

УДК 622:531:004.9

**СОЗДАНИЕ И РАБОТА С КОРПОРАТИВНЫМИ
БАЗАМИ ДАННЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ И
ГОРНОТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО
СТАРОБИНСКОМУ МЕСТОРОЖДЕНИЮ
КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ**

**Журавков М. А., Коновалов О. Л., Войтик А. А.,
Сташевский А. В., Хвесеня С. С.**

(БГУ, г. Минск, Республика Беларусь)

Барбиков Д. В., Славашевич С. И.

(РУП «ПО «Беларуськалий», г. Солигорск, Республика Беларусь)

В работе предложен и обоснован тезис о важности системного подхода к организации баз данных автоматизированных систем сопряженного геомониторинга. Рассмотрена проблематика регионов с активным освоением подземного пространства. На основе опыта разработки, внедрения и сопровождения корпоративной системы ведения горных работ на РУП «ПО «Беларуськалий»» описан информационный базис геомониторинговой системы, состоящей из сервера баз данных Oracle и графического ядра MapManager. Приведены примеры моделирования некоторых проблемных областей и сформулированы основные концептуальные особенности подхода к созданию и сопровождению сетевого проекта. Рассмотрено создание и развитие во времени региональной интегрированной модели породной толщи в рамках горного отвода месторождения (рудника).

The thesis of the importance of a systematic approach to organizing databases of automated geomonitoring systems is proposed and proved. Issues affecting the region with the active development of underground space are considered. The information core of the geomonitoring system consisting of the Oracle database server and MapManager graphics core is described based on the experience of

the development, integration and maintenance of the corporate system of mining on the Belaruskali potassium mining enterprise. Examples of modeling of some problem areas are given and the main features of the conceptual approach to the creation and maintenance of the network project are formulated. The creation of the regional integrated model of rock strata in the mining lease deposit (mine) and its development over time is considered.

Значение и место информационного базиса корпоративных автоматизированных систем сопряженного геомониторинга.

Актуальность и значение разработки корпоративной автоматизированной системы сопряженного геомониторинга для регионов разработки месторождений полезных ископаемых, а также назначение, состав и внутреннее наполнение таких систем подробно описано, например, в работах [1-7].

Сегодня актуальной задачей является разработка кардинально новых подходов и концепций к изучению, эксплуатации и прогнозированию состояния различных сторон экосистемы региона разработки месторождения полезного ископаемого и природной среды в целом.

Очевидно, что для решения проблем изучения и прогнозирования общего состояния и глобальной устойчивости различных геосфер региона ведения крупномасштабных горных работ необходим системный подход. Поэтому актуальной задачей является разработка кардинально новых подходов и концепций к изучению, эксплуатации и прогнозированию состояния различных сторон экосистемы региона, рассматривая их во взаимовлиянии и взаимозависимости как элементы единой сложноструктурированной системы. То есть необходимо отказаться от «замкнутых» обособленных исследований, рассматривающих состояние только одной отдельной компоненты (геосферы) экосистемы региона.

Как показано в [3, 4] эффективное решение задач прогнозирования последствий крупномасштабного освоения подземного пространства и определение условий устойчивости геосфер эко-

системы такого региона возможно при создании и внедрении в регионе корпоративных автоматизированных систем сопряженного геомониторинга.

Основной целью выполнения работ должно быть выдача, на основании корректного проведения всестороннего анализа современного геоэкологического (в широком смысле этого слова) состояния геосфер рассматриваемого региона, достоверного прогноза возможного эволюционного развития геосфер региона в зависимости от техногенного воздействия на них.

Например, для регионов с активным освоением подземного пространства важной проблемой является изучение и прогноз геомеханического, гидрогеологического и геодинамического состояния породного массива изучаемого региона и экологических проблем, связанных с техногенной деятельностью по освоению подземного пространства региона. Таким образом, необходимо проводить комплексную всестороннюю оценку и изучать динамику развития: деформационного состояния породного массива региона в целом, а также в особых зонах породной толщи (в зоне разломов, на ответственных участках и т.д.); неотектонических процессов; деформационного и геодинамического состояния объектов хвостового хозяйства и областей породного массива в области размещения хвостового хозяйства; гидрогеологического и геомеханического состояния подземных вод и водохранилищ (особенно в условиях подработки), а также дамб и береговой линии водохранилищ; общего деформационного и напряженного состояния подземного выработанного пространства региона в целом.

Одна из первоочередных задач и основное требование к корпоративной системе – **формирование общего информационного пространства региона, с обеспечением многопользовательского доступа к нему**. Необходимо учитывать, что система должна эксплуатироваться в реальном масштабе времени, а это предполагает ее высокую надежность. Система должна быть эффективной, но простой. Совершенно недопустимо, чтобы для решения простейших вопросов пользователь прибегал к помощи специалистов-разработчиков. Это же относится и к способу доступа к информации. Поскольку система должна обеспечивать

принятие решений, то необходимо разработать методы численной оценки и обработки исходной информации и результатов ее интерпретации, обработки и моделирования.

Таким образом, актуальной задачей является **разработка интегрированной сопряженной информационной модели региона**. Только опираясь на такую модель возможно выполнение моделирования и прогнозирование состояния экосистемы в целом, учитывая взаимообусловленность и взаимовлияние ее отдельных компонентов.

Обособленный анализ отдельных элементов экосистемы региона может привести к обратным результатам.

Качество и значимость мониторинговой программы в значительной степени зависит от ее информационной основы, определяющей процедуры сбора, анализа, и интерпретации данных, структуру их хранения и представления, интерфейс и порядок работы с данными и т.д. Так как геомониторинговая система вмещает в себя данные нескольких дисциплин и разделов Знаний, то необходима методика четкой интерпретации данных для обеспечения сбалансированной их поддержки и совместной обработки. Важными являются так же достоверность, точность и надежность множеств данных, и, кроме того, непротиворечивость и корректность совместной обработки различных множеств данных.

Существенными являются процедуры просмотра и отображения мониторинговой информации, так как они дают возможность оценить прогресс, эволюцию и тенденции в развитии событий и ситуаций. Анализируемая информация должна иметь возможность представления в форме карт, снимков, графиков и таблиц. Необходимо наличие процедур обработки временных динамических данных.

При анализе геоинформации необходимо учитывать разноразрядный характер геологических, геофизических, геохимических и др. данных. Этого же требует обработка и интерпретация геоданных на основе системы физико-геологических моделей, отвечающих разным стадиям и этапам геологоразведочного процесса.

Интегрированный анализ геоинформации базируется на компьютерной системе, обеспечивающей комплексную обработ-

ку по разным геолого-геофизическим методам, ее интеграцию по разным уровням зондирования литосферы, а также сопряжение информации по комплексам как по методам, так и по уровням решения задач.

Информационный базис геомониторинговой системы.

Информационным ядром корпоративной системы регионального геомониторинга является геоинформационная система и Базы данных.

Информационное ядро системы представляет собой определенным образом структурированную совокупность Баз данных графической и атрибутивной информации и программное обеспечение, позволяющее выполнять операции и действия с этими Базами данных.

Комплекс Баз данных является необходимым расширением информационного ядра и включает регламентирующие, нормативные документы; справочные и первичные данные; экспертные оценки и заключения; результаты и обобщения первичных и экспериментальных данных и др. информацию. Кроме того, работа данного комплекса невозможна без специализированного программного обеспечения.

Информационное ядро системы и комплекс баз данных должны обеспечивать сбор и надежное упорядоченное хранение первичных данных, полученных в результате геологического сопровождения, разведочных работ, гидрогеологических, геофизических исследований, исследований скважин, мониторинга состояния гидросферы, наблюдений за оседаниями и деформациями земной поверхности, обработки архивных данных и т.д. Кроме того, важным является обеспечение информационной безопасности эксплуатации информационных потоков путем комбинации административных и системных мер по распределению прав доступа и контроля за выполнением режима доступа.

Необходимым условием является обеспечение информационной совместной поддержки смежных служб и отделов, предоставление развитого сервиса для доступа к данным, поддержка и обеспечение решения общих задач.

Кроме того, за информационным ядром закрепляется выполнение функций оперативного контроля за деятельностью различных служб, решение общих задач, расчет производственных показателей и получение общих выводов и заключений. Важным является поддержка ведения и сопровождения графической документации.

Геоинформационная система (ГИС) представляет собой особую информационную систему, поскольку *ориентирована она на манипулирование пространственно-распределенными или пространственно-координатными геоданными*. Конечно, эта система должна оперировать также и с данными непространственного характера, но эти данные, как правило, связаны с объектами, имеющими пространственное распределение.

Понятие геоинформационного элемента включает в себя его логическое имя, графическое условное изображение, атрибуты из базы данных и методы обработки, задаваемые пользователем. Эти методы или операции определяют технологию создания элемента и работы с ним.

Информационная система корпоративной автоматизированной компьютерной системы управления горным предприятием РУП «ПО «Беларуськалий»» базируется на двух основных технологических компонентах: сервере базы данных ORACLE и графическом ядре MapManager.

В самом общем виде процедура создания информационной системы может быть описана следующей последовательностью шагов: установка основных технологических компонент (ORACLE, MapManager); создание в БД ORACLE схем и ролей; создание таблиц БД проекта поверхности; создание и оцифровка проекта поверхности; создание БД скважин детальной разведки; инсталляция средств ведения БД скважин детальной разведки; заполнение БД скважин детальной разведки; создание геологического проекта (создание скважин, оцифровка разломов и сейсмоповерхностей); построение цифровых карт различного назначения (структурных, мощностей, качества); создание баз данных физико-механических свойств и структурных особенностей породной толщи (зон трещиноватости, рассолопритоков, и т.д.); создание базы данных промплощадки; создание проекта промп-

лощадки; создание базы данных проекта ведения горных работ; создание проекта ведения горных работ и др.

В комплекс Баз данных атрибутивной информации входят, в частности, следующие базы: БД скважин детальной разведки; БД проекта ведения горных работ; БД эксплуатационного геологического опробования; БД гидрогеологических наблюдений за химическим составом рассолов и притоком рассолов в выработки; БД химического опробования водно-физических, физико-механических (инженерных) и прочностных свойств; БД плана дневной поверхности; БД объектов промплощадки и др.

Каждая из перечисленных баз охватывает свой спектр информационного пространства. Приведем примеры.

База данных «скважин детальной разведки» является основной на начальном этапе освоения месторождения. Она содержит информацию о местоположении разведочных скважин, геологическую информацию (литология, стратиграфия, пачки, горизонты), информацию по опробованию промышленных горизонтов, гидрологическую информацию и информацию по физико-механическим свойствам и др.

База данных «проекта ведения горных работ» включает основную атрибутивную информацию проекта отработки горизонта: маркшейдерскую сеть, планшеты, горный отвод, зоны выклинивания и замещения, информацию по замерам мощностей промышленных слоев и т.п.

База данных «эксплуатационного геологического опробования» включает информацию по расположению пунктов отбора проб и сами результаты опробования.

База данных «гидрогеологических наблюдений за химическим составом рассолов и притоком рассолов в выработки» включает информацию по расположению пунктов наблюдений, динамику рассолопритоков и химический состав рассолов.

База данных «химического опробования водно-физических, физико-механических и прочностных свойств» сопряжена с базой данных скважин детальной разведки для хранения, ведения и сопровождения параметров гидрогеологического, химического и физико-механического опробования. Объединение этих данных с уже существующей базой стратиграфических и литологических

интервалов позволяет выйти на решение новых классов задач. В их числе можно отметить такие, как детальное гидрогеологическое моделирование в зоне подработки, задачи уточнения запасов и др.

Для ведения Баз данных атрибутивной информации разработаны специальные приложения, учитывающие особенности конкретных баз и специфику их дальнейшего использования.

Так, при ведении базы данных «скважины детальной разведки» при вводе литологической информации вводится и информация о прослойках, прожилках, включениях и переслаиваниях, при этом учитывается, что эта информация является ключевой для дальнейших задач геодинамического и гидродинамического моделирования. Так как невозможно осуществить полное сканирование по глубине физико-механических и гидрологических параметров, то, как следствие этого, литологическая информация является основой для интерполяции параметров по глубине. Аналогичным образом вводится информация по соленосным пачкам, калийным горизонтам и промышленным слоям.

Специальное приложение разработано и для ведения баз физико-механических параметров, предназначенных для использования при решении разнообразных геомеханических задач и моделировании НДС массивов горных пород. Сложность проблемы состоит в том, что необходимые для моделирования параметры распределены по множеству разнородных источников и ассоциированы с различными сущностями (типом пород, горизонтом, пачкой). Кроме того, эти данные зачастую не имеют конкретной привязки и необходим специальный «инструмент назначения (привязки)» параметров на те или иные интервальные структуры.

Особенностью ведения баз данных «эксплуатационного геологического опробования» является то, что адресная часть пункта опробования вводится через графическое ядро, что позволяет связать эту информацию с конкретной выработкой.

Механизмы корпоративной работы системы. Средства создания и администрирования сетевых проектов. ORACLE\SPATIAL технология. WEB технологии

Основным механизмом корпоративной работы информационного ядра является сетевой проект графического ядра Мар-

Manager (данный механизм отлажен на опыте работы всех рудников РУП «ПО «Беларуськалий»»). При этом выдвигаются достаточно высокие требования к производительности локальной сети. Кроме того, необходимо наличие на рабочем месте сконфигурированного ядра MapManager, что выдвигает значительные требования в конфигурации персонального компьютера. Поэтому был исследован альтернативный механизм распределенного доступа, основанный на технологии ORACLE SPATIAL. Отметим, что последний механизм обеспечивает визуализацию графической части проектов непосредственно через WEB-браузер, что значительно ослабляет требования к скорости TCP/IP соединения и конфигурации персонального компьютера. Вместе с тем, пользователь не имеет при этом возможности оперативно изменять графику проекта. Поэтому разумным представляется иметь оба механизма и выбирать конкретный механизм в зависимости от запросов конкретного специалиста. Еще одним важным аспектом является тот факт, что дублированное хранения геометрии в хранилище ORACLE SPATIAL повышает отказоустойчивость системы.

Остановимся на основных концептуальных особенностях подхода создания и сопровождения сетевого проекта.

Все пользователи сетевого проекта делятся на группы. Каждая группа пользователей обладает специфичным набором прав доступа (полный доступ/только видимость/недоступный) к тем или иным слоям сетевого проекта. Проект для каждой группы пользователей предварительно готовит администратор (очевидно, что интерфейс программы и набор рабочих функций участкового маркшейдера будет отличаться от таковых у геолога или инженера бюро проектирования). Для этих целей администратору предоставлен набор специальных подпрограмм. На этом этапе определяется содержание проекта (структура доступных слоев, права на просмотр и модификацию объектов) и перечень рабочих модулей (клиентских приложений). Комплекс программ MapManager и проект располагаются на рабочей станции пользователя.

Ключевыми моментами являются технология контроля за версиями проекта и обеспечение целостности атрибутивных данных. Кратко поясним их суть.

При организации работ с **общим проектом**, функции эффективного администрирования весьма ограничены. Многопользовательский доступ к объектам на уровне таблиц обеспечивается средствами BDE и сетевой операционной системой, а контроль за непротиворечивостью базы данных – словарем (подробно об этом компоненте проекта будет описано в соответствующем разделе).

В **сетевом проекте** за состоянием атрибутивных данных следит SQL-сервер. Уровень контроля за безопасностью и целостностью данных определяется возможностями SQL-сервера.

Независимо от выбранного варианта согласование рабочих версий графической части проекта между клиентскими станциями выполняет реализованный в MapManager **механизм транзакций**. Механизм является скрытым для пользователя. Он загружает локальный файл проекта, однако, при сетевой работе клиент не работает непосредственно с ним. Все изменения предварительно регистрируются в базе транзакций. Изменения в проект вносятся только тогда, когда транзакция прошла успешно. Согласование клиентских версий проекта производится по отслеживаемым номерам транзакций на сервере и клиентской станции.

Критическим моментом для системы является **отсутствие связи с сервером**. В этом случае загрузка несогласованного проекта выполняется, но изменения его запрещены. Учитывая, что такая ситуация типична, а действующее производство не допускает длительных перерывов в работе, в концепцию сетевой работы введены понятия **сетевого и локального слоев**. Проект предварительно анализируется, после чего резервируются локальные слои для важной тематической информации. *При отсутствии связи с сервером* клиент получает предупреждение системы о невозможности продолжения работы с проектом и *предложение перехода на локальный вариант работы*. При восстановлении связи база транзакций и проект клиента согласовываются.

Идея использования ORACLE/SPATIAL как параллельного хранилища данных обусловлена несколькими причинами. Во-первых, необходимостью наличия резервного хранилища геометрии. Во-вторых, необходимостью иметь открытый формат хранения геометрии вследствие соображений корпоративной безопасности на случай смены команды разработчиков. В-третьих, нали-

чим стандартных WEB-браузеров геометрии в формате ORACLE/SPATIAL. В-четвертых, богатым языком пространственных запросов (space SQL), включая топологические. В-пятых, необходимостью решения обобщенных задач в рамках всего месторождения.

Региональная интегрированная информационная модель породной толщи в рамках горного отвода месторождения/рудника.

Необходимым условием эффективной работы и главным элементом общего информационного базиса корпоративной автоматизированной системы регионального геомониторинга и, в частности, автоматизированной системы геолого-маркшейдерского обеспечения и проектирования горных работ (ГИС-проекта «Рудник») является наличие *региональной интегрированной информационной модели породной толщи в рамках горного отвода месторождения/рудника и построение, как элементов общей модели, тематических моделей (геологической, геомеханической, геодезической и т.д.)*.

Среди таких моделей, например: геологические карты (структурных, литологических изомощностей) основных промышленных горизонтов, ГМТ и т.п.; стратиграфические и литологические геологические колонки для разведывательных скважин детальной разведки; стратиграфические и литологические разрезы по трассам скважин; трехмерные геологические модели месторождения; карты физико-механических свойств для стратиграфических интервалов, продуктивных слоев, ГМТ и т.п.; разрезы физико-механических свойств по трассам скважин.

Очевидно, что ни одна из подсистем и ни одна из задач общей корпоративной системы регионального геомониторинга не может функционировать в случае отсутствия интегрированной информационной модели породной толщи.

В свою очередь такая информационная модель породной толщи представляет собой интеграцию нескольких систем.

Например, это математическая модель местности и месторождения, в которую входят все данные планово-высотных съемок местности, геодезические и маркшейдерские данные поверх-

ностных и подземных областей в районе отвода горных работ и к ним прилегающих, а также подробное описание этих данных. На основе этих данных решаются задачи построения электронных карт местности и месторождения и триангуляции. Решение первой задачи обеспечивает ведение базы данных на основе ГИС-технологий, а второй задачи – электронную визуализацию рельефа, построение рельефных сечений, измерение рельефных расстояний и площадей, оценку рельефных антропогенных изменений и т.д.

Разработка математической модели месторождения является первоочередным и важнейшим вопросом при создании подсистем геолого-маркшейдерского обеспечения и проектирования горных работ. С точки зрения эффективного использования такой модели для задач текущего планирования и оперативного управления горными работами при условии постоянного пополнения и уточнения геолого-маркшейдерской информации наиболее приемлемой можно считать цифровую имитационную модель месторождения на основе первичной геолого-маркшейдерской информации, получаемой при разведке и эксплуатации месторождения. В этом случае обеспечивается возможность осуществлять быструю модификацию, развитие и совершенствование модели без существенной ее перестройки, заниматься прогнозированием, используя хорошо разработанный математический аппарат.

Интегрированная цифровая имитационная модель месторождения аккумулирует в себе данные, описывающие месторождение с различных сторон. Так, геологическая часть модели месторождения содержит в себе информацию, отображающую структурно-геологические, инженерно-геологические, гидрогеологические, геомеханические и другие характерные черты и особенности конкретного месторождения. Геологические цифровые имитационные модели отражают качественные и количественные изменения в массиве полезных ископаемых с учетом запасов в полном объеме и на выделенных участках. Данные цифровые имитационные модели являются первоосновой для планирования горных работ.

Маркшейдерские данные позволяют отслеживать количественные и качественные изменения в топологии модели месторо-

ждения. Маркшейдерская информация служит базисом для создания цифровых моделей, отвечающих за динамику изменения геометрии шахтного поля. В свою очередь эти модели участвуют в планировании горных работ. Горно-геологические данные содержат в себе наборы данных, описывающие месторождение как инженерно-технологический объект.

Имитационные цифровые технологические модели отображают качественное состояние месторождения с точки зрения инженерно-технического сооружения.

Необходимой частью в общей интегрированной модели месторождения являются модули с информацией, составляющей геомеханическое описание породного массива.

Кроме перечисленных интегрированная модель месторождения включает в себя описание транспортной и энергетической сетей с соответствующими характеристиками и геометрией, оперативную информацию о состоянии грузопотоков, энергопотребителях и т.д.

В процедуре построения математической модели месторождения можно выделить следующие этапы:

- выделение составляющих структур и описание характеристик этих структур, по которым формируется модель месторождения;
- описание специфической топологии структур;
- выбор параметров, методов и реализация модели с учетом выделенных характеристик;
- предварительная оценка результатов и уточнение модели;
- оптимизация модели по размеру и скорости доступа.

Интегрированная модель месторождения позволяет эффективно отображать в удобном представлении такие данные, как изолинии поверхности, структуру и мощности пластов, их гипсометрию, качественные показатели пластов, прочностные характеристики пород, особые зоны геологических нарушений (тектонические нарушения, замещения, выклинивания и др.), сети горных объектов, маркшейдерских точек, геологических пунктов опробования, конвейерного транспорта и т.д.

Следующей важной системой является **геоморфологическое строение региона ведения горных работ**. На ее основе

может проводиться оценка геоэкологического состояния региона, как в частности, так и целом.

Важной системой является «техногенная нагрузка». На ее основе проводится оценка техногенных воздействий на различные процессы, имеющие место в регионе, и изучение собственно техногенных нагрузок и источников возмущения.

Замечание. Техногенное воздействие – все виды возмущений и нагрузок, имеющие искусственное происхождение вследствие инженерно-технической деятельности человека.

Для построения региональной интегрированной информационной модели породной толщи и тематических карт, а так же работы с моделями, очевидно, что необходимо разработать специализированные программные комплексы.

Среди таких комплексов, например, комплекс построения интегрированной модели рудника и тематических карт. Следует отметить и комплекс проведения модельного анализа геомеханических процессов и изучения напряженно-деформированного состояния (НДС) массива. Весьма ответственным является комплекс выдачи прогнозных оценок оседаний и сдвижений земной поверхности, решения вопросов по охране зданий и сооружений и природоохранных задач. Очевидно, что необходимым элементом является и комплекс выполнения гидрогеологических и гидрогеомеханических исследований.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Журавков М. А. Проектирование геомониторинговых систем для регионов крупномасштабного освоения подземного пространства / М. А. Журавков, А. Д. Смычник – Мн.: Изд-во БелАБЖ, 1997. 189 с.
2. Журавков М. А. ГИС-технологии в прикладной механике / М. А. Журавков, В. В. Видякин – Мн. БГУ. 2000. 155 с.
3. Журавков М. А. Геомеханический мониторинг горных массивов / М. А. Журавков, О. В. Стагурова, М. А. Ковалева – Мн.: Юникап, 2002, 252 с.
4. Журавков М. А. Проектирование систем сопряженного геоэкологического мониторинга. Системная организация сопря-

- женного геоэкологического мониторинга / М. А. Журавков, Х. Р. Аль-Момани, В. Я. Щерба – Мн.: Выш.шк., 2003. 288 с.
5. Журавков М. А. ГИС-технологии при добыче полезных ископаемых. Специализированная корпоративная геоинформационная система “MapManager” / М. А. Журавков [и др.] – Мн.: Изд. центр БГУ, 2004. 208 с.
 6. Журавков М. А. Автоматизированная система геомеханического обеспечения горных работ для месторождений калийных солей Республики Беларусь / М. А. Журавков, О. Л. Коновалов, С. И. Славашевич – Мн.: Изд. Центр БГУ, 2006. 67 с.
 7. Журавков М. А. Компьютерное моделирование в геомеханике / М. А. Журавков [и др.] – Мн. БГУ, 2008. 443 с.