

Информационные ресурсы и технологии

ОЛЕЙНИК Андрей Григорьевич – к. т. н., заместитель директора Института информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН, заведующий кафедрой Кольского филиала Петрозаводского государственного университета

РЫЖЕНКО Алексей Алексеевич – м.н.с. Института информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН

ФИЛЬЧАКОВА Татьяна Александровна – к.х.н., старший преподаватель Высшего военного училища радиоэлектроники (военного института) г. С-Петербурга.

ФРИДМАН Александр Яковлевич – д.т.н., заведующий лабораторией Института информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН, профессор Кольского филиала Петрозаводского государственного университета

ФРИДМАН Ольга Владимировна – к.т.н., с.н.с. Института информатики и математического моделирования технологических процессов Кольского научного центра РАН, доцент Кольского филиала Петрозаводского государственного университета

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО УПРАВЛЕНИЯ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫМИ ПРЕДПРИЯТИЯМИ*

Базисом социально-экономических систем большинства регионов Севера России являются предприятия горнопромышленного комплекса. От эффективного функционирования и развития этих предприятий зависит состояние производственной и социальной инфраструктуры, а также занятость, обустройство и благосостояние населения районов их расположения. Сложность и многофакторность крупных предприятий предопределяет необходимость применения гибких и многофункциональных технологий информационной поддержки управления ими [1]. Информационно-аналитическая среда поддержки управления горнопромышленным предприятием должна включать два основных компонента. Первый обеспечивает методологическую базу прогнозирования и анализа – это модели подсистем, процессов и задач предметной области. Второй представляет собой технологическую базу в виде интегрированной информационно-вычислительной среды, обеспечивающей структурированное хранение и гибкое оперирование информацией, реализацию моделей. Данная среда должна быть ориентирована на достаточно широкий круг пользователей, являющихся специалистами различных предметных областей. В качестве инструмента, обеспечивающего комплексное решение задачи формирования среды информационно-аналитического обеспечения с учетом требований, которые предъявляются к интерактивным системам поддержки управления сложными объектами [1], используется система концептуального моделирования задач регионального управления, представленная в работе [2].

Одной из важных предпосылок использования интегрированной системы концептуального моделирования для поддержки управления горнопромышленными и горно-химическими предприятиями является необходимость интеграции существующих наработок в области информационного обеспечения различных аспектов их

* Работа поддержана грантами РФФИ №03-01-96142 и №05-07-97508

функционирования и развития [3-6]. Концептуальная модель объекта управления является средством организации комплексного моделирования с использованием различных типов исполнителей. Причем технология позволяет использовать единые принципы организации информационно-аналитической поддержки на различных уровнях рассмотрения системы.

На стратегическом уровне управления обычно используются обобщенные показатели и критерии, соответствующие верхним уровням иерархической концептуальной модели. Достаточно традиционным для данного уровня является применение балансовых моделей [7]. С развитием интеллектуальных информационных систем все шире применяются экспертные методы моделирования [8].

На уровне управления подсистемами возможна бóльшая детализация, то есть более точный учет структуры и роли параметров и, следовательно, повышение интерпретируемости результатов. В концептуальной модели предприятия подсистемам соответствуют целостные фрагменты (поддеревья), корнями которых являются узлы промежуточных уровней иерархии. Как правило, подсистемы крупного предприятия включают пространственно-распределенные объекты. Поэтому для визуализации исходных условий решаемых задач и результатов, полученных в ходе моделирования, целесообразно использовать географические информационные системы (ГИС).

Нижний уровень управления – уровень технологических процессов. Здесь возможно построение достаточно адекватных аналитических моделей на базе фундаментальных закономерностей, положенных в основу конкретных технологий и технологических процессов.

Технология концептуального моделирования апробировалась на одном из крупнейших предприятий Мурманской области - ОАО «Апатит». Предприятие является монополистом российского рынка по производству апатитового концентрата (сырье для фосфорсодержащих минеральных удобрений). На основе анализа функциональной и организационной структуры предприятия как сложной природно-промышленной системы, а также циркулирующих в системе материальных и информационных ресурсов выделены основные структурные компоненты, образующие верхние уровни концептуальной модели горнопромышленного предприятия. К ним, в первую очередь, относятся: подсистемы добычи, транспортировки и первичной переработки минерального сырья; подсистемы обеспечения; подсистемы управления комплексной безопасностью предприятия. Общность укрупненной структуры предприятий отрасли позволяет формировать модели для информационно-аналитической поддержки управления конкретными предприятиями на основе единой «базовой» модели. Основной технологией обогащения апатит-нефелиновой руды является флотация. Она основана на физико-химических свойствах поверхности минеральных частиц, то есть предприятие относится не только к горнодобывающей отрасли, но и к химической, и может быть классифицировано как горно-химическое.

Для поддержки уровня стратегического управления функционированием и развитием предприятия на основе концептуальной модели синтезирована системно-динамическая модель, где представлены основные функциональные компоненты предприятия и взаимосвязи между ними. В качестве природных компонентов учтены запасы сырья и состояние окружающей среды в зоне влияния предприятия. Модель обеспечивает анализ динамики обобщенных характеристик объекта исследований с учетом многочисленных обратных связей. Один из примеров использования системно-динамической модели для выработки решения стратегического уровня рассмотрен в работе [9], где исследована проблема определения возможной реакции предприятия на повышение транспортных тарифов, устанавливаемых естественными монополиями.

Одним из главных структурных компонентов технологии концептуального моделирования горнопромышленного предприятия является *ситуационная концептуальная модель* (СКМ) природно-технического комплекса (ПТК) [10]. Средства сопровождения СКМ обеспечивают совместную логико-аналитическую обработку данных,

поступающих от имитационных моделей структурных компонентов объекта исследования, ГИС и экспертной системы (ЭС) [11,12].

СКМ формируется из трех множеств элементов (объектов, процессов и ресурсов или данных), над которыми определены различные типы отношений. Иерархия *объектов* (составных частей предприятия) отражает их организационные взаимоотношения. Каждому объекту может приписываться набор *процессов*, имитирующих преобразование некоторого набора входных ресурсов в выходные.

В СКМ горнопромышленное предприятие представлено в виде иерархически упорядоченного множества объектов. Каждая ветвь древовидного графа объектов должна содержать один объект, ассоциированный с некоторым набором ГИС-элементов (например, точек, линий и полигонов), формирующих его представление на карте. Это обеспечивает взаимнооднозначное соответствие между концептуальным и географическим представлениями. По положению в дереве объектов и на карте выделяются три категории объектов: примитивы, структурно неделимые с точки зрения глобальной цели моделирования; элементарные объекты, географически связанные с фиксированным набором ГИС-элементов; составные объекты, состоящие из элементарных и/или составных объектов. Структура элементарных объектов в СКМ может быть достаточно сложной, но все их подобъекты имеют одну и ту же географическую привязку.

С помощью отношений иерархии любой составной объект СКМ однозначно сопоставляется с некоторым подмножеством множества ГИС-элементов, что позволяет автоматически определять графические характеристики объекта для использования в расчетах и отображать результаты моделирования на карте. На рис.1 представлена пространственная структура (стратегический уровень) ОАО «Апатит», которое включает четыре рудника (2 подземных и 2 открытых), две обогатительные фабрики, а также вспомогательные цеха.

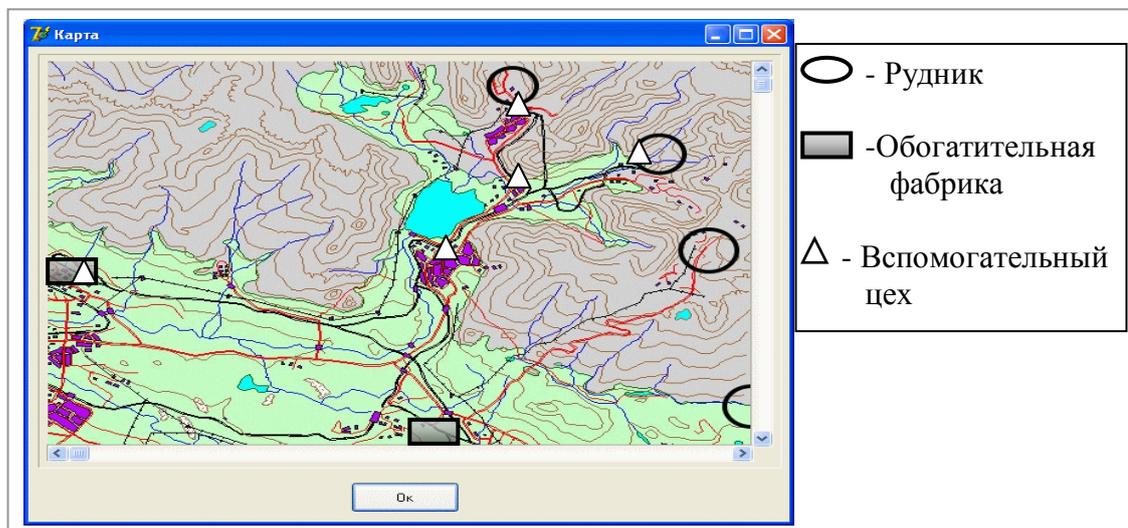


Рис. 1. Географическая привязка объектов ОАО «Апатит»

Важной подсистемой управления крупными горнопромышленными и горно-химическими предприятиями является система управления безопасностью. Работа системы основана на систематизации апробированных решений и их адекватном применении, для чего, в свою очередь, необходимо правильно оценивать текущую ситуацию и уметь прогнозировать ее последствия.

Основная идея предлагаемого подхода к информационной поддержке управления предприятием – комплексный анализ информации о потенциально опасных элементах системы, поступающей с различных объектов. Цель анализа - выбор такого набора планово-предупредительных мер безопасности, внедрение которого максимально снижает риск аварии.

На каждом уровне иерархии управления предлагается использовать подход к имитационному моделированию процесса возникновения и развития аварий в человеко-машинных системах, предложенный А.И. Гражданкиным [13]. Рассматривается макроуровневая имитационная модель процесса возникновения аварии в системе «Персонал-Оборудование-рабочая Среда» (ПОРС). Принимаются в рассмотрение только наиболее существенные причины аварийности и травматизма ПОРС системы – факторы влияния условий рабочей среды, надежности оборудования, уровня используемой технологии и факторы человека-оператора.

Управление промышленной безопасностью фактически осуществляется на трех уровнях. Нижний уровень – уровень управляемых объектов (элементов) (O^V). Объекты данного уровня подразделяются на два типа: объекты, порождающие аварии (O^{IA}), и объекты в зоне воздействия происшествий, которые не могут быть источником аварий (O^{3B}). Функции управления заключаются в прогнозировании различных аварий или инцидентов и выработке эффективных мероприятий по их устранению, в пределах одного опасного объекта. Предложения по эффективным мероприятиям передаются объектам, управляющими технологическими процессами.

Следующий уровень – уровень технологических процессов (O^{III}). От O^V поступают сигналы «снизу-вверх». Для каждого технологического процесса рассматриваются все варианты, поступившие от разных объектов. Вариант эффективных мероприятий может выбираться тремя способами. Первый – индивидуальный: для некоторого объекта утверждается один из вариантов, им предложенных. Второй – «коллективный»: определяется один вариант для группы объектов. Третий способ предполагает разработку нового варианта мероприятий на основе поступившей «снизу» информации и «собственной» информации текущего уровня. В первых двух случаях «вниз» (к O^V) отправляются указания для принятия необходимых мер. В третьем случае разработанный вариант передается для рассмотрения «наверх» к объекту, содержащему управляющие структуры.

Верхний уровень - уровень субъектов управления (O^{CV}). Данный уровень содержит иерархию субъектов управления горно-химическим комплексом. К O^{CV} поступают сигналы «снизу-вверх» от различных O^{III} и O^V . Каждый субъект рассматривает все варианты и предлагает готовые указания по эффективным мероприятиям на данный момент времени. При этом помимо поступивших «снизу» вариантов используются нормативные и законодательные документы, учитываются связи с другими субъектами управления и оценивается эффективность мероприятий в комплексном масштабе. Результаты отправляются управляющими сигналами «сверху-вниз» к O^{III} и O^V .

Выбор эффективного мероприятия или мероприятий на каждом уровне осуществляется в три этапа:

- 1) Каждому из факторов, влияющих на текущую ситуацию, ставится универсальная балльно-лингвистическая оценка.
- 2) Находится значение вероятности аварии для текущих оценок факторов опасности.
- 3) С учетом текущих ограничений на ресурсы выбирается такой набор мер безопасности, внедрение которого снижает риск аварии либо максимально, либо до допустимого уровня.

Исходными данными для принятия решения являются результаты работы блоков информационно-аналитической системы. Полученные результаты передаются в блок анализа прецедентов, где определяется вероятность аварии. Затем моделируются различные сценарии мероприятий по устранению фактических и возможных аварийных ситуаций. Основным критерий отбора мероприятий - снижение уровня риска до допустимого значения. Итоговым значением критерия является стоимость мер безопасности.

Полученный на этом уровне список эффективных мероприятий передается на уровень технологических процессов, где составляется общая картина текущего положения для каждого технологического процесса в отдельности. С учетом всех предложенных вариантов выбираются наиболее приемлемые для данной ситуации. Система сравнивает

информационные характеристики выбранных вариантов с базой нормативов и отбирает только те, которые лежат в рамках стандартов. Предлагаемый список эффективных мероприятий либо возвращается на нижний уровень в виде указаний, либо, если не может быть реализован без привлечения дополнительных ресурсов, передается на уровень субъектов управления.

Для каждого субъекта управления собирается пакет предложенных мероприятий со всех технологических процессов, принадлежащих его ведомству, и по заданным критериям находит наиболее эффективные (с экономической или технологической точки зрения). Как и на предыдущем уровне, система сравнивает предложения с нормами и законами с целью отбора тех, которые лежат в рамках стандартов.

Еще одно важное направление - создание средств информационно-аналитического обеспечения переработки минеральных ресурсов [3] и их интеграции в комплексную систему поддержки управления предприятиями, осуществляющими добычу и обогащение полезных ископаемых. В рамках технологии концептуального моделирования разработан комплексный подход, интегрирующий различные методы моделирования процессов обогащения [7]. Выбор конкретного метода определяется степенью изученности исследуемого процесса и наличием (возможностью) получения экспериментальных данных о характеристиках процесса и продуктов разделения.

Для определения методов повышения эффективности разделения минеральных комплексов в случае отсутствия аналитических моделей или их недостаточной адекватности предлагается привлекать знания и эмпирический опыт экспертов.

В настоящее время в переработку все активнее вовлекается минеральное сырье сложного вещественного состава с низким содержанием полезных компонентов, их тонкой вкрапленностью, близкими физико-химическими и технологическими свойствами составляющих компонентов. Поэтому необходимо решать задачи выбора и обоснования применяемой технологии для конкретного вида сырья с разработкой новых процессов и аппаратов (либо настройкой параметров существующих технологий), способствующих повышению извлечения полезных компонентов из труднообогатимых руд Кольского полуострова.

Для решения этих задач необходимо разработать комплексные логико-аналитические модели процессов обогащения и создать на их основе средства информационно-аналитической поддержки изучения особенностей механизмов разделения и выбора наиболее эффективных технологических схем обработки сырья. Реализация разработки на базе концептуальной модели позволяет вносить уточнения и развивать модель без существенных изменений уже сформированной части. Структура и принципы построения концептуальной модели допускают синтез модели сложной системы на основе ранее созданных моделей ее подсистем и относительно независимую модификацию ее фрагментов.

Совместное использование баз данных по вещественному составу основных видов минерального сырья Кольского полуострова, технологиям их переработки и моделей кинетики образования труднообогатимых минеральных комплексов [3] является основой системы информационно-аналитической поддержки и синтеза оптимальных параметров, оптимальных схем и циклов используемых процессов.

Для проведения экспертного анализа, целью которого является выбор технологии переработки руд сложного вещественного состава с наилучшими показателями эффективности и экономичности, используется оболочка экспертной системы [11,12], уже опробованная в задачах прогноза поведения сложных природно-технических комплексов.

В настоящее время ведется работа по формированию базы знаний ЭС. Каждый структурный блок базы знаний включает в себя группу правил формата «ЕСЛИ – ТО – ИНАЧЕ», которые связывают между собой данные, используемые в ЭС. Параллельно с разработкой структуры базы знаний ведутся работы по созданию структуры соответствующих баз данных для ЭС. На рис.2 рассмотрен фрагмент схемы классификации минерального сырья, который отражает упрощенную структуру фрагмента одной из рабочих баз данных, использующихся в ЭС. Каждый блок представленного фрагмента содержит информацию о данных, описывающих свойства сырья конкретного типа. Набор данных варьируется для различных типов сырья.

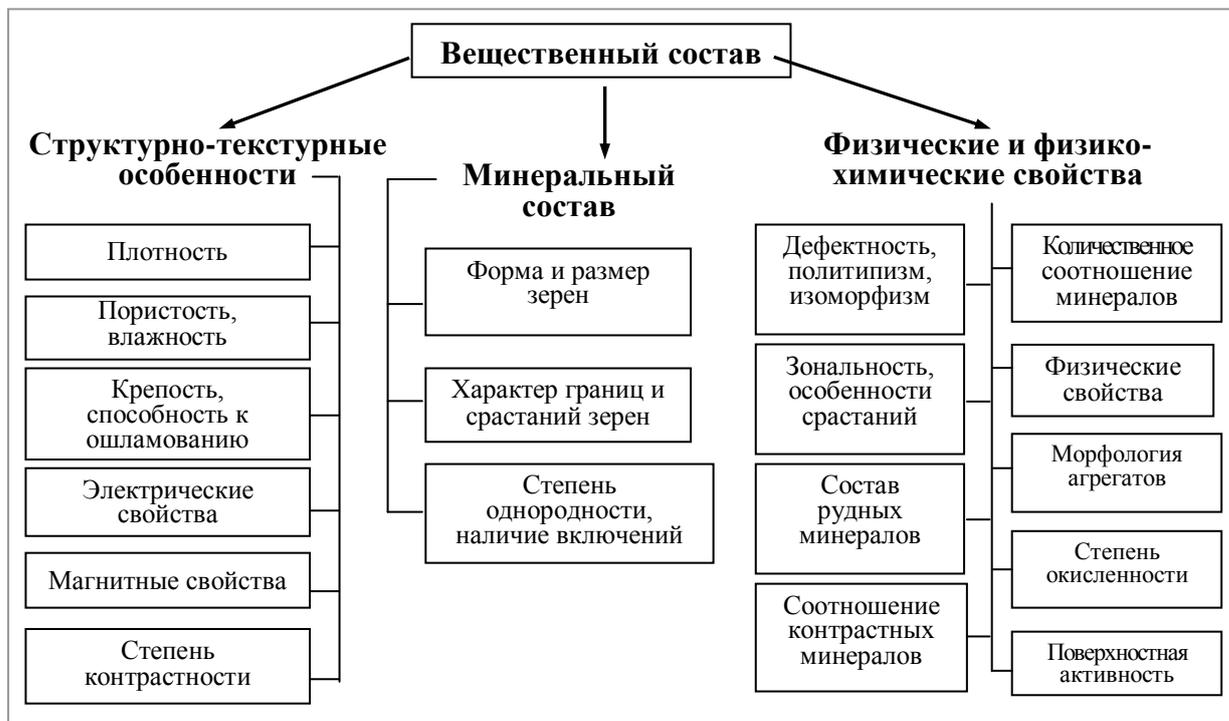


Рис.2. Фрагмент схемы классификации минерального сырья

Цель разработки – информационное сопровождение гибких производственных технологий переработки комплексного минерального сырья. При этом необходимо оперативно оценивать состояние технологического процесса с помощью выбранного для его описания набора параметров и их текущих значений, которые зависят от характера ведения процесса.

Апробация технологии концептуального моделирования в задачах управления крупным горно-химическим предприятием показала, что технология применима для разработки информационно-аналитического обеспечения различных уровней прогнозирования и управления.

Инструментальные средства информационно-аналитической поддержки управления горнопромышленными предприятиями, создаваемые на основе технологии концептуального моделирования, обеспечивают:

- использование семантически значимых понятий предметной области для построения ее формального описания;
- возможность интеграции знаний экспертов по различным аспектам функционирования предприятия для обоснования принятия решений;
- развитый аппарат (критерии качества, алгоритмы классификации и т.д.) для сопоставительного анализа ситуаций в статике и динамике;
- наличие средств автоматического контроля связности, целостности и разрешимости интегрированной концептуальной модели;
- автоматический синтез исполнительной среды моделирования для исследования предполагаемых решений в имитационном режиме.

Литература

1. Емельянов С.В., Олейник А.Г., Попков Ю.С., Путилов В.А. Информационные технологии регионального управления // М.: Едиториал УРСС, 2004. – 400 с.
2. Олейник А.Г. Инструментальная система комплексного концептуального моделирования задач регионального управления // Информационные ресурсы России. – 2005. - № 2 – С. 33 - 36.
3. Олейник А.Г. Информационные ресурсы обеспечения задач переработки минеральных полезных ископаемых // Информационные ресурсы России. – 2004. - №2. – С.18-21.
4. Наговицин О.В. Компьютерное моделирование элементов открытой разработки // Проблемы разработки месторождений полезных ископаемых и освоения подземного пространства Северо-Запада России. – Апатиты: изд. КНЦ РАН, Ч.2, 2001. – С.99-101.
5. Чуркин О.Е. Информационная система для решения задач развития горнодобывающих предприятий Кольского полуострова // Проблемы разработки месторождений полезных ископаемых и освоения подземного пространства Северо-Запада России. – Апатиты: изд. КНЦ РАН, Ч.1, 2001. – С. 77-81.
6. Информационные технологии в горном деле /Сб. трудов, отв. ред. А.А. Козырева. – Апатиты, 1998. – Ч.1-190 с., Ч.2 – 174 с.
7. Жаров В.С. Управление развитием экономики региона. – Петрозаводск: изд-во ПетрГУ, 1998. – 168 с.
8. Селин В.С., Козьменко С.Ю., Селин И.В. Методические подходы к формированию управленческих решений на промышленном предприятии. – Апатиты: изд. КНЦ РАН, 2003. – 115с.
9. Олейник А.Г., Олейник А.А., Пронин С.А. Информационная поддержка управленческих решений в области производства минеральных удобрений // Информационные технологии в региональном развитии. – Апатиты, 2003. – Вып. III. – С. 11-17.
10. Олейник А.Г., Фридман А.Я. Ситуационное моделирование природно-технических комплексов // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2002 - № 2. – С.90-103.
11. Инструментальная система поддержки вычислительного эксперимента / Олейник А.Г., Смагин А.В., Фридман А.Я., Фридман О.В. // Программные продукты и системы. – 1999. - № 2. - С.7-13.
12. Олейник А.Г., Фридман А.Я., Фридман О.В. Особенности экспертного анализа нестационарных пространственных объектов // Системы информационной поддержки регионального развития. - Апатиты: КНЦ РАН, 1998.- С.50-55.
13. Гражданкин А.И., Белов П.Г. Экспертная система оценки техногенного риска опасных производственных объектов // Безопасность труда в промышленности. – 2000. - №11. - С.6-10.