

На правах рукописи

КУБРИН Сергей Сергеевич

УДК 622.27:681.5

**Теория анализа и синтеза информационно-
аналитических систем оптимальной обработки
шахтных полей и месторождений**

Специальность 05.13.01 – Системный анализ,
управление и обработка информации
(промышленность)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва 2002 г.

Работа выполнена в Московском государственном горном университете (МГГУ).

Научный консультант: доктор технических наук,
профессор
Н. И. Федунец.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор
В. Н. Решетников,

доктор технических наук,
профессор
Р. Д. Мигачев,

доктор технических наук,
профессор
Г. Ф. Филаретов.

Ведущая организация: Институт проблем управления
им. В. А. Трапезникова РАН.

Защита состоится 3 июля 2002 г. в 12.00 на заседании диссертационного совета Д-212.128.07 при Московском государственном горном университете по адресу: 119991, Москва, Ленинский проспект, д. 6.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Московского государственного горного университета.

Автореферат разослан 3 июня 2002 г.

Учёный секретарь диссертационного совета

Кандидат технических наук, доцент

А. С. Алексеев

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы. В настоящее время угольная промышленность находится в сложной ситуации, что определяется малой рентабельностью и даже убыточностью добычи угля. За последние годы прекратились дотации на добычу угля. В связи с переходом страны к рыночной экономике сменились приоритеты работы угледобывающих предприятий и отрасли. Теперь нет необходимости в увеличении объемов добычи полезного ископаемого любыми средствами. Угольщикам требуется добывать такой уголь, который был бы востребован на рынке, и его извлечение было бы экономически оправдано.

Вопрос о строительстве новых шахт сейчас не стоит, наоборот, происходит реструктуризация отрасли. Поэтому необходимо повысить экономическую эффективность уже работающих шахт и разрезов. Она определяется многими факторами, важнейшими из которых являются:

- расположение месторождения, инфраструктура, транспорт, стоимость перевозки угля к потребителям;
- технология добычи, себестоимость извлечения полезного ископаемого;
- горно-геологические условия залегания пласта;
- потребительская стоимость угля (качество полезного ископаемого), состав и количество полезных и вредных компонентов.

Расположение работающего угледобывающего предприятия изменить нельзя. Сложно развить инфраструктуру, снизить транспортные издержки, создать вблизи месторождений новых потребителей угля, таких как химический комбинат, электростанция и т. д. Совершенствование технологии добычи угля определяется техническим прогрессом в области горного оборудования, который происходит эволюционным путем не так быстро, как хотелось бы угольщикам. Следовательно, на работающей шахте или разрезе остаются резервы только по улучшению качества добываемого угля. Для этого требуется, во-первых, разрабатывать такие запасы, извлечение которых обеспечивает экономическую эффективность работы предприятия в условиях рынка; во-вторых, применять методы определения морфологии и горно-геологических условий залегания пласта, породных слоев и тектонических нарушений, позволяющие учесть локальную гипсометрию и локальные изменения показателей качества угля и свойств пород для получения более точного проекта очистных работ. Проведение выемочных работ по таким проектам позволит уменьшить наличие в горной массе вмещающих пород и, как следствие, повысить качество добываемого угля.

Кроме того, это позволит улучшить условия работы оборудования очистного забоя, что ведет к снижению себестоимости полезного ископаемого. Таким образом, экономическую эффективность работы угледобывающего предприятия можно повысить мерами, направленными на оптимизацию отработки шахтных полей и месторождений с точки зрения конкурентной способности углей. Эти меры связаны с детальной оценкой запасов и выполнением проектов по их выемке, учитывающих локальные горно-геологические особенности залегания пласта. Сформулированная проблема оптимальной отработки угольных пластов, шахтных полей и месторождений на основе конкурентной способности углей для угольной отрасли крайне актуальна на сегодняшний день.

Цель работы – разработка теории анализа и синтеза распределенных информационно-аналитических систем определения оптимальной отработки угольных пластов, шахтных полей и месторождений в целом.

Идея работы заключается в теоретико-информационном анализе и синтезе систем определения перспектив отработки угольных пластов, шахтных полей, месторождений и систем подготовки, обеспечения и выполнения проектов очистных работ по добыче конкурентоспособных углей.

Задачи исследований. Научная проблема и цель работы определили задачи научных исследований:

- теоретико-множественный, системный анализ и гносеологическое исследование горно-геологической информации, описывающей объекты, понятия и процессы угледобывающих предприятий;
- разработка теории и методов создания информационных образов в виде *номинальных объектов*, как результата процесса формализации горно-геологических объектов, участвующих в разведке и добыче углей;
- разработка оценок и методов их определения, позволяющих сравнить свойства информационных структур распределенных информационно-аналитических систем оптимальной отработки шахтных полей и месторождений;
- прогнозирование условий надежной работы разрабатываемых информационно-аналитических систем и выявление возможных областей и границ возникновения хаотических явлений в них;
- разработка новых поисковых алгоритмов, учитывающих особенности организации горно-геологической информации;
- создание метода определения перечня математических моделей, необходимых для эффективного функционирования разрабатываемых

информационно-аналитических систем оптимальной обработки шахтных полей и месторождений, а также выделение класса моделей, требующих новой разработки;

- разработка новых математических моделей и создание базы моделей, обеспечивающей эффективное функционирование разрабатываемых информационно-аналитических систем;

- разработка инструментальных средств для реализации распределенных информационно-аналитических систем оптимальной обработки шахтных полей и месторождений.

Методы исследования базируются на теории множеств, системном анализе, дифференциальном, интегральном и вариационном исчислении, аналитической геометрии, методах математической физики, нелинейной и хаотической динамики, а также численных методах, методах оптимизации, нечетких множествах и нейронных сетях.

Научные положения, выносимые на защиту и их новизна.

1. Разработана теория анализа и синтеза информационно-аналитических систем оптимальной обработки шахтных полей и месторождений. Определены понятия: *номинальный объект* как образ горно-геологического объекта и его свойства, *номинальная система* и её организация.

2. Получено оптимальное распределение *номинальных объектов* по степени сложности в *номинальной системе*, обеспечивающее более эффективное функционирование информационно-аналитических систем. Данное решение уменьшает ошибку вычисления функции плотности распределения на семьдесят процентов по сравнению с известным решением Шрейдера Ю. А., Шарова А. А. за счет использования полной формулы Стирлинга.

3. Выявлена фундаментальная закономерность роста числа типов *номинальных объектов* в *номинальной системе* в зависимости от увеличения объема обрабатываемой информации и числа решаемых задач, при этом организация системы совершенствуется. Сформулированы и доказаны теоремы о необходимости изменения организации *номинальной системы* с ростом объемов обрабатываемой информации и числа решаемых задач для уменьшения энтропии информационного представления.

4. Разработаны методы оценки организации *номинальных объектов* для различных вариантов *номинальных систем*. Введено понятие *коэффициент эффективности организации в номинальной системе*, что позволяет сравнивать

варианты информационных образов и структур *номинальных систем* и сравнивать энтропию информационного представления.

5. Выявлены закономерности в поведении *коэффициента эффективности организации в номинальных системах*, определены факторы, влияющие на его значение, что позволило оптимизировать организацию информации образов объектов и *номинальной системы*.

6. Введена мера оценки организации *номинальных объектов и номинальной системы*, основанная на определении дробной размерности Хаусдорфа - Безиковича пространства информационных структур, позволяющая оценивать особенности информационных образов и регулярных и нерегулярных их совокупностей (образований).

7. Определены условия надежной работы информационно-аналитических систем. Вычислены параметры бифуркационных диаграмм для возможных условий вычислительного процесса. Выявлены границы образования хаотических явлений.

8. Создан принципиально новый алгоритм поиска информации в распределенных горно-геологических информационных системах. Алгоритм использует фрактальные особенности горно-геологической информации и позволяет, в отличие от существующего, получать промежуточные результаты на любом этапе поиска.

9. Сформулирован *принцип дополненности*, на основании которого разработан морфологический метод, позволяющий впервые выявить полный список моделей, необходимых для обеспечения функционирования информационно-аналитических систем оптимальной отработки шахтных полей с учетом конкурентной способности углей. Кроме того, метод позволил вычислить степень *определенности* моделей и выявить перечень моделей, требующих новой разработки.

10. На основании выявленного перечня разработаны следующие новые математические модели и методы:

- расчета геометрии оси разведочной скважины, которая в отличие от существующих позволяет учитывать различные варианты замеров инклинометрии и получать ось скважины в виде гладкой кривой, что уменьшает ошибку в определении координат точки подсечки пласта;
- представления полей геологических показателей фрактальными поверхностями на нерегулярной сетке, которая по сравнению с топографической по-

верхностью, введенной П. К. Соболевским в 1932 г., позволяет учесть отсутствие плавности в распределении физико-химических свойств полезного ископаемого, что существенно повышает точность оценки качества угля;

- зонирования шахтного поля для выявления и оконтуривания зон с углями, обладающими заданными качествами и являющимися конкурентно способными;
- идентификации геологических отложений на шахтном поле по наблюдениям, произведенным в горных выработках и в разведочных скважинах, пробуренных как с поверхности, так и под землей;
- восстановления геологической поверхности породного слоя, тектонического нарушения или пласта на основе нелинейной триангуляции с учетом элементов залегания (угла и азимута падения). Разработанная модель позволяет увеличить достоверность построения локальной морфологии выемочного участка;
- оценки качества построения геологических поверхностей. Введены понятия близости поверхностей между собой по отметкам высот (близость поверхностей 1-го порядка) и по элементам залегания слоя (близость поверхностей 2-го порядка).

Апробация работы.

Основные результаты диссертации докладывались и обсуждались на следующих научных форумах: Рабочее совещание по созданию Государственного банка цифровой геологической информации, Зеленоград 04.12.1995; Computer applications and operations research in the mineral industries (2-nd Regional APCOM'97 Symposium) 1997; Научный симпозиум «Неделя горняка» Москва 1999, 2000, 2001, 2002; «Компьютерные технологии в горном деле», IV Республиканская научно-техническая конференция, Екатеринбург, 1999; «Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности», Международный экологический конгресс Санкт-Петербург 14-16 июня 2000; «Темпы и пропорции социально-экономических процессов на Российском Севере», Межрегиональная научно-практическая конференция (Лузинские чтения) г. Апатиты 2001; «Фракталы и циклы развития систем» Пятое заседание постоянно действующего научного семинара «Самоорганизация устойчивых целостностей в природе и обществе» г. Томск 2001; «Методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике», II Международная практическая конференция г. Новочеркасск 18 января 2002 г.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в:

- создании информационно-аналитической системы оптимальной отработки шахтных полей и месторождений на основе конкурентной способности добываемых углей;
- разработке теории, позволяющей оценить и усовершенствовать организацию информационно-аналитических систем оптимальной отработки шахтных полей и месторождений в зависимости от роста количества решаемых задач и увеличения объемов обрабатываемой информации;
- формулировке и доказательстве теорем о необходимости совершенствовании организации *номинальной системы* с ростом объемов обрабатываемой информации и числа решаемых задач для уменьшения энтропии информационного представления;
- разработке новых математических моделей:
 - геометрии скважины, инвариантной к видам замеров инклинометрии и представляющей ось скважины в виде гладкой кривой,
 - фрактальной поверхности распределения показателя качества угля,
 - зонирования шахтного поля с учетом оценок качества и конкурентной способности углей,
 - идентификации геологических отложений на шахтном поле по наблюдениям, произведенным в горных выработках и в разведочных скважинах,
 - построения поверхностей по отметкам и элементам залегания геологических слоев;
- разработке инструментальных средств, необходимых для функционирования информационно-аналитической системы оптимальной отработки шахтных полей и месторождений с учетом конкурентной способности углей.

Реализация результатов диссертационных исследований. На основе, разработанных в диссертационной работе математических моделей и методов, созданы программные средства, которые внедрены на шахтах и разрезах, производственных объединениях отрасли, в Департаменте угольной промышленности при Министерстве энергетики РФ и в Государственном управлении по реструктуризации шахт. Теория анализа и синтеза *номинальных систем* введена в рабочую программу дисциплины «Формальные системы» по направлению «Информатика и вычислительная техника» и используется в учебном процессе.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 27 научных работ.

Структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения, включает 21 таблицу, 108 рисунков, список использованной литературы из 198 наименований.

Содержание работы

Для повышения экономической эффективности работы угледобывающего предприятия требуется выявить запасы, угли которых конкурентно способны на рынке и извлечь их при наименьших затратах и с наименьшим разубоживанием. Поэтому необходимо детально оценить запасы, находящиеся на балансе угледобывающего предприятия, выявить угли с конкурентоспособными свойствами и разработать проект по их выемки. Задачи оценки балансовых запасов и задачи выполнения проектов очистных работ представлены двумя классами не зависящих друг от друга информационно-аналитических систем. На самом деле эти задачи тесно взаимосвязаны как по виду используемой горно-геологической информации, так и по типам решаемых задач. Поэтому для оптимальной отработки пластов, шахтных полей и месторождений необходимо произвести синтез информационно-аналитических систем оценки, выявления конкурентоспособных углей и выполнения проектов по их выемке.

При оценке перспектив отработки запасов необходимо учитывать как можно больше факторов, оказывающих то или иное влияние на экономическую эффективность работы угледобывающих предприятий. Для этого требуется изучить взаимосвязанные между собой горно-геологические системы, включающие разнообразные процессы и задачи, состоящие из огромного числа горно-геологических объектов, описываемых векторами свойств большой размерности. В общем случае такие системы обладают некоторыми универсальными закономерностями, которые характерны не только для систем, описывающих месторождения полезных ископаемых. В системах, которые могут самостоятельно развиваться, такие закономерности порождают два вида процессов: организации и дезорганизации системы. В результате этих процессов системы или развиваются, или находятся в стабильном состоянии, или деградируют. Организация и дезорганизация систем зависит от потоков энергии, массы и информации протекающих через них, а также от энтропии. При этом с ростом объемов этих потоков растет число задач, которые должна решать система, что ведет к усложнению организации системы.

Основополагающий вклад в исследование организации систем внес русский (по происхождению) Нобелевский лауреат 1977 Илья Пригожин. Он

ввел понятие «диссипативные структуры – устойчивое упорядоченное неравновесное состояние системы, через которую проходят потоки энергии, массы, информации и энтропии». Процессами, связанными с организацией и дезорганизацией систем, занимались: Л. Берталанфи (основатель общей теории систем), Л. И. Мандельштам, М. А. Леонтович, основатель синергетики Г.Хакен. Большой вклад в исследование горно-информационных систем внесли российские ученые Л. А. Пучков, Н. И. Федунец, Л. А. Бахвалов, С.А.Редкозубов, Д. К. Потресов и др.

Оптимизация обработки шахтных полей и месторождений вынуждает решать ряд дополнительных горно-геологических, технологических и экономических задач и требует увеличения объемов обрабатываемой информации на несколько порядков. Автоматизированные горно-геологические системы на сегодняшний день не обладают способностью к саморазвитию и совершенствованию. Это связано с тем, что в существующих системах не предусматривались инструменты и методы по управлению и изменению в них организации (структуры) информации. Поэтому даже незначительное увеличение объемов обрабатываемой информации и числа решаемых задач приводит к дезорганизации горно-геологических информационных систем, действующих на шахтах, разрезах, производственных объединениях и в Департаменте угольной промышленности.

В геологической толще горно-геологические объекты тесно связаны между собой. Изменение каких-либо свойств любого объекта при решении горно-геологической задачи автоматически ведет к изменению свойств других (одного или нескольких) объектов, не связанных в контексте задачи с рассматриваемым. Для учета влияния разнообразных факторов на экономическую эффективность работы угледобывающего предприятия требуется информация о различных свойствах горных объектов. При этом у каждого типа горно-геологического объекта перечень свойств не только уникален, но и все время пополняется с появлением новых задач. Проектировать информационные образы горно-геологических объектов с ростом числа типов объектов так, чтобы не возникало избыточности и противоречия, становится все сложнее и сложнее. На сегодняшний день отсутствуют методы и инструментарий, позволяющие спроектировать информационные образы горно-геологических объектов и сравнить их между собой с целью выбора наилучшего представления.

Итак, для того чтобы дать возможность информационно-аналитическим системам определения оценок качества и конкурентной способности углей и системам подготовки, обеспечения и выполнения проектов очистных работ адаптироваться к изменению объемов обрабатываемой информации и числу решаемых задач, при оптимизации отработки шахтных полей и месторождений, необходимо предусмотреть механизм, который бы позволил изменять организацию информации.

Для того чтобы учесть закономерности процессов, связанные с увеличением объемов обрабатываемой информации и числа решаемых задач и не допустить в распределенных информационно-аналитических системах проявлений дезорганизационных явлений, необходимо разработать методы:

- построения информационных образов горно-геологических объектов, учитывающие особенности добычи угля и предусматривающие возможность изменения организации информации;
- оценки структуры информационных образов горно-геологических объектов и информационно-аналитических систем определения качества и конкурентной способности углей и систем подготовки, обеспечения и выполнения проектов очистных работ и всей системы оптимальной отработки запасов в целом.

Первая глава. Запасы, принятые на балансы шахт во время действия плановой экономики не детализированы по качественным показателям и условиям залегания. Их оценка произведена только на основе мощности и зольности угольного пласта. Другие факторы, определяющие качество угля и осложняющие условия добычи угля (угол падения пласта, нарушенность, выбросоопасность, удароопасность, самовозгораемость, глубина залегания, обводненность, устойчивость вмещающих пород и другие), при подсчете и утверждении запасов не учитывались.

В условиях рыночной экономики и реструктуризации отрасли необходимо производить оценку запасов с учетом факторов, определяющих качество угля и влияющих на условия его добычи. В связи с тем, что горно-геологические условия меняются по мере продвижения горных работ в пространстве месторождения, целесообразно технологическую оценку условий и определение эффективности разработки месторождения выполнять не только в целом для всего шахтного поля (на период его отработки), но и для отдельных его частей, участков, подлежащих непосредственной разработке. Важно отметить, что такие задачи, как составление горно-геологического прогноза при

планировании очистных выработок, определение перспективы отработки угольного пласта, производственного участка, предприятия и месторождения в целом представляют собой взаимосвязанные системы, использующие одни и те же горно-геологические, иерархически организованные данные. Увеличение числа учитываемых факторов на любом уровне не только позволит более точно и значительно эффективнее эксплуатировать производственные участки, предприятия, угольные объединения, но и добиться крайне важного на текущий момент улучшения состояния угледобывающей отрасли.

Таким образом, оптимизация отработки шахтных полей и месторождений на основе конкурентной способности углей требует решения ряда задач по двум дополняющим друг друга направлениям:

- по детальной оценке запасов угля, находящихся на балансе предприятий;
- по разработке новых методов определения морфологии и горно-геологических условий залегания пласта, необходимых для получения более точного проекта очистных работ.

По экономическому значению запасы подразделяются на балансовые (экономические) и забалансовые (потенциально экономические). При оптимальной отработке шахтных полей и месторождений, с точки зрения конкурентной способности углей интерес представляют экономические запасы, находящиеся на балансе угледобывающих предприятий. В них выделяются две группы запасов, извлечение которых на момент оценки:

- экономически выгодно при использовании техники и технологии добычи и переработки сырья, обеспечивающих соблюдение требований по рациональному использованию недр и окружающей среды;
- не обеспечивает экономически приемлемую эффективность разработки, но освоение которых становится экономически выгодным при осуществлении со стороны государства поддержки в виде налоговых льгот, субсидий и т.п.

Оценку перспектив отработки шахтных полей по степени её проработки по горно-геологическим параметрам условно можно разделить на: начальную, предварительную, детальную и запасов, непосредственно подготовленных к выемке. Обычно во время эксплуатации угледобывающего предприятия детальную оценку экономической эффективности балансовых запасов на шахте или разрезе делают в случае изменения конъюнктуры рынка, при проведении доразведки месторождения или же при переходе на новую технологию выемки угля. Оценку непосредственно подготовленных к выемке запасов производят

при разработке проекта очистных работ. Для этого используются горно-геологические данные, полученные как на этапе разведки, так и на этапе эксплуатации. Определяются основные показатели выемочного участка: производительность, потери, присечки вмещающих пород, планируемое качество угля, себестоимость и т.д.

Рентабельность отработки запасов зависит от соотношения затрат на добычу угля и его стоимости на рынке с учетом необходимых отчислений в бюджеты разных уровней, связанных с деятельностью угледобывающего предприятия. В пределах одного шахтопласта угли различаются по качеству и по горно-геологическим условиям залегания, и, соответственно, по стоимости реализации. Поэтому при определении экономической эффективности отработки запасов требуется:

- выявить на каждом шахтопласте однородные по качественным и горно-геологическим условиям зоны (блоки);
- определить на них потребительскую ценность угля (оптовая цена);
- вычислить объем добываемого угля (промышленные запасы);
- определить удельные затраты на вскрытие и подготовку (капитальные затраты для вновь строящихся шахт, участков);
- выявить удельные затраты на отработку запасов (эксплуатационные затраты).

Оптовые цены на рядовые угли на внутреннем рынке еще не полностью стабилизировались, так как дифференциация цен по потребительской ценности разных марок не наступила. К примеру, наиболее ценные коксующиеся угли марок К и Ж часто имеют ту же цену, что и менее ценные ОС и КО. На зарубежных рынках такая дифференциация существует. Поэтому в зависимости от марки оптовые цены необходимо брать либо на внутреннем рынке, либо рассчитывать по коэффициентам, которые действуют на зарубежных рынках с учетом поправок на вредные компоненты.

Затратная часть добычи угля состоит из:

- общих и удельных затрат, связанных со строительством, или с восстановлением шахты, вскрытием и подготовкой действующего горизонта, затрат на его техническое обслуживание и ремонт;
- участковой себестоимости добычи 1 т угля в комплексно-механизированном забое, которая зависит в основном от горно-геологических условий, применяемой техники и технологии очистной выемки;

- общешахтных затрат на добычу 1 т угля в зависимости от участковой себестоимости добычи угля при отработке различных угольных залежей, технологических схем их разработки и долевого участия производственного цикла шахты в системе формирования издержек производства при условии, что отработка будет производиться одним очистным забоем с соответствующей годовой добычей;
- общешахтных затрат на добычу 1 т угля при вовлечении в работу нескольких забоев с соответствующей годовой добычей.

Эксплуатационные расходы по добыче угля в очистном забое определяются прямым счетом по каждому элементу в соответствии с действующими нормативами, сложившимися ценами и проектными решениями.

Определение принадлежности промышленных запасов к различным группам по их экономическому значению согласно «Классификации по марочному составу углей» производится по величине рентабельности,

определяемой по формуле:
$$P = \frac{C_{opt} - (C + H)}{C},$$

где C_{opt} - цена оптовая угля с учетом скидки (наценки) по вредным (полезным) компонентам;

C - себестоимость шахтная;

H - налог на прибыль.

Оптовая цена угля находится по примерно однородной зоне (блоку), выделенной на основании качества угля с учетом направления его использования. Качество угля определяется по результатам проведенных лабораторных анализов проб полезного ископаемого, отобранных как на этапе разведки, так и на этапе эксплуатации месторождения. Скидки (наценки) на оптовую цену угля вычисляются по качественным показателям угля с учетом полезных и вредных компонент. Таким образом, выявление и выемка запасов с конкурентоспособными углями, повысит экономическую эффективность работы угледобывающего предприятия.

В диссертации подробно рассмотрены горно-геологические условия, влияющие на себестоимость добычи угля: пространственно-морфологические, объемно-качественные, гидрогеологические и инженерно-геологические. Проанализированы задачи, связанные с оптимальной отработкой шахтных полей на основе конкурентной способности углей, решаемые на

угледобывающем предприятии. Исследована необходимая для их решения горно-геологическая информация, собираемая по разнородным горно-геологическим объектам и горно-геологическим проявлениям (капеж, выбросы газа, наледи, пучения и т. д.).

На основе проведенного исследования установлено: горно-геологическая информация характеризуется большой степенью разнородности и вместе с тем взаимоувязана; определения понятий, используемых в горном деле, нечеткие, многозначные и иногда даже противоречивые; отсутствуют методы создания описаний элементов реальной системы в виде некоторых информационных представлений (образов).

Следовательно, необходимо создать метод, описывающий реальные системы и объекты с помощью образов, которые состоят из различных, но формально одинаково устроенных информационных представлений. Анализ показал, что для этого требуется выявить свойства и особенности, связанные с горно-геологическими объектами, понятиями и процессами и создать структуру информационных описаний для их адекватного представления.

Кроме того, для выбора наилучшего информационного представления информационно-аналитической системы необходимо создать методы, позволяющие сравнивать полученные представления между собой. Для этого требуется разработать оценки, характеризующие свойства информационных образов и информационно-аналитических систем с точки зрения эффективного использования организации информационного представления.

Для того чтобы обеспечить надежную работу информационно-аналитической системы оптимальной отработки шахтных полей и месторождений с учетом конкурентной способности углей и избежать дезорганизационных явлений во время эксплуатации, необходимо оценить возможность и выявить условия возникновения хаотических явлений.

Во второй главе рассмотрены вопросы построения горно-геологических информационно-аналитических систем, которые представляют собой классический пример плохо определяемых (описываемых) систем. В главе проанализировано влияние информационной составляющей на построение системы. Определены особенности и закономерности, возникающие при описании сложных природно-техногенных систем.

Создана теория представления горно-геологических объектов в виде *номинальных объектов и систем*. Проведенный теоретико-информационный

анализ горно-геологической информации позволил выявить особенности информационного представления горно-геологических понятий, объектов и процессов, протекающих на угледобывающем предприятии, на основании которых были определены основные теоретические понятия реальной и *номинальной систем*, реального и *номинального объектов*. Разработан механизм описания горно-геологической информации. Определен перечень типовых свойств, описываемых унарными отношениями и перечень связей, описываемых бинарными отношениями, присущих *номинальным объектам*. На основании полученного перечня построена схема *номинального объекта*. Эта схема позволяет создавать информационные образы, описывающие горно-геологические понятия, объекты и процессы различной сложности, устроенные по единому принципу. Данная схема дает возможность информационным образам эволюционировать не только на стадии разработки информационно-аналитической системы, но и на стадии её эксплуатации. Таким образом, совершенствование организации *номинальной системы* выполняется с помощью механизма *номинального объекта*. На основе теоретико-множественного подхода введена система аксиом, описывающая соотношения, существующие между *номинальными объектами* и понятиями, включенными в описание *номинальных объектов*, их свойствами и связями.

Трудность в построении информационно-аналитических систем на этапе формализации заключается в нахождении информационных образов, описывающих реальные объекты системы. Такими образами в разработанной теории выступают *номинальные объекты*, представляющие собой результат процесса формализации реально существующих объектов. В пределах одной *номинальной системы* они имеют различную степень сложности. *Простым номинальным объектом* называется такой *номинальный объект*, у которого множество всех внутренних связей, пустое - $I_{int} = \emptyset$. Под степенью сложности организации информации (структуры) *номинального объекта* понимается число внутренних связей. Другими словами, степень сложности структуры *номинального объекта* есть мощность множества его внутренних связей - $m_{int} = |I_{int}|$. Под степенью сложности глобальной информационной структуры *номинального объекта* понимается число связей, присутствующих во всех структурах *номинальных объектов*, входящих в рассматриваемый. То есть глобальная сложность структуры *номинального объекта* равна сумме

степени сложности структур *номинальных объектов*, входящих в рассматриваемый - $M_{Int\ i} = \sum m_{Int\ j}$. Здесь j идентификатор *номинального объекта*, который является элементом множества, полученного в результате рекуррентного объединения множеств информационных структур $(I_{Int\ i} \{I_{Int\ k}, I_{Int\ l} \dots\} \cup I_{Int\ k} \{I_{Int\ \alpha}, I_{Int\ \beta} \dots\} \cup \dots \cup I_{Int\ \alpha} \dots)$.

Сложность структуры объекта сопоставима с объемом информации, обеспечивающей связи внутри этого объекта и характеризует организацию информации об объекте и системе в целом. Интуитивное понимание того, что чем больше *номинальных объектов* входит в описание рассматриваемого *номинального объекта*, тем он сложнее характеризуется локальной m_{int} , а для объектов, обладающих вложенностью, глобальной M_{Int} метриками.

В диссертации получено оптимальное ранговое распределение *номинальных объектов* в *номинальной системе* по группам сложности. Такие распределения, близкие к зависимости $n_i i^\gamma = c$ (здесь n_i - численность i -й группы; c - постоянная; γ - параметр, близкий к 1), исследовали Дж. Ципф, Б.Мандельброт, Ю. А. Шрейдер, А. А. Шаров. Построение *номинальной системы* представляет собой искусственный процесс, и поэтому закономерности, наблюдаемые в ранговом распределении *номинальных объектов* иные и носят более общий характер.

Теоретическое ранговое распределение *номинальных объектов* по группам сложности в диссертации ищется из условия минимизации энтропии системы, т.е. обращения в минимум логарифма произведения числа разбиения f и коразбиения g *номинальных объектов* по группам сложности: $S = \ln(f^\alpha g^\beta)$, где α и β - фиксированные параметры. При этом количество *номинальных объектов* по всем группам сложности совпадает с общим числом N *номинальных объектов* в системе. Логарифмирование произведения $f^\alpha g^\beta$ с учетом полной формулы Стирлинга приводит к изопериметрической вариационной задаче нахождения минимума функционала:

$$\ln S = \int_{x_1}^{x_k} \left\{ \alpha \left[\frac{\ln(2\pi) + \ln y}{2} + y \ln y - y + \frac{1}{12y} \right] - \beta y' \left[\frac{\ln(2\pi) + \ln x}{2} + x \ln x - x + \frac{1}{12x} \right] \right\} dx,$$

при ограничении $N = \int_{x_1}^{x_k} y dx$. Зависимость численности группы y от её ранга x

определяется решением уравнения Эйлера:

$$y^\alpha x^\beta = y_s^\alpha e^{\frac{\alpha(y-y_s)}{2yy_s}} e^{\beta \frac{x-1}{2x}} e^{\frac{1-x^2}{12x^2}} e^{\frac{y_s^2-y^2}{12y^2y_s^2}} \quad (1)$$

Константа интегрирования найдена из начального условия $y(x_1) = y_s$. Таким образом, получено оптимальное распределение *номинальных объектов* по группам сложности (по типам) в системе.

Полученный результат уменьшает ошибку в определении функции плотности распределения, по сравнению с известным решением [Шрейдер Ю. А., Шаров А. А. Системы и модели. – М.: Радио и связь, 1982], на семьдесят процентов за счет использования полной формулы Стирлинга ($n! = \sqrt{2\pi n} n^n e^{-n} e^{\Theta(n)}$, где $|\Theta(n)| < \frac{1}{12n}$).

Зависимость оптимального числа типов объектов x_k в системе от их общего количества (рис. 1) найдена численными методами (рассмотрен случай $\alpha = \beta = 1$): искались корни уравнения (1) для различных значений x и y_s ; полученные значения численно были проинтегрированы на фазовом пространстве x и y_s ; x_k выбиралось из условия минимизации энтропии.

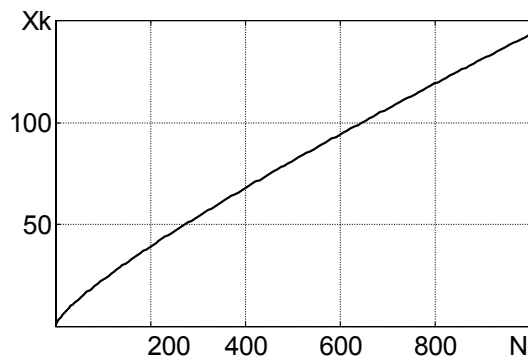


Рис. 1.

Зависимость числа типов номинальных объектов от их общего числа в системе

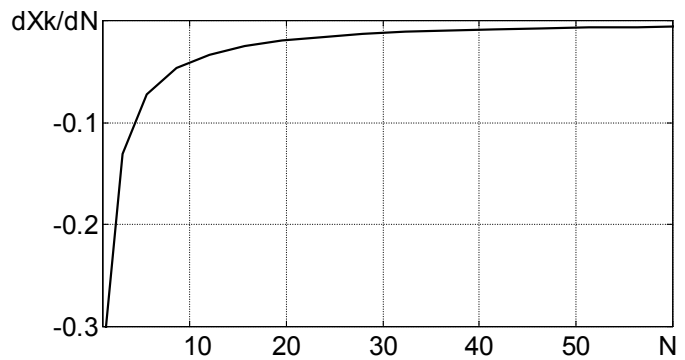


Рис. 2.

Скорость изменения числа типов номинальных объектов от их общего числа в системе

Установлена фундаментальная закономерность - *число типов номинальных объектов растет по мере увеличения объемов обрабатываемой номинальной системой информации. С целью сохранения оптимального соотношения номинальных объектов в номинальной системе с ростом объемов*

обрабатываемой информации необходимо увеличение разновидностей объектов. Другими словами, чтобы уменьшить энтропию информационного представления в системе, требуется усовершенствовать её организацию. Рост разнообразия *номинальных объектов* с увеличением их числа в *номинальной системе* стабилизируется - $\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{dx_k}{dN} = 0$ (рис. 2).

В диссертационной работе введены понятия:

- размер *номинального объекта* - количество информации, необходимое для представления (описания) объекта в *номинальной системе*;
- размер *номинальной системы*:

$$N_{NS} = \sum_{no} N_{Obr} = \sum_{\xi}^{n\tau} def^{\xi} + no + \sum_{\varsigma}^{no} I_{Q}^{\varsigma} + \sum_{\varsigma}^{no} I_{Int}^{\varsigma} + \sum_{\varsigma}^{no} I_{\epsilon}^{\varsigma} + \sum_{\varsigma}^{no} I_{T}^{\varsigma},$$

где $n\tau$ - число типов образов *номинальных объектов*, используемых в рассматриваемой *номинальной системе*;

no - число *номинальных объектов* в *номинальной системе*;

$\sum_{\xi}^{n\tau} def^{\xi}$ - размер определений всех *номинальных объектов*;

$\sum_{\varsigma}^{no} I_{Q}^{\varsigma}$ - размер *номинальной системы*, описывающий её свойства;

$\sum_{\varsigma}^{no} I_{Int}^{\varsigma}$ - размер *номинальной системы*, характеризующий её организацию;

$\sum_{\varsigma}^{no} I_{\epsilon}^{\varsigma}$ - размер *номинальной системы*, характеризующий внешние связи объектов;

$\sum_{\varsigma}^{no} I_{T}^{\varsigma}$ - размер *номинальной системы*, определяющий её различные состояния.

Общий размер *номинальной системы* складывается из объема определений *номинальных объектов* ($\sum_{\xi}^{n\tau} def^{\xi}$), являющегося служебной информацией, и объема информационной составляющей, описывающей особенности реальной системы - $N_{NS} = N_{def} + N_I$. Доля дефиниций $N_{def} = \sum d_i$ в *номинальных*

системах крайне мала по сравнению с объемом информации, обрабатываемой системой. Кроме того, часто составляющая N_{def} непосредственно не представлена в информационно-аналитической системе, а присутствует только в документации и в описании. Поэтому интерес представляет рассмотрение составляющей, характеризующей объем информации, зависящий непосредственно от той или иной формализации реальной системы. В диссертации проанализированы вопросы, связанные с влиянием организации *номинальных объектов* на эффективность представления информации в информационно-аналитических системах.

Проанализированы различные формализации $F = \{F^1, \dots, F^n\}$, выполненные для одной и той же реальной системы RS . Из всего множества *номинальных систем* $NS = \{NS^1, \dots, NS^n\}$, полученных в ходе этих формализаций, рассмотрение ограничивается классом строго формализованных *номинальных систем* $NSS \subseteq NS$, т.е. *номинальных систем* $\forall NS^i \in NSS$, для которых справедливо условие $\forall def^i (def^i \in NS, def^j \in NS, i \neq j | def^i \cap def^j = \emptyset)$. Для сравнения *номинальных систем* необходимо, чтобы дефиниции d , используемые при определении *номинальных объектов* в этих системах, совпадали $\forall d_\alpha^i (d_\alpha^i \in NS^i) (\exists d_\beta^j (d_\beta^j \in NS^j) | d_\alpha^i = d_\beta^j)$. При этом определения самих *номинальных объектов* в разных *номинальных системах* совпадать не должны $\exists def_\alpha (def_\alpha \in NS^i) (def_\alpha \neq def_\beta (def_\beta \in NS^j))$. О существовании таких *номинальных систем* говорит сформулированная и доказанная теорема.

Теорема 1. Существует, по меньшей мере, две (NS^i и NS^j) строго формализованные *номинальные системы*, для которых выполняются следующие условия:

1. Суммарные области определения *номинальных объектов* этих двух *номинальных систем* полностью совпадают.

2. Типы *номинальных объектов* *номинальной системы* NS^i не совпадают с типами *номинальных объектов* *номинальной системы* NS^j .

Для примера рассмотрены две *номинальные системы* Ω и Ξ , определенные на одном множестве дефиниций, которые описывают последовательно идущие друг за другом *номинальные объекты* с общей границей между соседними объектами. К таким системам относятся горно-геологические системы, описывающие линии геологических наблюдений,

разведочные скважины, геологическую толщу и т.д. Эти *номинальные системы* отвечают следующим условиям:

- в *номинальной системе* Ω существует объект одного типа;
- в *номинальной системе* Ξ существуют объекты двух типов;
- определения *номинальных объектов* def_{Ω}^1 , def_{Ξ}^1 и def_{Ξ}^2 в *номинальных системах* Ω и Ξ связаны между собой соотношением:

$$def_{\Omega}^1 = def_{\Xi}^1 \cup def_{\Xi}^2 \quad (2).$$

Другими словами, *номинальная система* Ξ , с точки зрения организации информации, принципиально отличается от *номинальной системы* Ω тем, что, во-первых, в *номинальной системе* Ξ используются более простые *номинальные объекты*, чем в *номинальной системе* Ω . И, во-вторых, для обеспечения взаимодействия разнотипных объектов между собой в *номинальной системе* Ξ используются связи. В общем *номинальная система* Ξ имеет более сложную организацию, чем *номинальная система* Ω .

Теорема 2. Если в *номинальной системе* существует *номинальный объект*, в определении которого выполняется условие $def = def_1 \cup def_2$ и при этом в описании рассматриваемого объекта одно из определений def_1 или def_2 встречается несколько раз, то замена *номинального объекта* с определением def на два *номинальных объекта* с определениями def_1 и def_2 уменьшает энтропию информационного представления.

В рассматриваемом случае не применимы ни вероятностные оценки (организационная структура системы детерминирована), ни оценки, базирующиеся на теории графов (в *номинальной системе* Ω граф отсутствует), ни показатель сложности системы (не определен «относительный коэффициент сложности связей»). Поэтому для сравнения *номинальных систем* между собой введено новое понятие - «коэффициент эффективности организации». Коэффициентом эффективности организации (β) в *номинальной системе* Ξ на множестве *номинальных объектов* def_{Ξ}^1 и def_{Ξ}^2 по сравнению с *номинальной системой* Ω на множестве *номинальных объектов* def_{Ω}^1 , связанных условием $def_{\Omega}^1 = def_{\Xi}^1 \cup def_{\Xi}^2$, является частное от деления объема информационной составляющей *номинальной системы* Ω на объем информационной составляющей *номинальной системы* Ξ .

Для случая, когда число *номинальных объектов*, описывающих каждую границу одинаковое, получена формула

$$\beta = \frac{k(\alpha + \delta(k))nm}{\alpha n(m+1) + mk},$$

где k - число составных элементов в *номинальном объекте* с определением def_{Ξ}^1 ;

α - определяет значение признака представляемости свойства;

$$\delta(k) = \begin{cases} 0 & \text{при } k = 1 \\ 1 & \text{при } k > 1 \end{cases};$$

n - число элементов для описания границы;

m - число объектов типа def_{Ω}^1 и def_{Ξ}^1 соответственно.

Коэффициент эффективности организации определяет величину уменьшения энтропии в *номинальной системе* при усложнении организации - $\Delta S = \ln \beta$ и характеризует степень уменьшения неорганизованности в системе.

При значениях переменной $k = 1$ *коэффициент эффективности организации* β в *номинальной системе* всегда меньше единицы. То есть усложнение организации *номинальных объектов* с дефинициями, в которых отсутствует повторяемость, ведет только к увеличению размера *номинальной системы*. Таким образом, усложнение организации в *номинальной системе* имеет смысл только при $k > 1$. Частные производные по переменным k , m и n

коэффициента эффективности организации: $\frac{\partial \beta}{\partial k} = \frac{\alpha(\alpha + \delta(k))n^2 m(m+1)}{[\alpha n(m+1) + mk]^2} > 0$,

$\frac{\partial \beta}{\partial m} = \frac{\alpha(\alpha + \delta(k))kn^2}{[\alpha n(m+1) + mk]^2} > 0$ и $\frac{\partial \beta}{\partial n} = \frac{(\alpha + \delta(k))k^2 m^2}{[\alpha n(m+1) + mk]^2} > 0$ характеризуют его

поведение. С ростом k , m и n значение *коэффициента эффективности организации* в *номинальной системе* Ξ по сравнению с *номинальной системой* Ω всегда увеличивается, т.е. совершенствование организации ведет к уменьшению энтропии в системе. Параметр α определяется особенностью реальной системы и для различных её формализаций не меняется.

С увеличением числа *номинальных объектов* def_{Ω}^1 ($m \rightarrow \infty$) или числа элементов границы ($n \rightarrow \infty$), или обоих вместе ($m \rightarrow \infty$ и $n \rightarrow \infty$) *коэффициент эффективности организации* в системе стремится к значению:

$\frac{k(\alpha + \delta(k))}{\alpha}$. В этом случае коэффициент эффективности организации в системе заведомо больше двух ($\inf_{\alpha \rightarrow \infty} \beta = 2$) и энтропия, характеризующая неорганизованность в системе при переходе от номинальной системы Ω к номинальной системе Ξ , уменьшится на величину $\Delta S = \ln_2 \beta \geq 1$.

В общем случае, когда число номинальных объектов для каждой границы различно, коэффициент эффективности организации равен:

$$\beta = \frac{N_{\Omega}}{N_{\Xi}} = \frac{(\alpha + \delta(k)) \sum_{j=1}^m \sum_j^{j+k-1} n_i}{\alpha \sum_1^{m+1} n_i + mk}.$$

При выполнении соотношения (2) для нескольких типов номинальных объектов системы Ξ находятся коэффициенты эффективности организации для каждого типа номинальных объектов. Синтез значений коэффициентов эффективности организации для всей номинальной системы выполняется по формуле - $\beta = 1 / \sum_n \frac{\delta_i}{\beta_i}$.

Информационная структура номинального объекта и номинальной системы в целом представляется в виде фрактального образования. На основе дробной размерности Хаусдорфа – Безиковича введена метрика, позволяющая оценить свойства, характеризующие распределение информации по уровням иерархии в номинальной системе, что особенно важно в распределенных информационно-аналитических системах оптимальной отработки шахтных полей и месторождений. Для нахождения метрики в нерегулярных фрактально подобных структурах получена формула:

$$D = \frac{\sum (m_i \ln k_i)}{\sum (m_i \ln l_i)},$$

где $\sum m_i$ - число различных структур;

k_i - количество элементов в i -й структуре;

m_i - количество повторений в i -й структуре;

l_i - размер элементов в i -й структуре.

Условия надежной работы информационно-аналитических систем найдены в ходе математического моделирования. Рассмотрены модели типа $x_{n+1} = r_k x_n (1 - x_n)^p$, $0 < p < 1$ и типа $x_{n+1} = r_k x_n (1 - x_n^p)$, $p > 0$, наиболее адекватно описывающие процессы, возникающие при параллельных вычислениях. Определены границы областей возможного возникновения хаотических явлений в результате удвоения периода из отрицательности производной Шварца (необходимое условие). Численными методами найдены параметры области хаоса в ходе построения бифуркационных диаграмм (достаточное условие). При построении диаграмм, отображающих зависимость динамики процесса от параметра r , за начало фрактального процесса принимались значения r_1 и x , при которых $F(x) = x$ (стационарная точка) и $dF/dx = -1$ (момент потери устойчивости). В ходе наращивания значения r улавливается момент удвоения периода колебаний. Во время вычислений производится постоянный контроль за предельными точками процесса с помощью адаптируемого допустимого диапазона на величину x_{n+1} . Размеры областей с хаосом в зависимости от параметра p в логарифмических координатах являются прямыми, наклон которых определяет дробную размерность фрактального процесса изменения параметра p модели.

Организация *номинальных объектов* и *номинальных систем* в целом отображается в базе данных с помощью таблиц. Это позволяет гибко и оперативно изменять организацию информационных образов и *номинальной системы* в целом. Однако в этом случае уже не удастся сформулировать запрос на поиск информации, потому что неизвестны изначально все объекты, которые необходимо просмотреть. Список таких объектов определяется только в ходе выполнения запроса. Поэтому для работы с такими базами данных требуется разработать специальный алгоритм, осуществляющий процедуру иерархического поиска информации.

Традиционный алгоритм поиска информации является рекурсивным. Надежность работы такого алгоритма из-за того, что процесс поиска выполняется одной программой, не велика. При аварийном завершении процесс поиска прекращается и возникает отказ в работе информационно-аналитической системы. Для поиска причин отказа и локализации его влияния на всю информационно-аналитическую систему требуется вмешательство специалиста.

В связи с этим в диссертации разработан новый алгоритм поиска информации, использующий принцип распараллеливания вычислений. Начальное условие – объект, по которому ищется информация, определяется извне и передается как входной параметр. Далее производится выбор искомой информации в рассматриваемом объекте и списка подчиненных объектов (входящих в рассматриваемый). Затем программа, реализующая данный алгоритм, запускает (если список подчиненных объектов не пуст) на выполнение собственную копию для всех подчиненных объектов и на этом завершает работу.

Предложенный алгоритм реализует все преимущества параллельной обработки информации – быстрдействие, устойчивость (при аварийном завершении одной или нескольких копий программы процесс обработки информации не прерывается) и т. д., по сравнению с традиционным. Это очень важно при работе на распределенных базах данных, где вероятность отказов велика. В этом случае происходит фрактально подобный процесс, в котором осуществляется поиск информации на пространстве иерархических структур. Разработанный алгоритм позволяет получать промежуточную информацию об объекте, не ожидая полного окончания выполнения запроса.

Третья глава посвящена анализу математических моделей, необходимых для построения информационно-аналитических систем оптимальной отработки шахтных полей и месторождений.

На сегодняшний день нет методов по определению списка математических моделей, которые необходимо использовать в информационно-аналитических системах определения перспектив отработки угольных пластов, месторождений и информационно-аналитических систем подготовки, обеспечения и выполнения проектов очистных работ. Для оценки запасов и для построения морфологии пласта и геологических слоев разработано большое число математических моделей, которые чаще всего решают одни те же горно-геологические задачи, используют одни и те же данные, но различаются только методами их решений. Кроме того, существующие модели не учитывают ряд важных свойств горно-геологических объектов, которые наблюдаются и изучаются во время разработки угольных месторождений. Некоторые наблюдаемые горно-геологические условия и обстоятельства не рассматривались, и математические модели соответствующие им не разработаны. Так, например, из анализа существующих на сегодняшний день

моделей построения геологических поверхностей (табл.1) следует, что все они используют координаты подсечек и отличаются друг от друга только математическим методом. Наблюдаемые элементы залегания геологического слоя - азимут и угол падения не учитываются ни одной моделью. Поэтому на основе системного подхода был сформулирован *принцип дополнительности* моделей *номинальных систем*, из которого следует, что для информационно-аналитических систем необходимо использовать несколько моделей, описывающих *номинальный объект*, дополняющих друг друга полнотой учета свойств этого объекта.

Таблица 1.

Модели построения геологической поверхности

Входные данные	Оценка модели	Комментарий	Математические модели
X, Y, Z	83%	Построение поверхности только по отметкам	Линейная триангуляция, кригинг, сплайнинтерполяция, метод Шепарда, ближайшего соседа и т.д.
X, Y, Z, азимут падения слоя	88%	В геологии не встречается	Моделей нет
X, Y, Z, угол падения слоя	88%	<i>Подсечки. Углы падения слоя по скважинам</i>	Моделей нет
X, Y, Z, азимут и угол падения слоя	100%	<i>Построение поверхности по данным эксплуат. разведки</i>	Моделей нет

В диссертации введено понятие «*определенности*» свойств модели. Под *определенностью* некоторого свойства для рассматриваемой модели понимается учет этого свойства в данной модели. Мерой оценки *определенности* свойств модели горно-геологического объекта является модуль вектора в n - мерном пространстве свойств этого объекта.

Разработана методика вычисления степени *определенности* моделей системы, на основании которой создан морфологический метод определения необходимых моделей, описывающих поведение различных *номинальных объектов* системы. С помощью морфологического анализа строится полный список математических моделей необходимых для эффективного

функционирования информационно-аналитических систем определения перспектив отработки угольных пластов, месторождений и информационно-аналитических систем подготовки, обеспечения и выполнения проектов очистных работ. Далее вычисляется функция *определенности* свойств рассматриваемого *номинального объекта*. Строится диаграмма оценок в ортонормированном многомерном пространстве этих свойств.

Задаваясь допустимым значением *определенности* свойств моделей, определяется сегмент, ограничивающий необходимые модели в n - мерном пространстве свойств. Их число определяется формулой:

$$N = \prod (\delta_{Si} + 1) \left(1 - \frac{\Omega - 2 \sum C_i}{2^n \prod \delta_{Si}} \right) + n,$$

где Ω - число вариантов моделей в объеме n -мерного шара;

C_i - число вариантов моделей в объеме сегмента n -мерного шара;

$$\delta_{Si} \langle \text{или} - \delta_{Si}^j \rangle = \begin{cases} 0; \\ 1; \end{cases} \quad \delta_{Si} = \sum_j \delta_{Si}^j - \text{определенности свойств.}$$

Далее определяется список математических моделей, необходимых для информационно-аналитических систем определения перспектив отработки угольных пластов, месторождений и информационно-аналитических систем подготовки, обеспечения и выполнения проектов очистных работ. В дальнейшем производится анализ полученного списка на существование тех или иных моделей. При отсутствии моделей производится их разработка.

Установлено, что для эффективного функционирования информационно-аналитической системы оптимальной отработки шахтных полей и месторождений полный список моделей состоит из моделей:

- по расчету координат в горных выработках (теодолитные хода, нивелировка, тахеометрические съемки, инклинометрия скважины);
- увязки геологических слоев по данным наблюдений;
- построения геологических поверхностей;
- представления показателей качества угля и т.д.

На основании полученного списка определены математические модели, требующие новой разработки. Так, например, для детальной оценки запасов отсутствуют математические модели:

- пространственного представления концентрации полезных и вредных компонентов в угле, которая учитывает их природные особенности распределения;
- расчета геометрии разведочной скважины инвариантная к видам замеров инклинометрии;
- зонирования площади угольного пласта с учетом оценок качества и конкурентной способности углей.

На сегодня качественные характеристики углей представляются топографическими поверхностями, которые по определению, данному П. К. Соболевским, обладают свойствами конечности, однозначности, непрерывности и плавности. Это не позволяет учесть природные особенности распределения физико-химических свойств полезного ископаемого, которое в действительности не является гладким. Поэтому необходимо выйти за рамки классического определения топографической поверхности, и создать математическую модель, описывающую пространственное распределение показателей качества угля, не обладающее условием плавности.

При расчете геометрии скважины по данным инклинометрии на сегодняшний день считается, что данные замера искривления оси скважины распространяются до следующей точки проведения замера. Существуют модификации метода, которые используют на отрезке между замерами осредненные значения, что принципиально не меняет картины. Ось скважины, во всех описанных случаях, получается изломанной, а в действительности это не наблюдается. Искривление оси разведочной скважины происходит постепенно и без скачков. Соответственно координаты точек подсечек слоев и пластов, полученные по традиционным методам, содержат ошибку, которая присутствует в оценке запасов и в проекте их выемки.

Выявлено, что для определения локальной морфологии и горно-геологических условий залегания пласта отсутствуют математические модели:

- идентификации геологических отложений по наблюдениям, произведенным в горных выработках и разведочных скважинах;
- построения геометрии геологической поверхности слоя с учетом элементов его залегания, т.е. азимута и угла падения, измерение которых производится в горных выработках при подготовке запасов угля к выемке.

Четвертая глава посвящена разработке отсутствующих на данный момент математических моделей, необходимых для функционирования

информационно-аналитических систем определения перспектив отработки угольных пластов, месторождений и информационно-аналитических систем подготовки, обеспечения и выполнения проектов очистных работ.

Математические модели, необходимые для определения перспектив отработки угольных пластов шахт и разрезов.

Математическая модель расчета координат подсечек слоев в разведочной скважине позволяет представлять геометрию скважины в виде гладкой непрерывной кривой с линейной зависимостью угла и азимута искривления внутри интервалов замеров от глубины скважины.

В этом случае проекции на координатные оси рассчитываются по формулам:

$$\Delta h = -\frac{\Delta l(\sin \alpha_{n+1} - \sin \alpha_n)}{\Delta \alpha},$$

$$\Delta x = -\frac{\Delta l(\cos(\alpha_{n+1} + \beta_{n+1}) - \cos(\alpha_n + \beta_n))}{2(\Delta \alpha + \Delta \beta)} - \frac{\Delta l(\cos(\alpha_{n+1} - \beta_{n+1}) - \cos(\alpha_n - \beta_n))}{2(\Delta \alpha - \Delta \beta)}$$

$$\Delta y = -\frac{\Delta l(\sin(\alpha_{n+1} + \beta_{n+1}) - \sin(\alpha_n + \beta_n))}{2(\Delta \alpha + \Delta \beta)} + \frac{\Delta l(\sin(\alpha_{n+1} - \beta_{n+1}) - \sin(\alpha_n - \beta_n))}{2(\Delta \alpha - \Delta \beta)}.$$

Математическая модель представления полей геологических показателей фрактальными поверхностями. Профессор П. К. Соболевский определил топографическую поверхность как поверхность, которая обладает четырьмя условиями: конечности, однозначности, непрерывности и плавности. Обычно построение топографических поверхностей включает в себя статистическую обработку данных наблюдений, так называемое сглаживание данных с помощью статистического окна. Однако в ходе такой обработки геологические данные усредняются, и получаемая топографическая поверхность за счет погрешности метода не адекватна реальному полю распределения физико-химических свойств полезного ископаемого. Так даже в точках проведения измерений значения топографической поверхности не будут совпадать с данными наблюдений.

Для представления поверхности без погрешности обработки используют триангуляцию на хаотической сетке. В случае, когда сетка неравномерна (размеры симплексов существенно разнятся), наблюдаются аномальные явления. Так, например, в местах, где произведена детальная разведка, наблюдается хаотическая картина пространственного изменения показателя, а в местах, где условия залегания полезного ископаемого изучены недостаточно, геологический

показатель выдержан и меняется плавно. В диссертации разработана модель представления геологических поверхностей фрактальными полями, в которой получаемые поверхности не обладают условием гладкости в отличие от топографических.

Построение фрактальной поверхности производится на основе двумерного броуновского движения с параметром H ($0 < H < 1$), обладающего свойствами: функция $Z(x, y)$ почти всегда непрерывна, $Z(0,0) = 0$, распределение случайной величины $\Delta Z = Z(x + \Delta x, y + \Delta y) - Z(x, y)$ задается функцией $P(\Delta Z < s) = f(s)$. Например, если случайная величина распределена по нормальному закону с математическим ожиданием 0 и дисперсией

$$\sigma^2 \left(\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \right)^{2H}, \text{ то } f(s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma(\Delta x^2 + \Delta y^2)^{2H}}} \int_{-\infty}^s \exp\left(-\frac{u^2}{2\sigma^2(\Delta x^2 + \Delta y^2)^{2H}} \right) du.$$

Для вычисления фрактальной броуновской поверхности используется метод срединного смещения. Точкой срединного смещения является середина стороны триангуляционного треугольника. Аппликата на k -ом шаге вычисляется как среднее значение аппликат двух соседних точек, измененная

на величину, $\frac{\sigma g \sqrt{1 - 2^{2H-2}}}{2^{kH}}$. Здесь g - нормальная случайная величина с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1. Получаемая броуновская поверхность имеет размерность $d = 3 - H$. При $H = 1/2$ приходим к классическому двумерному броуновскому движению. Смоделированная в этом случае геологическая поверхность имеет дробную размерность $d = 2,5$.

Разработанная математическая модель фрактального представления геофизических и геохимических полей расширяет классическое определение топографической поверхности, так как позволяет отказаться от условия плавности.

Математическая модель зонирования площади угольного пласта определяет на каждом шахтопласте однородные по качественным и горно-геологическим условиям зоны (блоки). По построенным полям качественных показателей угля определяется потребительская ценность (оптовая цена) угля. На основе рассчитанных геологических поверхностей кровли и почвы пласта вычисляются запасы. С учетом морфологии пласта, тектонических нарушений и технологии выемки определяются границы однородных блоков. Рассчитывается себестоимость добываемого угля и

определяется экономическая эффективность запасов, и, как следствие, конкурентная способность планируемого к добыче угля.

Математические модели, необходимые для определения локальных горно-геологических условий залегания пласта.

Математическая модель идентификации геологических отложений по наблюдениям, произведенным в горных выработках и разведочных скважинах. При выполнении проекта очистных работ необходимо знать свойства не только угольного пласта, но и свойства выше- и нижележащих породных слоев на всем пространстве выемочного участка, такие, как крепость, трещиноватость, устойчивость, обрушаемость и т.д. Для этого требуется построить модель геологической толщи выемочного участка, при этом работы по созданию такой модели не автоматизированы.

В ходе проведения геологических наблюдений производится документирование свойств геологических отложений: литологии, мощности, элементов залегания, отметки почвы, цвета слоя, структуры, текстуры, изломов, минералогического состава и т.д. Эти данные от точки к точке геологических наблюдений отличаются друг от друга. Вариации таких изменений для участков шахтного поля, месторождений и угольных бассейнов различны. Кроме этого у слоев наблюдаются явления выклинивания и расщепления. Особенно осложняют общую морфологию недр тектонические нарушения.

В диссертации на основе методов нечетких множеств и с помощью математического аппарата нейронных сетей разработана математическая модель идентификации геологических отложений по данным наблюдений, произведенных в горных выработках и разведочных скважинах. Эта модель последовательно выявляет наиболее прослеживаемые слои, а затем между ними все остальные, с учетом согласности залегания, определяет границы выклинивания, вычисляет степень достоверности увязки для каждого геологического слоя.

Математическая модель построения геологических поверхностей с учетом их элементов залегания. Исходными данными для триангуляции является массив точек подсечек слоя с координатами x , y , z . Криволинейная или нелинейная триангуляция топологического пространства представляется в виде пары: симплексного комплекса и гомеоморфизма (K, f) . На одном и том же симплексном комплексе с помощью за-

мены линейной функции зависимости аппликаты $z = ax + by + c$ от координат точки на нелинейную $z = z(x, y)$, можно исключить погрешность метода прямолинейной триангуляции и, следовательно, повысить достоверность вычисления координаты z точки и результаты всех последующих расчетов (построения изолиний, сечений, объемов и т.д.).

Граничные условия в вершинах треугольника заданы значениями аппликат отметок, углов и азимутов падения. Характерная особенность задачи в том, что граничные условия известны не по всей границе области, а только лишь в вершинах треугольника. Предполагается, что функция $z(x, y)$, моделирующая геологическую поверхность, четырежды дифференцируема по переменным (координатам) x и y . Градиент с помощью элементов залегания слоя вычисляется по формуле $\nabla z = tg(U)[\cos(A)\vec{i} + \sin(A)\vec{j}]$.

Функция ищется в классе функций, имеющих близость порядка больше, чем второго. Минимизируется скорость изменения градиента поверхности $\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + 2\frac{\partial^2 z}{\partial x\partial y} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2}$ на всей области определения. Задача сводится к вариационной задаче нахождения экстремума функционала:

$$\iint_D \left(\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + 2\frac{\partial^2 z}{\partial x\partial y} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} \right)^2 dx dy.$$

Функция, реализующая экстремум рассматриваемого функционала, должна удовлетворять уравнению Эйлера – Пуассона, которое в данном случае принимает вид однородного дифференциального уравнения в частных производных четвертого порядка: $\frac{\partial^4 z}{\partial x^4} + 2\frac{\partial^4 z}{\partial x^2\partial y^2} + \frac{\partial^4 z}{\partial y^4} = 0$ ($\Delta\Delta z = 0$).

Таким образом, нахождение функции $z(x, y)$ сводится к решению однородного бигармонического уравнения с заданными краевыми условиями. К аналогичному уравнению сводятся задачи изгиба тонких пластинок. Следовательно, физической сутью решения является форма поверхности, смоделированная упругой пластинкой, подверженной действию распределенной нормальной нагрузки. Задача нахождения решения бигармонического уравнения в явном виде не тривиальна. Известны её решения для некоторого вида областей, которые сводятся к интегралу Пуассона. В

рассматриваемом случае взято частное решение в виде полинома третьей степени $z = \sum_{i=1}^{i=10} a_i x^\xi y^\zeta$, где $\xi + \zeta < 4$.

Коэффициенты полинома находятся из граничных условий в вершинах. Для этого используется система из девяти уравнений трех видов.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^{i=3} a_i x_1^{4-i} + \sum_{i=4}^{i=6} a_i y_1^{7-i} + x_1 y_1 (a_7 x_1 + a_8 y_1) + a_{10} - z_1 = 0, \\ \dots\dots\dots \\ \arctg \left(\frac{\partial z}{\partial y} \Big|_{x=x_1, y=y_1} / \frac{\partial z}{\partial x} \Big|_{x=x_1, y=y_1} \right) + A_1 = 0, \\ \dots\dots\dots \\ \left[\frac{\partial z}{\partial x} \Big|_{x=x_1, y=y_1} \right]^2 + \left[\frac{\partial z}{\partial y} \Big|_{x=x_1, y=y_1} \right]^2 - tg^2 U_1 = 0. \end{array} \right.$$

Недостающим условием для нахождения коэффициентов полинома является требование непрерывности функции на границах симплексов. То есть условие, обеспечивающее «сшивку» поверхностей по границам триангуляционных треугольников.

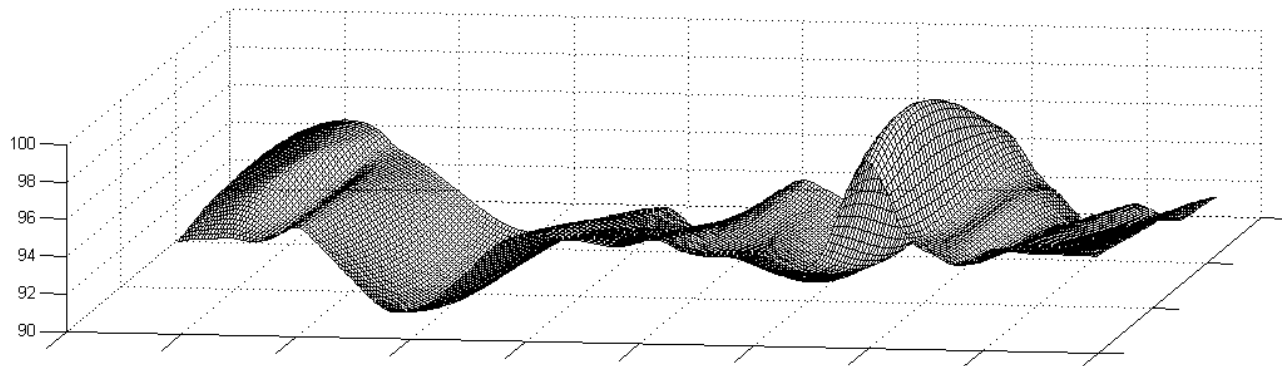


Рис. 3.

Нелинейная триангуляция поверхности почвы пласта лавы № 6 ш. Бельцевская (вертикальный масштаб увеличен).

На базе разработанной математической модели создан алгоритм построения нелинейной триангуляционной поверхности, обеспечивающий автоматическую «сшивку» поверхности вдоль границ симплексов. Пример построения нелинейной геологической поверхности подошвы пласта представлен на рис. 3 и 4.

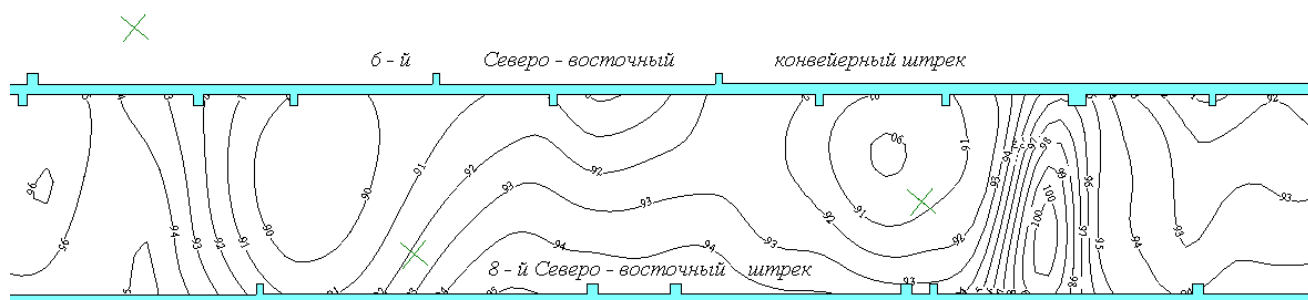


Рис. 4

План в изогипсах поверхности почвы пласта лавы № 6 ш. Бельцевская.

Математические модели определения оценки построенных геологических поверхностей. При геометризации месторождений возникают вопросы оценки близости смоделированной и действительной поверхностей, ранжировки моделей между собой по точности (качеству) построения поверхности. Часто встает вопрос, как определить величину влияния новых данных, полученных в точках геологических наблюдений, на модель. Отклонение этих точек от модели характеризуется точностью определения и расчета или погрешностью модели. На сегодняшний день эти оценки лежат в плоскости категорий качества: лучше, хуже, близка, адекватна и т.д.

В диссертации разработаны метрики, определяющие близости 1-го и 2-го порядка поверхностей между собой. Первая определяется суммой квадратов разности значений отметок поверхностей, отнесенной к площади:

$$M_1 = \frac{\iint_{\varrho} (z_D - z_H)^2 dx dy}{\iint_{\varrho} dx dy} = \frac{\iint (z_D - z_H)^2 dx dy}{S}.$$

Вторая оценка характеризует близость поверхностей по элементам их

залегания: $M_2 = \frac{\iint_{\varrho} (\nabla z_D - \nabla z_H)^2 dx dy}{\iint_{\varrho} dx dy} = \frac{\iint (\nabla z_D - \nabla z_H)^2 dx dy}{S}$. Представив

градиент поверхности в виде проекций на оси x и y для оценки M_2 , имеем две

компоненты: $M_{2x} = \frac{\iint (\nabla z_{Dx} - \nabla z_{Hx})^2 dx dy}{S}$ и $M_{2y} = \frac{\iint (\nabla z_{Dy} - \nabla z_{Hy})^2 dx dy}{S}$.

Предложенная мера первого рода характеризует точность предсказания (совпадения) геометрии поверхностей, а мера второго рода совпадение в элементах залегания слоя. Так, при сравнении поверхности с плоскостью мера второго рода характеризует ее регулярность (или изменчивость).

По геологическим наблюдениям забоя лавы № 6 шахты Бельцевская вычислены *метрики*, оценивающие близость смоделированных геологических поверхностей (линейная и нелинейная триангуляция) к почве пласта, и ошибки в аппроксимации высотных отметок. Анализ показал, что средняя ошибка аппроксимации высотной отметки методом нелинейной триангуляции с учетом элементов залегания пласта по сравнению с методом линейной триангуляции в 3 раза меньше. Кроме того, зависимость ошибки вычисления аппликаты при нелинейной аппроксимации геологической поверхности (и дисперсии этой ошибки) относительно расстояния до штрека не обнаружена, в отличие от случая, когда использовался метод линейной триангуляции.

В **пятой главе** на базе разработанной теории *номинальных объектов* создана информационно-аналитическая система оптимальной отработки шахтных полей и месторождений с точки зрения конкурентной способности углей.

На основе выполненного в предыдущих главах анализа дефиниций горно-геологических объектов проведено моделирование *номинальных объектов*, информационных образований и *номинальной системы* в целом, выполнена оптимизация организации информации в рассмотренных образах на основе минимизации энтропии информационного представления. Таким образом, произведен синтез номинальных объектов в информационные образования, соответствующие горно-геологическим понятиям: выработка, геологическое наблюдение, слой, пласт и т.д. и в *номинальную систему* в целом. На основе теории *номинальных объектов* создан универсальный протокол взаимодействия математических моделей с горно-геологической информацией.

Произведен синтез двух подходов, направленных на повышение экономической эффективности работы угледобывающего предприятия, связанных с определением детальной оценки запасов и разработкой проектов очистных работ, учитывающих локальные горно-геологические условия и особенности залегания угольного пласта. В результате синтеза взаимоувязаны математические модели и решаемые задачи по определению конкурентоспособных углей и их выемки. Выделены основные этапы работы информационно-аналитической системы (рис. 5).

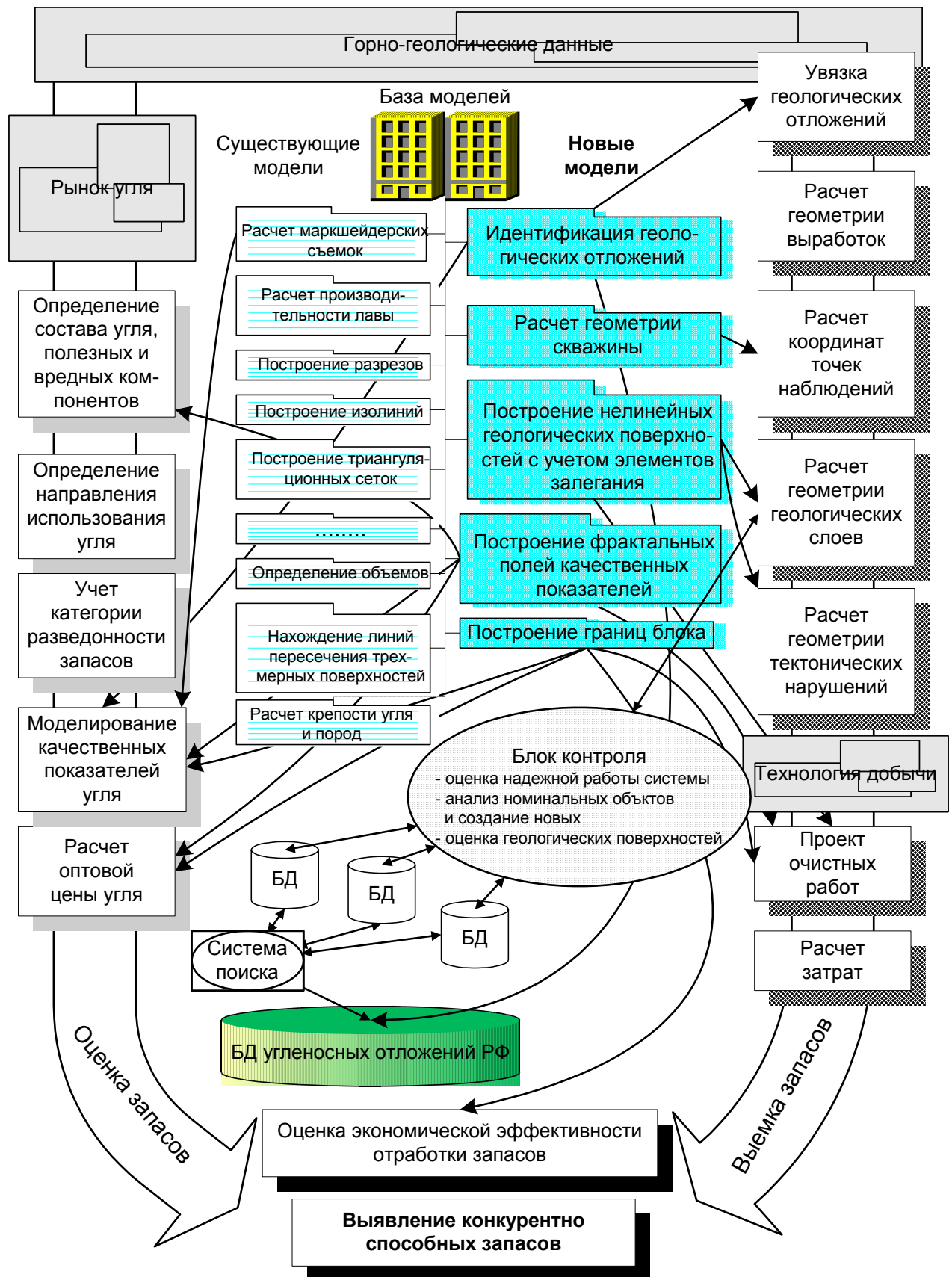


Рис. 5.

Структура информационно-аналитической системы оптимальной отработки шахтных полей и месторождений с учетом конкурентной способности углей

На основании предварительной оценки запасов при необходимости выполняется уточнение марки угля и более полное выявление полезных и вредных компонент в угле. Далее по данным опробования угольного пласта в ходе проведения петрографического анализа производится синтез данных лабораторных анализов и определяется марочный состав угля. На этапе моделирования качественных показателей угля с помощью разработанной *математической модели фрактального поля* строятся физико-химические поля дифференциальных и интегральных свойств угля в пласте с учетом категории разведанности шахтного поля. Исходными геометрическими данными для построения фрактальной поверхности являются координаты точек отбора проб. Для проб, отобранных в горных выработках, по привязке точки отбора к пикету или маркшейдерской точке координаты рассчитываются с помощью существующих математических моделей теодолитных ходов, нивелировки, тахеометрической съемки. Для проб, отобранных в разведочных скважинах, расчет координат производится на основе разработанной в диссертации *математической модели расчета геометрии оси скважины*.

По марочному составу угля, его зольности, концентрации серы, выхода летучих веществ, влаги, температуры сгорания, пластометрической усадки и т.д. определяется направление использования угля, и выявляются возможные потребители. В ходе анализа конъюнктуры рынка (для некоторых марок по коэффициентам зарубежных рынков) вычисляется потребительская стоимость угля (оптовая цена). Синтезированный результат данного этапа представляется в виде *фрактального поля* оптовой цены угля. Блок запасов с заданной оптовой ценой угля оконтуривается с помощью *математической модели зонирования шахтных полей*.

В ходе разработки проекта выемки угля определяются локальные горно-геологические условия залегания запасов. Для этого по данным геологических наблюдений осуществляется построение детальной модели геологической толщи с помощью созданной в диссертации *математической модели идентификации геологических отложений*, которая использует справочник угленосных отложений по бассейнам и месторождениям Российской Федерации. На основе полученной модели геологической толщи строится морфология пласта и породных слоев (*математическая модель нелинейной триангуляции*). Выявляются и трассируются тектонические нарушения, определяются элементы нарушений, строятся поверхности нарушений. В итоге полу-

чается синтезированная модель близлежащих к пласту геологических отложений и тектонических нарушений. Далее, с учетом существующей на угледобывающем предприятии технологии добычи, кондиций угольного пласта (мощность, выдержанность, угол падения и т. д.), нарушенности определяется технологический блок запасов, подлежащих выемке (*математическая модель зонирования шахтных полей*). Строятся поля распределения свойств угольного пласта и породных слоев (трещиноватость, крепость, устойчивость кровли почвы и т. д.) с помощью *математической модели фрактального поля*. Разрабатывается проект выемки полезного ископаемого, в ходе которого производится расчет устойчивости кровли, почвы пласта, крепости угля и геологических слоев, определяется линия забоя и направление горных работ. Кроме этого, определяется степень нарушенности в рассматриваемом технологическом блоке, строится подробная гипсометрия почвы пласта, определяются условия осложняющие проведение горных работ и т.д.

На основе полученных результатов рассчитывается эксплуатационная себестоимость добычи угля. На этом этапе производится синтез результатов решения задач оценки запасов и построения проекта выемочных работ. С учетом капитальных и эксплуатационных затрат и на основании оптовой цены угля вычисляется экономическая эффективность отработки рассматриваемых запасов и определяется конкурентная способность углей. При необходимости описанный процесс или часть этого процесса повторяется с целью уточнения конкурентоспособных запасов угля и их экономической эффективности отработки. Таким образом, информационно-аналитическая система оптимальной отработки шахтных полей и месторождений выявляет те запасы, находящиеся на балансе угледобывающего предприятия, которые экономически выгодно разрабатывать на текущий момент и подготавливает проект по их выемке.

В информационно-аналитической системе предусмотрен блок оценок состояния системы. Оцениваются условия надежной работы системы и определяются границы возможной области возникновения хаотических явлений. На основании *дробной размерности* информационных образований и информационно-аналитической системы в целом оценивается организация информации в системе. С помощью *коэффициента эффективности организации* информации вычисляется энтропия информационного представления. Постоянно производится контроль за объемом обрабатываемой информационно-аналитической

системы информации, выявляются *номинальные объекты*, не соответствующие *оптимальному распределению* объектов в системе. Выявленные *номинальные объекты* анализируются и, при возможности, детализируются, в результате чего организация *номинальной системы* совершенствуется. С помощью разработанной *математической модели сравнения геологических поверхностей* производится оценка рассчитанной поверхности с фактически наблюдаемой.

Решены вопросы организации распределенной иерархической базы данных горно-геологической информации угольной отрасли, в которой определены уровни участка, предприятия, производственного объединения и Департамента угольной промышленности в целом. Взаимодействие между базами данных осуществляется через глобальную сеть интернет. Решены вопросы масштабирования баз данных в различных операционных средах, прав доступа, ответственности за внесение изменений, архивации и т. д. Определено размещение баз данных с первичной горно-геологической информацией.

Для математических моделей, решающих задачи, направленные на повышение эффективности работы угледобывающего предприятия, разработана база моделей, которая размещается на серверах приложений в рамках существующих вычислительных ресурсов Департамента угольной промышленности, производственных объединений и крупных угледобывающих предприятий. Связь между отдельными вычислительными мощностями отрасли осуществляется с помощью глобальной сети интернет. Взаимодействие с базами данных выполняется через стандартный интерфейс с помощью языка запросов.

Список основных программных средств, разработанных для информационно-аналитической системы определения перспектив отработки шахтных полей и месторождений на основе конкурентной способности углей, представлен в табл. 2. Эти программные средства вошли в системы: ведения и пополнения маркшейдерских обменных планов MCAD 4.0, ведения и представления геологической документации, ввода геолого-маркшейдерской графической информации с планов и разрезов и др.

Разработана система кодирования горно-геологической информации, которая согласована с Департаментом угольной промышленности. Созданы справочники: угленосных отложений Российской Федерации по всем основным угольным бассейнам, месторождениям и угленосным районам; лабораторных анализов проб углей образцов пород, подземных вод и газов; полезных ископаемых, горных пород и их условных обозначений и т. д.

Таблица 2.

Разработанные ПС ИАС оптимальной отработки шахтных полей и месторождений

Название программных средств	Вклад соискателя
Программный комплекс ведения и оценки запасов по подсчетным блокам на шахтах и разрезах	Лично автором
Программный комплекс учета и движения запасов на угледобывающих предприятиях Российской Федерации	В соавторстве
Библиотека построения триангуляционных симплексов	-«-
Комплекс программ построения нелинейной поверхности по высотным отметкам и элементам залегания слоя	-«-
Комплекс программ построения фрактальных поверхностей	Лично автором
Программа вычисления мер близости геологических поверхностей	-«-
Программа построения технологических линейчатых поверхностей (откосов уступов, отвалов)	-«-
Динамические библиотеки, моделирующие <i>номинальные объекты</i> любой сложности, которые представляют горно-геологические объекты	-«-
Графический горный редактор, отображающий <i>номинальные объекты</i> условными обозначениями, в соответствии с ГОСТом, на планах, вертикальных проекциях горных работ и геологических разрезах, позволяющий выпускать геолого-маркшейдерские документы и проекты выемочных работ	-«-
Программа расчета по данным инклинометрии геометрии оси разведочной скважины	В соавторстве
Программный инструментарий по вводу, ведению и графическому представлению данных по геологическим наблюдениям в штреках, забоях лавы и уступа, вдоль оси ствола, штольни, разведочной скважины	Лично автором
Программный комплекс ведения данных по пробам и результатам лабораторных анализов угля и пород	В соавторстве

Название программных средств	Вклад соискателя
Программный инструментарий по вводу, ведению и графическому представлению данных по измерениям теодолитных ходов	Лично автором
Программный инструментарий по вводу, ведению и графическому представлению данных по нивелировке на открытых и подземных работах	-«-»
Аппаратно-программный комплекс ввода и оцифровки графических данных с геолого-маркшейдерских документов (планы и разрезы) с помощью графопостроителя и сканирующей головки	В соавторстве

На основе фрактального алгоритма реализована система поиска информации по шахтным полям Российской Федерации с привязкой к угольным бассейнам, месторождениям, угленосным районам, экономическим районам, субъектам федерации, предприятиям и организациям. Программа, реализующая фрактальный алгоритм параллельной обработки информации, реентерабельна («повторно входима»).

Заключение.

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная проблема, имеющая важное народнохозяйственное значение.

В данной диссертационной работе дано решение актуальной научной проблемы, связанной с повышением экономической эффективности работы угледобывающих предприятий на основе оптимальной отработки шахтных полей и месторождений с точки зрения конкурентной способности углей. Создана теория анализа и синтеза информационно-аналитических систем оптимальной отработки шахтных полей и месторождений.

Основные научные результаты, полученные лично автором:

1. Разработана теория анализа и синтеза *номинальных систем*, на базе которой осуществлена формализация горно-геологических систем и создана информационно-аналитическая система оптимальной отработки

- шахтных полей и месторождений с учетом конкурентной способности добываемых углей.
2. Разработана теория развития организации *номинальных объектов* и *номинальных систем* в целом. Выявлена фундаментальная закономерность увеличения разновидностей объектов в системе с ростом объемов обрабатываемой информации и числа решаемых задач, что требует совершенствования организации системы. Сформулированы и доказаны теоремы о необходимости совершенствования организации *номинальной системы* с ростом объемов обрабатываемой информации и числа решаемых задач для уменьшения энтропии информационного представления. Получено оптимальное распределение *номинальных объектов* по степени сложности в *номинальной системе*, обеспечивающее более эффективное функционирование информационно-аналитических систем и уменьшающее ошибку в определении функции плотности распределения на 70% из-за использования полной формулы Стирлинга по сравнению с известным решением Шрейдера Ю. А. и Шарова А. А.
 3. Разработаны методы оценки организации *номинальных объектов* в *номинальных системах*. Определены условия надежной работы информационно-аналитических систем оптимальной отработки шахтных полей и месторождений. Выявлены границы образования хаотических явлений.
 4. Сформулирован *принцип дополненности*, на основе которого разработан морфологический метод, позволяющий впервые выявить полный список моделей, необходимых для обеспечения функционирования информационно-аналитических систем оптимальной отработки шахтных полей с учетом конкурентной способности углей, вычисляющий степень *определенности* моделей и устанавливающий перечень моделей, требующих новой разработки.
 5. Разработан комплекс новых математических моделей, необходимых для эффективного функционирования информационно-аналитической системы оптимальной отработки шахтных полей и месторождений с учетом конкурентной способности углей.
 6. Произведен синтез *номинальных объектов* в информационные образования и в *номинальную систему* в целом. Выполнен синтез моделей, решающих задачи для детальной оценки перспектив отработки запасов и для

разработки проектов очистных работ, обеспечивающий выявление конкурентоспособных запасов угля и разработку проектов по их выемке.

7. Созданы инструментальные и программные средства для функционирования информационно-аналитической системы оптимальной отработки шахтных полей и месторождений.

Основные публикации по теме диссертации:

1. Василенко В.И., Кубрин С.С., Божинская Т.И. Формирование банка данных геологической информации по угледобывающим предприятиям. - В сб: Автоматизированный контроль и управление на угольных предприятиях. - М.: Гипроуглеавтоматизация (ГУА), 1997, с. 77-82.
2. Василенко В.И., Кубрин С.С. Компоненты программного обеспечения маркшейдерских и геологических работ. - В сб: Автоматизированный контроль и управление на угольных предприятиях. - М.:ГУА, 1997, с. 83-86.
3. Vasilenko V.I., Kubrin S.S. Software components for mine surveying and geology.//Proceeding of 2nd Regional APCOM'97 Symposium of Computer Applications and Operations Research in the Mineral Industries./Moscow/Russia/24-28 August 1997, P. 489-490.
4. Бесчастный А.И., Внуков Л.А., Кубрин С.С. Методологические вопросы ввода данных в ЭВМ с использованием чертежа. - В сб: Производственная связь и автоматизация на угольных предприятиях. - М.: ГУА, 1998, с. 72-73.
5. Кубрин С.С., Шепелев. П.С. Вопросы хранения сведений о шахтных полях в базе данных горной информации. - В сб: Производственная связь и автоматизация на угольных предприятиях. - М.: ГУА, 1998, с. 74-75.
6. Кубрин С.С. Нелинейная аппроксимация поверхности методом триангуляции при решении геолого-маркшейдерских задач. - М.: МГГУ, Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ), № 4, 1999, с. 65-66.
7. Кубрин С.С., Гурарий М.М. Новый подход к оптимизации геометрии скважин и расчетам координат подсечек слоев. – М.: МГГУ, ГИАБ, № 4, 1999, с. 66-67.
8. Кубрин С.С., Внуков Л.А. Алгоритм нелинейного построения геологической поверхности с учетом элементов залегания слоя. - Маркшейдерский вестник, № 3 (29), июль-сентябрь, 1999, с. 36-38.
9. Кубрин С.С. Определение размерности Хаусдорфа в геологических нерегулярных фрактальных образованиях.//Тр. IV Республиканской научно-техни-

- ческой конференции. Компьютерные технологии в горном деле. - Екатеринбург: Уральская государственная горно-геологическая академия, 1999, с. 106-108.
10. Кубрин С.С. Численное сравнение геологических поверхностей. - Маркшейдерский вестник, № 4 (30), октябрь-декабрь, 1999, с. 37-38.
 11. Кубрин С.С. Структура образов горно-геологических объектов. - В сб: Кафедра "Автоматизированные системы управления. 20 лет". - М.: МГГУ, 2000, с. 51-55.
 12. Кубрин С.С. Определение границ возникновения хаоса при выполнении фрактального процесса на пространстве иерархических структур. - В сб: Кафедра "Автоматизированные системы управления. 20 лет". - М.: МГГУ, 2000, с. 70-76.
 13. Кубрин С.С. Экологическая оценка запасов угля. - В сб. Международного экологического конгресса: Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности. - СПб.: БГТУ, 2000, т. 2, с. 421.
 14. Кубрин С.С. Принцип дополнительности моделей при построении геолого-маркшейдерских автоматизированных информационных систем. - В сб: Взрывозащищенная связь и автоматизация на угольных предприятиях. - М.: ГУА, 2000, с. 84-87.
 15. Кубрин С.С. Нелинейная аппроксимация поверхности методом триангуляции при решении геолого-маркшейдерских задач. - В сб: Взрывозащищенная связь и автоматизация на угольных предприятиях. - М.: ГУА, 2000, с. 88-101.
 16. Кубрин С.С. Анализ кортежа моделей геолого-маркшейдерских систем. - М.: МГГУ, ГИАБ, № 2, 2001, с. 212-216.
 17. Кубрин С.С. Исследование организаций образов горно-геологических систем. - М.: МГГУ, ГИАБ, № 2, 2001, с. 217-218.
 18. Кубрин С.С. Построение информационно-аналитических систем определения перспектив отработки шахтных полей в северных регионах России с учетом конкурентной способности углей. //Тезисы докладов Межрегиональной научно-практической конференции. "Темпы и пропорции социально-экономических процессов на российском Севере". - Апатиты: РАН Кольский научный центр, 2001, с. 158-159.
 19. Кубрин С.С. Определение размерности Хаусдорфа фракталов с циклически повторяющимися структурами. //Материалы пятого Всероссийского посто-

- янно действующего семинара “Самоорганизация устойчивых целостностей в природе и обществе”. “Фракталы и циклы развития систем”. - Томск: Институт оптического мониторинга СО РАН, 2001, с. 124-126.
20. Кубрин С.С., Лавров С.С. Методика автоматизированного построения пластовой геологической модели месторождения. - В сб: Автоматизация управления производственными процессами и безопасность в угольной промышленности. - М.: ГУА, 2001, с. 173-178.
 21. Кубрин С.С. Оценка эффективности построения горно-геологических информационных систем. - В сб: Автоматизация управления производственными процессами и безопасность в угольной промышленности. - М.: ГУА, 2001, с 179-190.
 22. Кубрин С.С. Представление полей геологических показателей поверхностями дробной размерности.//Материалы II Международной научно-практической конференции. “Методы и алгоритмы прикладной математики в технике, медицине и экономике”. - Новочеркасск: ЮРГТУ, ч. 2, 2002, с. 46-51.
 23. Кубрин С.С. Теоретико-информационный анализ систем управления запасами и их отработкой с учетом конкурентной способности углей. – М.: Энергоатомиздат, 2002, 182 с.
 24. Кубрин С.С. Математические модели и методы информационно-аналитических систем. – М.: Энергоатомиздат, 2002, 132 с.