

Л.А. Бахвалов, проф.,  
МГУО.В. Шпильчевский, магистрант,  
МГУ

## СИСТЕМНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

Угольные шахты представляют собой производственные предприятия, отличающиеся от промышленных особой сложностью. Это проявляется в том, что:

- ♦ шахты являются распределенными в подземном пространстве системами с изменяющимися во времени структурой и параметрами;
- ♦ на функционирование шахт значительное влияние оказывают естественные условия залегания угольных пластов, геологические, геомеханические, физико-технические и другие процессы, сопровождающие эксплуатацию шахт;
- ♦ для угольных шахт характерно наличие сложных взаимодействий между различными технологическими процессами и процессами, происходящими при добыче в горной среде.

Как известно, в ходе научно-технического развития производства шахта и ее подсистемы выступают в качестве объектов целенаправленного технологического воздействия. Повышение обоснованности и эффективности этих воздействий требует создание такого методического и расчетного аппарата, который был бы адекватен реальной сложности соответствующих задач и обеспечивал получение (на разных уровнях управления) практически полезных, привязанных к конкретным условиям рекомендаций. Основную роль в достижении указанной цели призвано сыграть развитие и дальнейшее распространение методов моделирования.

Попытки разработки достаточно комплексных технологических моделей в прошлом уже предпринимались, однако особых успехов не принесли. Совершенно очевидным стали отсутствие простых решений задачи моделирования,

недостаточность жестких, пусть даже развернутых, многоуровневых схем моделирования. В такой ситуации целесообразнее выработать системный подход – попытаться найти и зафиксировать не каркас будущей модели, а основные принципы ее построения, создать единую среду моделирования, способную вместить то ценное, что уже есть или появится в частных технологических моделях [1].

Существующие модели технологических и других процессов в угольной шахте отличаются крайней разнородностью в постановках, используемом математическом аппарате, а также используемых средствах разработки и реализации, и попытка прямого их объединения (при сколь угодно хорошей концепции) была бы нереальна. Уровень, на котором должна осуществляться стыковка моделей, должен быть более глубинным, чем простой согласование входов и выходов.

Говоря о процессе моделирования угольной шахты с более общих позиций можно сказать, что важнейшим для постановки задачи моделирования является ее соотношение с общей исследовательской и проектной деятельностью. Модель в данном случае выступает как составляющая единого процесса исследований, как аккумулятор результатов предшествующих – и инструмент для будущих разработок [1].

Главными вопросами, на которые должны «уметь» отвечать интегрированные модели, являются вопросы синтеза (в соответствии с внешними требованиями и ограничениями) оптимальных цепочек технологических процессов, определения их параметров и технико-экономических показателей. Таким образом, целью моделирования в данном случае является не

столько задачей анализа, сколько задачей синтеза, конструирования итогового технологического процесса из отдельных подпроцессов и операций с учетом их взаимного влияния, взаимного расположения во времени и пространстве, взаимных условий функционирования.

Внутри моделей должен содержаться существенный объем инженерных знаний именно этого уровня и глубины – знания о том, как, при каких условиях, с какими параметрами может быть встроена очередная подпроцесс или операция в конструируемую цепочку, какие новые последствия и ограничения это за собой повлечет и т.д. Очевидно, большая часть этих знаний является знаниями качественными, не формализуемыми с помощью чисто расчетных процедур. Как и в любой другой сложной большой системе, сейчас невозможно говорить о построении моделей шахты, претендующих на точную имитацию реальных процессов, без привлечения знаний экспертов, построении базы знаний [1].

Следовательно задача состоит в организации «диалога» между различными автономными моделями, каждая из которых содержит определенный объем качественных и количественных технологических знаний и за счет этого способна анализировать и выдавать решения по определенному кругу вопросов. В этом случае задача объединения разнородных моделей, будет решаться на основе объединения содержащихся в них элементов общего технологического знания, а система в целом – имитировать деятельность квалифицированных технологов.

Построение интегрированной модели угольной шахты осуществляется с общих концепций системного анализа сложных систем,

основными из которых являются следующие:

➤ *принцип максимума критерия эффективности системы* – наиболее фундаментальный принцип. Любая система определяется целью своего существования. Нет цели – нет системы. Однако, само по себе существование системы еще не повод, чтобы оставить пребывать ее в саморефлексии. Суть изучения сложных систем посредством системного моделирования заключается в конечном счете в переводе ее в такой режим функционирования, при котором достигается максимум некоторого критерия эффективности, точнее, максимум ее математического ожидания. В случае угольной шахты критерием эффективности является отношение показателей экономической ценности добытого угля, полученного в процессе функционирования шахты, к показателю затрат на его добычу.

➤ *принцип согласования (субоптимизации) частных (локальных) критериев эффективности* применительно к угольной шахте гласит, что для оптимального функционирования шахты в целом не требуется оптимизации работы каждой из ее подсистем (очистные работы, транспорт, вентиляция и т.д.). Для достижения общей цели должны быть согласованы между собой критерии эффективности каждой подсистемы (причем эти частные критерии могут не совпадать с частными оптимумами).

➤ *принцип декомпозиции* – основной принцип при проектировании систем. Шахта разделяется на части по функциональному признаку, устанавливаются возможные технологические варианты реализации этих частей, взаимосвязей между ними и на заданном множестве возможных при данных горно-геологических и производственных условиях вариантов выбирается структура системы, отвечающая требованиям максимума математического ожидания эффективности. Составными частями могут быть локальные системы и системы более высокого иерархического уровня, системы связи, системы перера-

ботки и отображения информации и др. Разбиение на *подсистемы* выполняется с учетом естественной структуры технологического процесса добычи угля, удобства организации проектирования и других факторов. При этом следует стремиться обеспечить минимум связей между подсистемами.

➤ *принцип централизации информации* сводится к необходимости организации сбора, хранения и обработки качественной и количественной информации о параметрах функционирования шахты на основе единых массивов, единого банка данных, который может быть и децентрализованным. Это необходимое условие эффективности систем управления и принятия решений.

➤ *принцип явлений с малой вероятностью* утверждает, что проектируемая угольная шахта должна выполнять поставленные цели (как глобальную, так и задачи подсистем) почти всегда, за исключением достаточно редких случаев и ситуаций. Основную задачу шахты – добычу угля – нельзя пересматривать, стараясь учесть возможные события, вероятность которых меньше заранее оговоренного предела вероятности наступления.

➤ *принцип эмерджентности*, учитывающий два типа изменений в системе: количественные, определяемые алгебраические сложения исходных свойств и качественные (эмердженты), несводимые к исходным и не обусловленные только ими.

Итак, в соответствии с вышеперечисленными принципами системного подхода можно выделить следующие этапы решения проблемы построения интегрированной модели шахты:

◆ выбор критерия оценки эффективности функционирования шахты и ее подсистем. Этот этап плохо формализуется, поэтому успех определяется прежде всего искусством и опытом исследователя, глубиной его понимания поставленной проблемы. (в последнее время при выборе вариантов строительства новых или реконструкции действующих предприятий за кри-

терий оптимальности принимаются приведенные затраты);

◆ определение границы объекта «угольная шахта» и его первичная структуризация. Совокупность объектов и процессов, имеющих отношение к поставленной цели, разбивается на два класса: шахту и внешнюю среду. Такое разделение происходит в результате последовательного перебора и включения в систему объектов и процессов, оказывающих заметное влияние на процесс достижения поставленных целей.

◆ фиксирование и формализация параметров, характеризующих технологические процессы шахты;

◆ анализ и корректировка имеющихся, разработка новых конкретных технологических моделей, имеющих интерфейс взаимодействия и составляющих единую математическую модель угольной шахты. Этот этап можно разбить на следующие подэтапы:

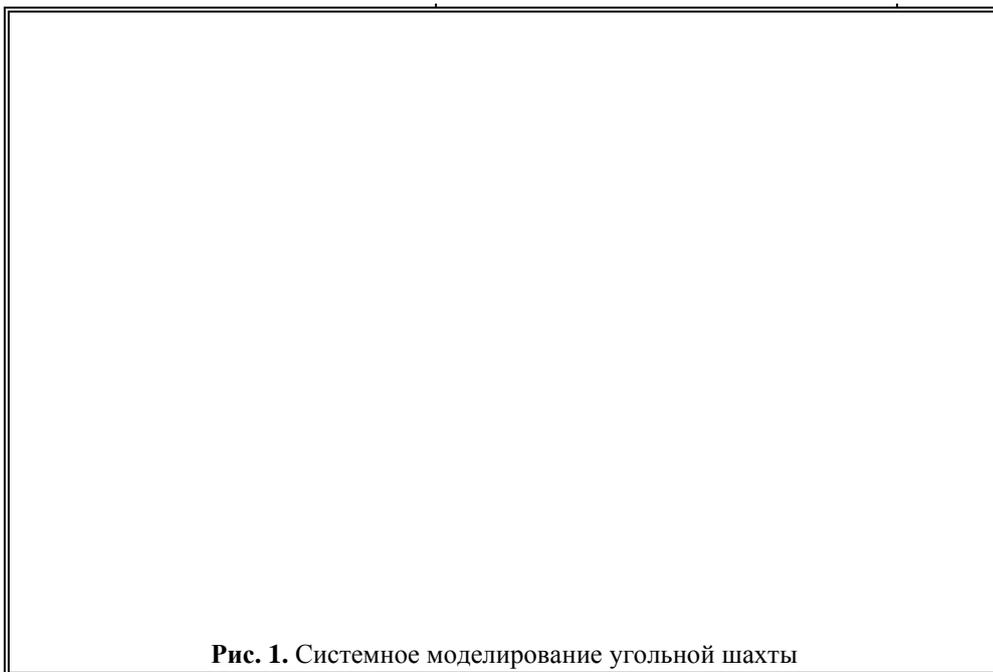
- формирование пространства состояний и параметризация, т.е. описание выделенных элементов системы и элементарных воздействий на нее с помощью тех или иных параметров в некоторой системе координат.

- установлении различного рода зависимостей между введенными параметрами в сформированной системе координат.

◆ создание вычислительной среды, поддерживающей совместную работу коллектива моделей и реализующей концепцию системного моделирования [1].

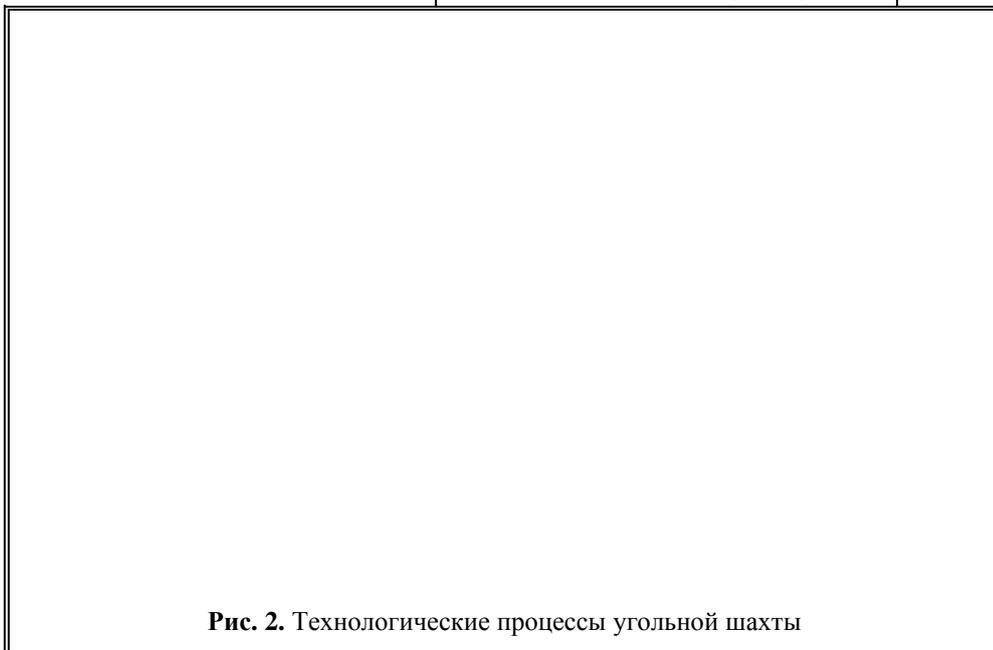
В общем виде процесс системного моделирования угольной шахты представлен на рис. 1. Рассмотрим какие модели должны входить в комплексную интегрированную модель угольной шахты.

Все технологические процессы в угольной шахте происходят в пространстве горных выработок и наземной инфраструктуры. По



**Рис. 1.** Системное моделирование угольной шахты

зико-механические параметры и



**Рис. 2.** Технологические процессы угольной шахты

- ◆ пространственная динамика физико-механических свойств полезного ископаемого и боковых пород;
- ◆ земная поверхность в пределах горного отвода с выделением запретных зон[3].

При формировании технологии сети горных выработок целесообразно выделить три элемента, определяющих пространственное положение выработки (координаты начала и конца  $i$ -й выработки  $(x_i^H, y_i^H, z_i^H)$ ,  $(x_i^K, y_i^K, z_i^K)$  соответственно, функцию, описывающую пространственную траекторию  $i$ -й выработки  $f_i(x, y, z)$ ), а также пять классов выработок, пространственное положение которых определяется:

1) полностью заданием координат  $(x_i^H, y_i^H, z_i^H)$  и  $(x_i^K, y_i^K, z_i^K)$ . К этому классу относятся выработки, которые по функциональному назначению должны всегда сохранять прямолинейность (на пример, вертикальные стволы);

2) заданием координат начала и конца, а также функцией, описывающей траекторию выработки, вид которой зависит от:

а) геометрических ха-

рактеристик залежи полезного ископаемого (например, транспортный штрек, пройденный по пласту полезного ископаемого);

б) технологического и функционального назначения данной выработки (например, объездные выработки околоствольного двора);

в) геометрических характеристик боковых пород (например, полевой штрек, пройденный в слое горных пород высокой устойчивости);

г) геометрии и пространственного положения аномальных зон[3].

этому, очевидно, что базовым элементом интегрированной модели шахты, с привязкой к которой строятся все составляющие модели, входящие в интегрированную, является геометрическая модель пространственной динамики шахтных выработок.

Привязке сети горных выработок в трехмерном пространстве горного отвода предшествует этап геометризации участка месторождения. Он заключается в разработке моделей, описывающих основные горно-геологические, фи-

их пространственную динамику. При этом описываются следующие геологические поверхности и поля:

- ◆ поверхности контакта залежей полезного ископаемого с боковыми породами;

- ◆ геометрические объекты, соответствующие аномалиям, учет которых необходим при проектировании топологии горных выработок (участки разломов, геологических нарушений, зоны пльвунов, обводненные участки);

- ◆ распределение качественных характеристик полезного ископаемого в трехмерном пространстве;

Таким образом, функции, описывающие пространственную траекторию выработок, полностью определяются при задании координат начала и конца выработок и наличии формализованного описания геометрии горного отвода. Так как сеть горных выработок является связной, пространственная ориентация основных вскрывающих и подготовительных выработок определяется однозначно в процессе задания таких проектных параметров, как место расположения промплощадок, высота этажа, отметки транспортных, вентиляционных, закладочных горизонтов, которые можно отнести к основным варьируемым параметрам для данного технологического варианта проектируемого предприятия, [3].

На основе модели пространственной привязки строятся модели следующих подсистем технологических процессов угольной шахты (рис.2):

- ◆ очистные работы;
- ◆ транспорт, подъем;
- ◆ сортировка, бункеризация, отгрузка;
- ◆ проведение и поддержание горных выработок;
- ◆ вентиляция;
- ◆ водоотлив, дегазация;
- ◆ энергоснабжение;

Возможность реализации интерфейса взаимодействия между различными локальными моделями предполагает, как отмечалось выше, наличие единой информационной технологической среды, единого информационного обеспечения.

Всю информацию можно объединить в шесть БДиЗ:

1. *Геология*. Здесь хранится и обрабатывается информация по угольному месторождению, на котором проектируется объект: характеристики угольных пластов и вмещающих пород по разведочным линиям, скважинам, шахтным замерам; данные о геологических нарушениях и гидрогеологии; математические модели изменчивости природных факторе; характеристики природных факторов по технологическим контурам (выемочные

столбы и поля, подготовительные выработки, целики и участки прирезаемых запасов).

База данных "Геология" имеет две развернутые взаимосвязанные структуры информации: символьную и графическую. Графическая структура обеспечивает визуализацию следующих геологических объектов: шахтное поле, пластовая карта, геологические разрезы, структурные колонки.

2. *Технология*. Содержит информацию по угольной шахте, ее блокам, крыльям, выемочным столбам и полям, горным выработкам, принятым средствам механизации. Данная база также имеет две структуры: символьную и графическую. В символьной содержатся различные цифровые данные, в графической — образцы технологических объектов (различные классы выработок).

3. *Оборудование и материалы*. Включает показатели по всей номенклатуре применяемого на проектируемых объектах оборудования. Информация базы служит основой для выпуска заказных спецификаций по оборудованию.

4. *Расценки и нормативы*. Содержит расценки и нормативы для видов строительно-монтажных и горных работ. Информация базы служит основой для выпуска сметной документации и экономических расчетов[2].

5. *Охрана окружающей среды*. Включает данные по биосфере окружающей среды, информацию по нормам и затратам на ее защиту от вредных антропогенных воздействий в процессе функционирования шахты.

6. *Данные экономического анализа и прогноза рыночной конъюнктуры*. Описывает динамику развития состояния угольного рынка.

Вычислительные модули строятся, исходя из концепций, заложенных в интегрированную модель, и оперируют данными из БДиЗ. Они фактически реализуют задачи оптимизации шахты в целом и ее подсистем - та цель собственно из-за которой и проводится анализ угольной шахты и синтез ее системной модели.

В настоящее время нет научно обоснованной теории выделения подсистем и в каждом конкретном случае оно зависит от целей и методов исследования, опыта исполнителей. Выделим подсистемы, опираясь на современную теорию и опыт проектирования шахт.

Система разработки, способы механизации и управления кровлей оптимизируются совместно и характеризуют очистные работы, т. е. определяют параметры очистного забоя — производительность, себестоимость 1 т угля, необходимое количество воздуха.

Далее решается вопрос о способе размещения и числе очистных забоев на пласте, т. е. выбираются рациональный способ подготовки пласта и концентрация работ. Основные показатели добычного участка (комплекса очистных забоев на крыле пласта, ограниченного откаточным и вентиляционным штреками) — производительность, себестоимость, необходимое количество воздуха — определяются соответствующими показателями составляющих его очистных забоев, их числом, способом размещения, видом применяемого на участке транспорта, расположением и параметрами нарезных и подготовительных выработок и расстоянием между откаточным и вентиляционным штреками.

Таким образом, вся система «Проектируемая шахта» может быть описана тремя моделями, соответствующих трем пространственно и технологически обособленным подсистемам:

1. Очистной забой;
2. Добычного участка;
3. Комплекс вскрывающих выработок [5].

Все подсистемы объединены общей целью функционирования и целым рядом факторов, причем некоторые из них могут быть определены в одной модели и служить исходной информацией при построении другой (например, производительность очистного забоя при построении модели добычного участка).

Показатели добычного участка являются основными исходными

данными при проектировании вскрытия шахтного поля и технологических модулей (вентиляции, транспорта по капитальным выработкам, водоотлива, электроснабжения и т.д.).

Задача построения интегрированной модели и разработки вычислительных модулей отличается большой степенью сложностью и невозможно ее представить без использования инструментальных средств, позволяющих автоматизировать выполнение различных этапов работ:

➤ *средства решения оптимизационно-вычислительных задач.* Обычно в этой роли выступают языки программирования высокого уровня;

➤ *средства работы с данными (структуризация, накопление, обработка).* Здесь речь идет о системах управления базами данных (СУБД). В настоящее время имеются мощные инструментальные средства по созданию и поддержке распределенных баз данных (SQL-сервера). Набирает темпы процесс улучшения взаимодействия серверов БД и языков программирования;

➤ *средства структурно-функционального моделирования.* Средства, помогающие произвести декомпозицию сложной системы. Этап анализа угольной шахты является наиболее важным при решении поставленной задачи. От того насколько правильно построена структурно-функциональная модель угольной шахты и специфицированы подпроцессы и потоки зависит успех или неудача всей задачи;

➤ *геоинформационные системы.* ГИС-системы предназначены для представления и работы с пространственными данными - данными, связанными с объектами, имеющими пространственную привязку, например положения горной выработки, ее сечение, длина и т.п.;

➤ *средства имитационного моделирования.* Существует целое семейство универсальных языков имитационного моделирования (например, GPSS), а также многочисленные инструментарии, моделирующие конкретную проблему;

➤ *3-D графика реального времени.* Стремительное развитие технологий 3-D графики породило довольно большое количество программных продуктов в этой области. Однако, требованиям к графике выдвигаемые при проектировании шахты, удовлетворяют считанные единицы. Среди них особо можно отметить ACAD-продукты, давно и плодотворно применяемые при проектировании.

К слову сказать, стремление функционально различных инструментальных средств к ассимиляции друг другом и простоты взаимодействия отражает общую тенденцию к интеграции программных средств, к концепции «единого документа», когда документ, наиболее полно отражающий некую предметную область, можно свободно передавать между программами, каждая из которых работает с частью целого. Построение единой интегрированной модели угольной шахты в идеале тоже должна привести к ситуации когда документ, содер-

жащие всю информации о некоторой шахте, можно будет открыть в графическом редакторе, чтобы добавить новую выработку, затем передать его в СУБД, чтобы ввести параметры этой выработки и тут же, вызвав оболочку языка, написать нужный код.

Стоит особо отметить все увеличивающуюся и приобретающую доминантный оттенок роль средств удаленного диалогового взаимодействия. Сейчас ни одна серьезная система не обходится без предоставления своих возможностей пользователю через Internet. Задача поддержки удаленных пользователей при построении интегрированной модели угольной шахты становится не просто вопросом популяризации, а выживания в мире информационных технологий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ю.Л. Барон «О проблеме технологического моделирования». «Моделирование технологических процессов на угольных шахтах». Сборник докладов на научном семинаре, Институт А.А.Скочинского -1993г
2. В.М. Еремеев, Е.Я. Диколенко «Автоматизированное проектирование угольных шахт», Липецкое издательство, 1997г.
3. В.И. Штеле «Имитационное моделирование развития подземных горных работ», Новосибирск, 1984г.
4. А.С. Бурчаков, А.С. Малкин, М.И. Устинов «Проектирование шахт», «Недра», 1985г.
5. С. Цой, Г.П. Данилина, Е.Н. Гуц «Автоматизация проектирования вскрытия шахтных полей», Наука, 1973г.

Файл: БАХВАЛ~1  
Каталог: G:\С диска по работе в универе\GIAB\_99\GIAB4\_99\Все  
Шаблон: C:\Users\Таня\AppData\Roaming\Microsoft\Шаблоны\Normal.dotm  
Заголовок: Системное моделирование угольной шахты  
Содержание:  
Автор: Гитис Л.Х.  
Ключевые слова:  
Заметки:  
Дата создания: 08.06.1999 9:44:00  
Число сохранений: 2  
Дата сохранения: 08.06.1999 9:44:00  
Сохранил: Гитис Л.Х.  
Полное время правки: 0 мин.  
Дата печати: 14.12.2008 20:22:00  
При последней печати  
страниц: 5  
слов: 3 127 (прибл.)  
знаков: 17 825 (прибл.)