков позволяет персоналу оценивать работу добычного комплекса за необходимый ему период времени по соответствующим алгоритмам. Блок запрашивает данные из базы данных геотехнологических параметров, выполняет расчеты с использованием этих данных и записывает результаты расчета в базу данных анализов и прогнозов.

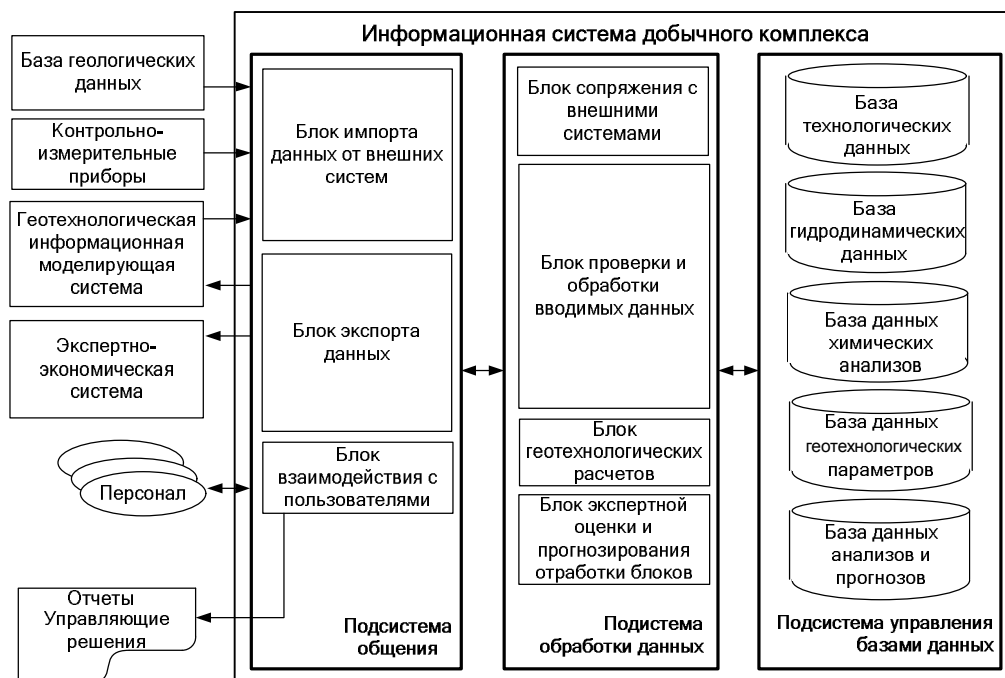


Рис. 2. Структура информационной системы

Подсистема управления базами данных обеспечивает хранение всей информации о работе добычного комплекса. Подсистема содержит пять логически разделенных баз данных. База гидродинамических данных хранит фактические данные о гидродинамических показателях добычного комплекса. В базе технологических данных находится информация о характеристиках оборудования и технологической структуре предприятия. База химических анализов содержит первичные данные о концентрациях полезного продукта, рабочего агента и других компонентов растворов. В базу геотехнологических параметров поступает информация, полученная на основе первичных данных (согласованные, восстановленные данные, показатели отработки блоков, средние концентрации полезного продукта, рабочего агента и других компонентов раствора за определенный период). База анализов и прогнозов содержит результаты оценок и прогнозов работы блоков и предприятия в целом. Информация, хранящаяся в подсистеме управления базами данных, может использоваться в работе моделирующей системы для геотехнологических расчетов отработки месторождения. Результаты расчетов геотехнологических показателей находятся в базе данных анализов и прогнозов, используются руководителем для подготовки управленческих решений.

#### Реализация информационной системы

Информационная система создана на основе клиент-серверной технологии и работает в многопользовательском режиме. Ядром информационной системы является Сервер СУБД, с которым взаимодействуют клиентские программы: «Технологические схемы полигонов», «Сменные и суточные отчеты», «Механик», «Электрик», «Химик», «Отчеты по воздуху», «Аппаратчик ГТП», «Отчеты по энергии» (рис. 3). В качестве инструментального средства для разработки и управления базой данных информационной системы выбрана СУБД Microsoft SQL Server 2005 Express. Клиентские программы созданы в среде разработки программного обеспечения Borland Developer Studio 2006. Взаимодействие программ с СУБД осуществляется при помощи языка запросов SQL через API ADO фир-

мы Microsoft. Подготовка отчетной документации осуществляется на основе OLE-сервера Microsoft Excel. Клиентские программы представляют собой многопоточные, 32-битные приложения, работающие на персональных компьютерах под управлением операционной системы Windows 2000 – XP. Качество разработанных программ оценивалось в соответствии с характеристиками, изложенными в ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-23. Восстанавливаемость данных обеспечивается автоматическим сохранением и регулярным резервным копированием. Наличие в программах системы проверок вводимых значений обеспечивает устойчивость к ошибкам пользователя. Эргономичное расположение пунктов меню, их дублирование кнопками панели инструментов способствуют быстрой обучаемости и оперативной работе персонала с программами. Использование методов объектно-ориентированного программирования позволяет модифицировать и добавлять программные модули без значительного изменения программ в целом, что обеспечивает их высокую сопровождаемость и мобильность.

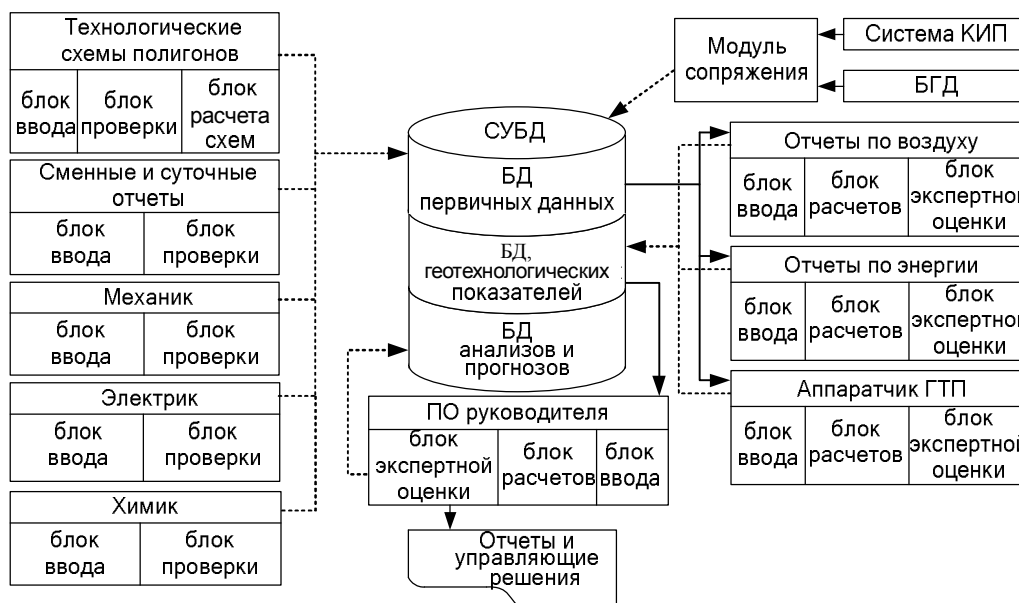


Рис. 3. Реализация информационной системы

Клиентские программы, установленные на связанных в локальную вычислительную сеть персональных компьютерах, образуют рабочие места (АРМ) энергетика, механика, аппаратчика геотехнологического поля (ГТП), геотехнолога, лаборанта химической лаборатории и руководителя. Состав и назначение АРМ представлены в табл. 2. Регулярное согласованное использование АРМ персоналом обеспечивает достоверность и бесперебойность всех трех информационных потоков добычного комплекса предприятия по добыче полезных ископаемых методом СПВ.

Таблица 2

**Характеристики автоматизированных рабочих мест**

АРМ	Клиентские программы	Назначение программы
Геотехнолог	«Технологические схемы полигонов»	Ввод, редактирование и визуализация данных по технологической схеме добычного комплекса
	«Сменные и суточные отчеты»	Контроль и согласование данных, расчет геотехнологических показателей, подготовка сменного и суточного отчетов
Лаборант	«Химик»	Ввод, редактирование и визуализация данных химических анализов
Энергетик	«Электрик»	Ввод, редактирование и визуализация первичных данных службы главного энергетика, подготовка ежемесячного технического отчета
	«Отчеты по энергии»	Подготовка ежемесячного отчета по расходу электроэнергии
Механик	«Механик»	Ввод, редактирование и визуализация первичных данных службы главного механика, подготовка ежемесячного отчета
	«Отчеты по воздуху»	Подготовка ежемесячного технического отчета по расходу сжатого воздуха
Аппаратчик ГТП	«Аппаратчик ГТП»	Ввод, редактирование и визуализация гидродинамических данных
Руководитель	«Руководитель»	Анализ, оценка эффективности и прогнозирование работы добычного комплекса, подготовка отчетов и управляющих решений

### Заключение

Созданная информационная система может применяться на геотехнологических предприятиях, разрабатывающих месторождения урана, золота, меди и других металлов методом СПВ. Применение информационной системы обеспечит надежность хранения и достоверность информации о работе добычного комплекса предприятия, оперативность доступа к любым данным на различных уровнях, облегчит подготовку отчетов по работе предприятия (за смену, неделю, месяц, год), позволит проводить анализ отработки блоков, выявлять факторы, влияющие на эффективность. Информационная система даст возможность проводить количественные прогнозы и планировать работу предприятия на краткосрочный и долгосрочный периоды.

### Литература

1. Арнс В.Ж. Физико-химическая геотехнология. – М.: Изд-во МГТУ, 2001. – 656 с.
2. Лаверов Н.П. Подземное выщелачивание полиэлементных руд / Н.П. Лаверов, И.Г. Абдульманов, К.Г. Бровин и др. – М.: Изд-во Академии горных наук, 1998. – 446 с.
3. Истомин А.Д. Информационное обеспечение геологоразведочных работ на инфильтрационном месторождении урана / А.Д. Истомин, М.Д. Носков, А.А. Чеглоков // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 314. – № 5. – С. 85–90.
4. Жиганов А.Н. Программный комплекс для моделирования процесса подземного выщелачивания урана / А.Н. Жиганов, А.Д. Истомин, М.Д. Носков и др. // Подземное и кучное выщелачивание урана, золота и других металлов: В 2 т. – Т. 1: Уран / под ред. М.И. Фазлуллина. – М.: Изд. дом «Руда и металлы», 2005. – С. 297–306.
5. Истомин А.Д. Программный комплекс для оценки экономической эффективности предприятия по добыче урана методом подземного выщелачивания / Истомин А.Д., Жиганов А.Н., Кеслер А.Г. и др. // Матер.международ. симп. «Геотехнология: скважинные способы освоения месторождений полезных ископаемых». – М.: Изд-во РУДН, 2005. – С.136–138.

---

#### Истомин Андрей Дмитриевич

Канд. ф.-м. наук, доцент каф. физики СГТА, г. Северск  
Тел.: (382-3) 78-01-62  
Эл. почта: istomin@ssti.ru.

#### Носков Михаил Дмитриевич

Д-р. ф.-м. наук, проректор по НР СГТА, профессор, зав. каф. физики  
Телефон: (382-3) 78-02-13  
Эл. почта: nmd@ssti.ru.

#### Цигура-Косенко Дмитрий Витальевич

Аспирант каф. физики СГТА  
Эл. почта: tdv85@bk.ru

#### Чеглоков Алексей Александрович

ст. преподаватель каф. физики СГТА  
Телефон: (382-3) 78-01-62  
Эл. почта: cheglok@ssti.ru.

A.D. Istomin, M.D. Noskov, D.V. Tsigura-Kosenko, A.A. Cheglov

#### Information system of in situ leaching enterprise mining complex

Information system intended for the production information gathering, storage, processing and visualization of in situ leaching enterprise mining complex is presented in the article.

**Keywords:** information system, management, automation, geotechnology, uranium field, digital model, database, underground leaching.