

Московский государственный горный университет

На правах рукописи

КУБРИН Сергей Сергеевич

УДК 622.27:681.5

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

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

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук

Москва 2002

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	6
ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.	11
СТРУКТУРА ДИССЕРТАЦИИ.	11
1 ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ОЦЕНКИ И ОТРАБОТКИ ЗАПАСОВ УГЛЯ.....	13
1.1 АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ.....	16
1.2 ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ.....	20
1.3 АНАЛИЗ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ	21
1.4 АНАЛИЗ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ УГЛЯ	22
1.5 ПРОСТРАНСТВЕННО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ И ПОКАЗАТЕЛИ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ	26
1.6 ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСЧЕТОВ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАСХОДОВ В ОЧИСТНОМ ЗАБОЕ.....	30
1.7 ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ В ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБОЙ И ХАРАКТЕРИСТИКА ИСПОЛЪЗУЕМОЙ НА ДАННОМ ЭТАПЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ.....	36
1.8 НОВЫЙ КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЗАПАСОВ.	42
1.9 ВЫВОДЫ.....	45
2 ТЕОРИЯ НОМИНАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ И НОМИНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И ОРГАНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ.	6
2.1 ОСОБЕННОСТИ ОПИСАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ.	46
2.2 ОСОБЕННОСТИ ФОРМАЛИЗАЦИИ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	47
2.3 МОДЕЛИРОВАНИЕ НОМИНАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ	54

2.4	ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕЧНЯ ТИПОВЫХ СВОЙСТВ ОБРАЗОВ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ.	59
2.5	ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПОВ СВЯЗЕЙ ОБРАЗОВ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ.....	68
2.6	ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ НОМИНАЛЬНЫМИ ОБЪЕКТАМИ, СИСТЕМАМИ И ФОРМАЛИЗАЦИЯМИ.	74
2.7	ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБРАЗОВ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ.....	91
2.8	ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ЧИСЛА ТИПОВ НОМИНАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ И ЧИСЛЕННОСТИ НАИБОЛЕЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОЙ ГРУППЫ ОБЪЕКТОВ.	108
2.9	ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ОРГАНИЗАЦИИ НОМИНАЛЬНЫХ ОБРАЗОВ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНФОРМАЦИОННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ НОМИНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ.	116
2.10	ДИНАМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИНФОРМАЦИОННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НОМИНАЛЬНЫХ СИСТЕМ.....	135
2.11	ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ХАОСА В ИЕРАРХИЧЕСКИХ СТРУКТУРАХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ НОМИНАЛЬНЫХ СИСТЕМ..	140
2.12	ВЫВОДЫ ПО ВТОРОЙ ГЛАВЕ.	150
3	ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПИСКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ.	153
3.1	АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ.	153
3.2	ИССЛЕДОВАНИЕ СПИСКА МОДЕЛЕЙ СИСТЕМЫ.	165
3.3	АНАЛИЗ СПИСКА МОДЕЛЕЙ, ВХОДЯЩИХ В СИСТЕМУ, ПО СТЕПЕНИ СООТВЕТСТВИЯ ИСХОДНЫМ ДАННЫМ.	170
3.4	МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СВОЙСТВ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМЫ.	177
3.5	РАЗРАБОТКА МОРФОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА ВЫЧИСЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ОПРЕДЕЛЕННОСТИ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМЫ.....	179

3.6	СОЗДАНИЕ ПЕРЕЧНЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТОВ ОЧИСТНЫХ РАБОТ И ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ	185
3.7	ОЦЕНКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ С УЧЕТОМ ОРГАНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИИ.	193
3.8	ВЫВОДЫ ПО ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ. ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.	
4	НОВЫЕ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ.	198
4.1	РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСЧЕТА КООРДИНАТ ПОДСЕЧЕК СЛОЕВ В РАЗВЕДОЧНОЙ СКВАЖИНЕ.....	198
4.2	РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА БАЗЕ НЕЛИНЕЙНОЙ АППРОКСИМАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ МЕТОДОМ ТРИАНГУЛЯЦИИ.....	202
4.3	РЕАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НЕЛИНЕЙНОГО ПОСТРОЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ С УЧЕТОМ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЛЕГАНИЯ СЛОЯ. .	221
4.4	ПРИМЕР ПОСТРОЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ ПЛАСТА С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАСЧЕТА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ С УЧЕТОМ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАЛЕГАНИЯ.	233
4.5	МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЧИСЛЕННОГО СРАВНЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ.....	239
4.6	ОЦЕНКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПОСТРОЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ПОВЕРХНОСТИ ПОЧВЫ ПЛАСТА ЛАВЫ № 6 ШАХТЫ БЕЛЬЦЕВСКАЯ.	243
4.7	МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЕЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФРАКТАЛЬНЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ	248
4.8	МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОСТРОЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ТОЛЩИ ШАХТНОГО ПОЛЯ.	243

4.9	МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗОНИРОВАНИЯ ПЛОЩАДИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА.	261
4.10	ВЫВОДЫ ПО ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ.....	265
5	ОСНОВЫ РЕАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ	267
5.1	ПРОГРАММНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СРЕДСТВА СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ С УЧЕТОМ КОНКУРЕНТНОЙ СПОСОБНОСТИ УГЛЕЙ.....	267
5.2	РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ.	270
5.3	РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ ОТРАБОТКИ ШАХТНЫХ ПОЛЕЙ И МЕСТОРОЖДЕНИЙ. .. ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.	
6	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.	276
7	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.	280

Введение.

Угольная отрасль переживает сейчас не самые лучшие времена. Несмотря на большое количество разведанных запасов угля, с 1988 по 1997 г. добыча угля снизилась с 435 до 234,3 млн. т. [32], из-за санации шахт. Все это связано с малой рентабельностью и даже убыточностью многих угледобывающих предприятий. Снизилась государственная поддержка в виде дотаций и налоговых льгот на добычу угля. В последнее десятилетие страна пережила ряд радикальных преобразований в экономике, которые еще продолжаются.

Наблюдаемая в начале XXI-го века экономико-политическая ситуация в России дает определенные надежды угольщикам. 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.

Основным направлением использования углей является энергетика [167]. Альтернативными источниками энергии здесь традиционно являются природный газ и мазут, энергия атома и воды. При рассмотрении источников энергии для производства электроэнергии в комплексе необходимо упомянуть также о нетрадиционных источниках энергии, таких, как солнце, приливы, ветер, тепло недр и так далее. Но их использование составляет ничтожную долю процента и чаще всего сопровождается наличием некоторых дополнительных условий, таких как, наличие большого числа безоблачных или ветреных дней, близость океана с большой приливной волной, гейзеров и т.д. Что, как известно, присутствует не везде, поэтому нетрадиционные источники энергии не всегда могут быть использованы. Чаще всего они могут применяться как дополнительные источники энергии, а не как основные.

Уголь проигрывает природному газу и солярке по стоимости оборудования, транспортировке, хранению и расходам на природоохранные мероприятия на предприятиях по выработке электричества и тепла. В результате проводимой предприятиями нефтегазового комплекса политики по уменьшению доли газа и мазута, реализуемых на электростанциях Российской Федерации, с 1998 года наметилась положительная тенденция роста спроса на уголь. И эта тенденция в последние годы явно усиливается. Добыча угля в целом по стране по итогам января-апреля 2001 года составила 94,45 млн. т. и превысила уровень 2000 года на 1,98 млн. т. или на 2,1% [46]. Российский монополист Газпром предложил ссуду РАО ЕС на модернизацию электростанций с целью их перевода с природного газа на уголь и мазут. Кроме этого, региональные власти заинтересованы и готовы поддерживать работу небольших угледобывающих предприятий, которые могли бы обеспечить подведомственную территорию углем для выработки электричества и отопления небольших населенных пунктов.

В таких условиях для Угольной промышленности появляется возможность улучшить экономическую эффективность работы. Но теперь требуется поставлять на рынок не просто уголь, а уголь с определенными показателями качества, отвечающий потребительским запросам, и, конечно, являющийся конкурентоспособным. Другими словами, угольщикам требуется добывать такой уголь, который был бы востребован на рынке, и его извлечение было бы экономически оправдано. Добыча углей, востребованных на рынке, требует учета многих факторов, определяющих условия работы угольного предприятия. Правильный подход лежит в плоскости комплексной увязки решений проблем, связанных с характеристиками запасов, влиянием горных и геологических условий, месторасположением основных потребителей, экономическими и конъюнктурными условиями, социальными и внеэкономическими обстоятельствами. Важной проблемой, бесспорно, является проблема

выбора таких запасов угля, на которые есть спрос, и условия добычи которых обеспечивали бы окупаемость работы шахты, разреза или объединения в целом.

С другой стороны, экономическая эффективность шахт и разрезов 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.

В последние годы вопрос о строительстве новых шахт не стоит, наоборот, происходит реструктуризация отрасли. 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. Поэтому необходимо: 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.

Для решения описанной проблемы необходимо совместно решать задачи, связанные с построением комплексных, разноплановых, гибко связанных между собой моделей пласта, шахтного поля и месторождения. В отечественной и зарубежной горной науке многие такие вопросы рассмотрены и решены. Но, вполне очевидно, что простым собранием готовых задач проблема не решается. Зачастую решения отдельных задач не взаимосвязаны, разобщены, некоторые условия часто встречающихся ситуаций не рассмотрены. За последние годы заметно возросла мощь вычислительной техники, что позволяет производить анализ гигантских объемов информации. Это дает возможность создавать не просто математические модели отдельных параметров месторождения полезных ископаемых, а вычислительно - информационные модели, т.е. связанные между собой произвольным образом различные модели и данные, зависящие друг от друга, и в целом получать виртуальную горно-геологическую модель, учитывающую все наблюдаемые факторы и их взаимодействия между собой [57, 91, 106, 172, 196]. Соответственно, качество решений, принимаемых с помощью такой модели, возрастет. По всей видимости, в соответствии с законами диалектики возникли условия, когда должен выполняться закон перехода количественных изменений в качественные. То есть, с учетом всего массива факторов, определяющих горно-геологические условия, есть возможность получить качественно новые результаты и, соответственно, создать автоматизированные системы в тех областях, где горные специалисты оперируют нечеткими понятиями или для решения различных задач используют отличные и несвязанные между собой математические модели.

С увеличением объемов обрабатываемой информации на несколько порядков остро встает вопрос об ее представлении в системе, организации ее хранения. Имеются в виду не инженерно-технические вопросы, решаемые при проектировании баз данных, хотя они тоже не должны игнорироваться, а вопросы о структуре информации. Обладает ли структура информации объективными особенностями, не зависящими от субъективного представления или нет? То есть, является ли эта категория объективной реальностью? Следовательно, необходимо подвергнуть всестороннему комплексному исследованию понятие, скрываемое за термином «структура» информации.

При создании, развитии в ходе эксплуатации системы возникают вопросы, связанные с оценкой организации информации в сложных разветвленных иерархически устроенных базах данных. Как оценить сложность структуры информации? Очевидно, что размеры базы данных, выраженные в Гига-, в Тера-, или в Пета-, а вскоре даже и в Эксабайтах, никак не определяют эту оценку. Соответственно, возникает необходимость произвести подробное исследование организации и взаимосвязей информационных (структурных) единиц. Предложенные методы анализа структуры информации и полученные оценки позволят анализировать и подробно исследовать организацию и взаимосвязи информационных единиц.

Данная работа рассматривает вопросы теории построения информационно-аналитических систем, включающих в себя виртуальные модели описания шахтных полей угледобывающих предприятий и месторождений для решения проблемы по определению конкурентных запасов углей. Построение подобных систем невозможно вне рамок теории систем и системных исследований. В ходе научного исследования разработаны необходимые методы и приемы построения сложных систем, оперирующих недостоверной информацией в динамически меняющихся условиях, обладающих сложной информационной структурой.

Резюмируя вышеизложенное, 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.

Целью работы является 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.

Основные задачи исследования.

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 отработки 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 отработки шахтных полей и месторождений.

Структура диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения, изложенных на 297 страницах и включает 21 таблицу, 108 рисунков и список используемой литературы из 198 наименований.

1 Исследование горно-геологических особенностей оценки и отработки запасов угля.

Основные задачи, стоящие перед угледобывающей отраслью, на сегодняшний день заключаются в снижении затрат на добычу полезного ископаемого. Развитие отрасли в период до 90-х годов прошлого столетия шло по экстенсивному пути развития производства. Увеличение объемов добычи угля ставилось во главу угла. На это, как известно, требуются значительные инвестиции. При этом доля низкокачественного угля была очень высока. Чаще всего потребителям не нужен был такой уголь. Эффективность же использования углей, да и сама возможность их применения, определяется не только составом и свойствами органических веществ, слагающих уголь, но также количеством и составом сопутствующих неорганических компонентов. Эти компоненты в технологических процессах использования углей и при транспортировке рассматриваются как балластные и вредные примеси. Содержание вредных веществ в угольном топливе отрицательно влияет на экологическую обстановку в местах добычи, обогащения и использования полезного ископаемого [34, 56, 122].

Сегодня как никогда остро стоит вопрос перед угольщиками о нахождении резервов для повышения уровня рентабельности шахт, разрезов и всей отрасли в целом. Время развития отрасли по экстенсивному пути прошло, необходимо искать пути, развивающие отрасль интенсивно. Основной целью работы шахты или разреза является добыча и реализация угля, обладающего определенными конкурентоспособными свойствами. Качество и потребительская ценность черного полезного ископаемого определяются составом и свойствами органической части угля, наличием и количеством вредных примесей. На себестоимость угля оказывают влияние рыночные условия, горно-геологические аспекты, вопросы технологии и организации добычи и

внеэкономические - социальные вопросы. Как известно, основное влияние на себестоимость добычи угля оказывает технология его добычи. Кроме этого, очень значимы вопросы, связанные с потребителями угля, а также внеэкономические условия, как-то социальные вопросы (особенно они важны там, где угольные предприятия являются градообразующими, т.е. там, где нет других рабочих мест, кроме как на шахте или разрезе). Закрытие такого предприятия ведет к большим затратам и иногда бывает выгоднее не санировать предприятие, а дотировать в некотором определенном объеме. Здесь остается резерв повышения эффективности работы угольного предприятия, связанный с детальным учетом, как характеристик запасов, так и условий их залегания. Соответственно, в первую очередь встает вопрос о более точной и дифференцированной оценке запасов угля, находящихся на балансе предприятия, для последующего определения и разработки тех запасов, которые увеличивают уровень экономической эффективности работы предприятия.

В настоящее время оценка минерально-сырьевой базы угледобывающих предприятий произведена на основе кондиций, принятых для подсчета запасов угля. При этом использованы исключительно параметры мощности и зольности угольного пласта. Другие факторы, определяющие качество угля, осложняющие технологию добычи угля (угол падения пласта, нарушенность, выбросоопасность, удароопасность, самовозгораемость, глубина залегания, обводненность, устойчивость вмещающих пород и другие), при подсчете и утверждении запасов угля не учитывались.

Обработка исходных данных и прогноз горно-геологических условий отработки угольных пластов при разработке проектов очистных работ выполняется вручную, а материалы прогноза представляются на бумажных носителях.

На сегодняшний день развитие современной вычислительной техники достигло такого уровня, что можно производить оценку запасов с

учетом многих факторов, влияющих на качество угля и на условия его добычи. Кроме этого можно также спрогнозировать внеэкономические и экологические последствия выемки запасов и закрытия предприятия. В связи с тем, что горно-геологические условия меняются по мере продвижения горных работ в пространстве месторождения, целесообразно технологическую оценку условий и определения 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. Здесь важно отметить, что задачи планирования очистных работ, составления геологического прогноза, определение перспективы отработки угольного пласта, производственного участка, предприятия и месторождения в целом представляют собой иерархически взаимосвязанные системы, использующие одни и те же геологические данные. Соответственно, увеличение учитываемых факторов на любом уровне позволит точнее и значительно эффективнее эксплуатировать производственные участки, предприятия, угольные объединения и добиться, хоть и незначительного, но крайне важного на текущий момент улучшения состояния угледобывающей отрасли.

Предлагаемые методы и подходы к построению информационно-аналитической системы оптимальной отработки шахтных полей и месторождений, позволят оперативно производить переоценки минерально-сырьевой базы предприятия и участка месторождения с применением гибких эксплуатационных кондиций по мощности, углам падения, пространственно – морфологическим условиям залегания пласта, качеству угля, с учетом спроса и конкурентной способности углей и т. д. Кроме этого, использовать геологические данные для разработки горно-геологического прогноза и принятия производственно-технических решений по отработке выемочных участков и проведению

подготовительных выработок. Рассмотрим более подробно факторы, влияющие на кондиции запасов и условия, определяющие добычу угля.

1.1 Анализ экономических факторов оценки запасов.

По экономическому значению запасы [51, 85] 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, 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.

Режим работы:

– количество дней работы – 248;

– количество смен – 3.

Стоимость потребляемой электроэнергии по очистному забою определяется в зависимости от размера нагрузки на очистной забой и энерговооруженности очистного оборудования, т.е. установленной мощности.

$$C = N \cdot T \cdot P \cdot n \cdot m \text{ к, руб.}$$

где, C – стоимость потребляемой электроэнергии, руб.;

N – установленная мощность очистного оборудования, кВт/час;

T – количество рабочих дней очистного оборудования за смену (6 час);

p – количество добычных смен в сутки (2 смены);

n – продолжительность работы очистного оборудования за смену (6 час);

m – тариф за 1 кВт/час (2,36 руб);

k – коэффициент спроса (0,7).

Явочный штат очистного участка определяется в соответствии с «Прогрессивными технологическими схемами ведения очистных и подготовительных работ» и в соответствии с «Методическими рекомендациями расчета численности», а также конкретным опытом, накопленным в процессе ведения работ в сходных горно-геологических условиях с использованием аналогичных технологий и оборудования. Затраты на оплату труда производятся исходя из численности работников очистного забоя и среднего уровня оплаты труда и действующего законодательства.

Начисление на зарплату - 38,5%, в том числе:

- отчисление соцстраху и в пенсионный фонд – 33,4%;
- медицинское страхование – 3,6%;
- отчисление в фонд занятости – 1,5%.

Затраты на воспроизводство активной части основных производственных фондов очистного забоя определяется с учетом «Единых норм амортизационных отчислений на полное восстановление основных фондов народного хозяйства России» в размера 10 % по основному оборудованию. Размер амортизационных отчислений устанавливался с учетом срока существования очистного оборудования (10 лет).

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

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

где C_{omn} - 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.

1.2 Геологические особенности.

К главным факторам освоения недр с целью добычи полезных ископаемых принадлежат горно-геологические, дающие ответы на вопросы о наличии полезного ископаемого требуемого качества и о целесообразности его добычи [38]. Они же являются основополагающими при выборе способа разработки месторождения, схем вскрытия и подготовки к очистной выемке, в значительной степени определяют параметры систем разработки, видов механизации подготовительных и очистных работ, необходимых мероприятий, обеспечивающих безопасное ведение горных работ [2, 31, 177]. Все вышеперечисленное определяет технико-экономические показатели угледобывающих предприятий, величины потерь запасов полезного ископаемого.

Горно-геологические показатели по физической природе тех свойств объектов, которые они характеризуют, принято делить на четыре группы:

- пространственно-морфологические,
- объемно-качественные,
- гидрогеологические,
- инженерно-геологические.

Соответственно, математические модели, оперирующие показателями первых двух групп, отражают структурное положение, условия залегания, формы, размеры, внутреннее строение угольных пластов, породных слоев, тектонических нарушений и вещественный состав геологической толщи в размерах шахтного поля (участка), а также в целом по месторождению. Математические модели, описывающие гидрогеологическую и инженерно-геологическую обстановку объектов промышленного освоения угольных месторождений, оперируют показателями третьей и четвертой групп соответственно.

1.3 Анализ горно-геологической информации

Пространственная распределённость показателей, характеристик горных пород, их элементов залегания, условий, осложняющих разработку, образуют сложную топологическую структуру, которая оказывает влияние на выбор технологии выемки полезного ископаемого. Параметры технологических процессов находятся под воздействием ряда независимо и зависимо протекающих горных процессов.

Рассмотрим процессы разведки, оценки запасов, определения горно-геологических условий, выбора технологической схемы выемки полезного ископаемого, ведения горных работ и эксплуатационной доразведки месторождения как некую систему. Очевидно, она имеет некоторое множество состояний, особенностей, уровней, альтернатив и множество отношений между этими состояниями, особенностями, уровнями и альтернативами.

Проведем факторизацию системы анализа угольных пластов для выделения благоприятных к отработке запасов угля на основе кондиций (показателей), учитывающих горно-геологические условия разработки. Как известно при факторизации систем можно выделить три основных последовательных этапа: определение, идентификация и спецификация. В

целом рассматриваемая система является плохо определяемой, плохо идентифицируемой и плохо специфицируемой.

На первом этапе попробуем разобраться с информационными массивами, которые определяют особенности и уровни системы анализа угольных пластов. Начнем с горно-геологической составляющей информационного массива.

Горно-геологическая информация угольных предприятий характеризуется большой разноплановостью представления, необходимостью хранения данных об объектах различной природы, огромном количестве справочных данных, отсутствием формализации. Большая часть горно-геологических знаний является чисто описательной.

В соответствии с “Инструкцией по геологическим работам на угольных месторождениях РФ” (1993 год) [41] на каждом угледобывающем предприятии должна быть геологическая документация, составленная в периоды детальной разведки и доразведки поля шахты (разреза), при проектировании, строительстве и эксплуатации предприятия. Эта документация составляется и хранится в основном на бумаге. При описании одних и тех же показателей, одних и тех же объектов разные специалисты используют различные термины.

Очевидно, для системы это неприемлемо. Соответственно, ставится вопрос об увеличении уровня абстракции при создании информационных массивов системы.

1.4 Анализ качественных показателей угля

Общепринято рассматривать качество углей как совокупность свойств, обуславливающих возможность их использования по назначению. Качество угля зависит от разнообразных показателей, отражающих технологические, физико-механические и физико-химические свойства. Кроме этого, большое влияние на качество оказывают химический и

минеральный составы углей, а так же текстурно-структурные особенности черного топлива.

Показатели, определяющие качество углей, можно сгруппировать по свойствам, связанным с этапами проведения работ с полезным ископаемым - технологичность, сохранность, назначение. Свойства технологичности определяют условия разработки и обогащения (крепость, абразивность, флотуруемость, растворимость и т.д.). Сохранность угля на складах и при транспортировке обуславливают такие свойства, как окисляемость, самовозгораемость, слёживаемость и другие. Показатели назначения влияют на технико-экономические и экологические показатели потребителей угольной продукции.

Определение вида угля (бурый, каменный, антрацит) производят в зависимости от среднего показателя отражения витринита (R_0 , %), теплоты сгорания на влажное беззольное состояние (Q_S^{af} , МДж/кг) и выхода летучих веществ на сухое беззольное состояние (V^{daf} , %) (см. табл. 1.1 [37]). Классифицирование угля производится на основе генетических и технологических параметров, определяющих стадию метаболизма, петрографический состав и степень восстановленности. Кроме этого на ценность углей для различных технологических процессов и энергетики влияют вредные примеси.

Табл. 1.1

Основные показатели по маркам углей.

Вид угля	R_0 , %	Q_S^{af} , МДж/кг	V^{daf} , %
Бурый	$< 0,6$	< 24	
Каменный	$0,4 - 2,59$	≥ 24	≥ 8
Антрацит	$\geq 2,2$		< 8

Определение качества угля производится с помощью большого числа показателей. Значения показателей находят в ходе лабораторных исследований и технологических испытаний проб угольных пластов.

Перечислим основные показатели, характеризующие качество углей:

- 1) показатель отражения витринита;
- 2) рефлектограмма отражения витринита;
- 3) мацеральный состав по инертиниту и липтиниту;
- 4) толщина пластического слоя;
- 5) индекс свободного вспучивания;
- 6) индекс Рога;
- 7) дилатометрические показатели по Одиберу-Арну;
- 8) тип кокса по Грей-Кингу;
- 9) выход летучих веществ на сухое беззольное состояние топлива;
- 10) зола на сухое состояние топлива;
- 11) сера общая на сухое состояние топлива;
- 12) высшая теплота сгорания на сухое беззольное состояние топлива;
- 13) низшая теплота сгорания на рабочее состояние топлива;
- 14) высшая теплота сгорания на влажное беззольное состояние топлива;
- 15) влага общая на рабочее состояние топлива;
- 16) максимальная влагоемкость;
- 17) влага на аналитическое состояние топлива;
- 18) углерод на сухое беззольное состояние топлива;
- 19) водород на сухое беззольное состояние топлива;
- 20) азот на сухое беззольное состояние топлива;
- 21) химический состав золы;
- 22) плавкость золы;
- 23) обогатимость;
- 24) гранулометрический состав;
- 25) насыпная плотность;
- 26) механическая плотность;

- 27) микротвердость и микрохрупкость;
- 28) размолотоспособность;
- 29) выход смолы полукоксования;
- 30) анизотропия отражения витринита;
- 31) текучесть по Гизелеру;
- 32) объемный выход летучих веществ;
- 33) удельная электропроводность.

Обобщенной характеристикой качества углей является их марочный состав. Согласно ГОСТу 25543-88 [160] марки углей делятся на группы и подгруппы. В зависимости от марочного состава углей определяется направление их использования в народном хозяйстве.

Информация о качестве угля по пробам является первичной. В ходе эксплуатации месторождения она дополняется и уточняется. Соответственно, крайне важным аспектом в системе оперативной оценки запасов выступает подсистема, отвечающая за ввод, обработку, хранение и представление данных о качестве угля по пробам угольных пластов.

В общем плане эту подсистему нужно несколько расширить. В нее следует добавить данные по опробованию вмещающих пород. Эти данные необходимы для решения ряда технологических задач, связанных с подготовкой к выемке и с самой выемкой угля.

Следовательно, необходимо разработать такую методику построения подсистемы «Опробование угольных пластов и вмещающих пород», которая позволила бы интегрировать указанную подсистему в другие системы.

На этапе разведки производится разбивка шахтного поля на подсчетные блоки. На этом этапе оценка качества угля влияет на определение границ. В ходе разработки месторождения необходимо оперативно решать задачу оконтуривания запасов угля определенного качества в зависимости от его изменчивости. В зависимости от требуемого качества границы зон с благоприятными к выемке углями меняются.

Следовательно, на сегодняшний день, необходимо на угледобывающем предприятии решать задачу определения границ зон благоприятных к выемке запасов.

1.5 Пространственно-морфологические факторы и показатели освоения месторождения

Морфологические особенности шахтного поля, месторождения имеют очень важное значение. Формы, размеры, пространственное расположение угольных пластов, вмещающих пород и тектонических нарушений оказывают влияние на выбор способа разработки, схемы вскрытия и подготовки, параметров систем разработки и параметров производственных процессов.

Существенное значение для разработки угольных пластов имеет мощность и характер ее колебания в пределах рабочего контура. Уменьшение мощности приводит к снижению производительности горных работ и вследствие этого ухудшению конкурентной способности добываемого угля. Для избежания этого необходимо оперативно оконтуривать блоки с малой мощностью пласта, и особенно те участки месторождения (шахтного поля), где вследствие колебания мощности пласта необходимо менять технологию проходки и использовать другие системы разработки.

При обработке флангов месторождений необходимо учитывать характер вклинивания угольных пластов, поскольку здесь возможны потери или увеличение породы в горной массе.

Геометрические размеры пластов в плане определяют границы карьерных и шахтных полей, способы и схемы вскрытия, параметры системы разработки и другие параметры. Для решения задачи определения конфигурации капитальных, нарезных и очистных выработок требуется определение не только границ пластов, линз и областей выклинивания, но и границ областей пласта с заданным качеством угля.

При подсчете количества запасов различают рабочую (кондиционную) и нерабочую (некондиционную) мощность угольных пластов. Пласт в пределах рабочего контура в отдельных точках, блоках и участках может иметь нерабочую мощность. Залегание считается непрерывным, если внутри рабочего контура точки с нерабочей мощностью или точки полного выклинивания отсутствуют, и прерывистым, если внутри рабочего контура имеются некондиционные блоки и участки.

В практике горного дела пользуются понятиями выдержанности мощности пласта. Это понятие противоположно понятию прерывистости, но в него входит еще показатель величины площади рабочего контура. По выдержанности пласты могут быть следующих видов [38]:

выдержанные - непрерывно протягивающиеся, имеющие рабочую мощность в пределах шахтного поля, месторождения, района и даже бассейна; иногда площадь рабочего контура пласта достигает десятков и сотен квадратных километров;

относительно выдержанные - в пределах площади рабочего контура которых наблюдаются отдельные точки, и даже небольшие блоки с нерабочей мощностью; суммарная площадь таких блоков составляет не более 25% всей площади рабочего контура;

невыдержанные - прерывистые, внутри рабочего контура которых блоки с нерабочей мощностью занимают в сумме до 50%

крайне невыдержанные - в пределах которых блоки рабочей мощности относительно небольшой площади встречаются спорадически среди пустых пород или участков с нерабочей мощностью; суммарная площадь рабочих блоков менее 50% всей площади залежи.

Согласно действующей «Инструкции по применению классификации запасов к месторождениям углей и горючих сланцев» [43], угольные пласты по общей мощности различают на весьма тонкие (до 0,7 м), тонкие (0,71 - 1,2 м), средней мощности (1,21 - 3,5 м), мощные (3,51 –

15,0 м) и весьма мощные (свыше 15 м). Для выбора средств комплексной механизации очистных работ угольные пласты предложено разделять по мощности (в м) на семь групп: до 0,6; от 0,6 до 0,9; от 0,9 до 1,3; от 1,3 до 2; от 2 до 3,5; от 3,5 до 5; более 5. Каждой группе поставлены в соответствие комплексы и агрегаты, обеспечивающие наиболее эффективную отработку угольных пластов определенной мощности.

Угольные пласты по углу падения объединяют в следующие группы:

- 1) горизонтальные, пологие (углы падения до 18°);
- 2) наклонные (от 19 до 35°);
- 3) круто-наклонные (от 36 до 55°)
- 4) крутые (свыше $56 - 90^\circ$)

Такое членение учитывает характер проявления гравитационных сил и, соответственно, способ транспортирования угля в лаве в зависимости от угла падения пласта.

От угла падения пласта зависит выбор систем разработки. Размещение отвалов в выработанном пространстве карьера возможно при разработке горизонтальных и пологих залежей с применением сплошных систем. Реже это допускается при разработке вытянутых наклонных и крутонаклонных пластов. Чаще всего при разработке наклонных и крутопадающих угольных пластов, распространяющихся на значительную глубину, не удастся использовать выработанное пространство для размещения пустых пород.

При подземной разработке угольных месторождений условия залегания пластов определяют схемы их вскрытия и подготовки, длину горных выработок, выбор средств транспортирования горной массы и механизации очистных работ и т.д.

Системы вскрытия и подготовки угольных месторождений разделяются на группы по условиям залегания пластов. Для пологих и наклонных пластов имеется довольно большое число вариантов этих систем. Для крутонаклонных и крутых пластов сравниваемых вариантов

меньше, но и в этом случае существует возможность изменять способ проведения выработок (пластовые или полевые), порядок отработки пластов и т. д. Вскрытие их осуществляется почти исключительно вертикальными стволами и этажными квершлагами.

Системы подготовки шахтных полей также выбираются в зависимости от условий залегания угольных пластов. Системы этажной подготовки пригодны для пластов с любым углом падения (обычно более 18°), кроме горизонтальных. Панельные системы подготовки применяются при разработке горизонтальных и пологих пластов (до 18°). Система погоризонтной подготовки наиболее приемлема при разработке пластов с углами падения до 25° (преимущественно до $10 - 12^\circ$).

Условия разработки и доставки также зависят от угла падения пластов. Наиболее благоприятные условия для работы механизированных комплексов имеются в тех случаях, когда угол падения пластов не превышает 12° , т. е. когда гравитационные силы не оказывают влияния на выбор конструкции при комплексной механизации. Разработка пласта может производиться по простиранию, восстанию и падению. Пласты с углами падения $13 - 18^\circ$ разрабатываются преимущественно по простиранию.

Доставка угля на наклонных пластах возможна по металлическим решткам. В механизированных комплексах используются скребковые конвейеры, позволяющие на пластах с углом падения до 35° управлять процессом доставки угля. Разработка пластов с углами падения $46 - 90^\circ$ представляет наибольшие трудности вследствие возможности сползания почвы и значительного влияния гравитационных сил.

Углы падения пластов в пределах угольных бассейнов, месторождений, шахтных полей не остаются постоянными. Они изменяются от крыльев к замкам складок, с глубиной залегания в пределах одного и того же крыла складки, вблизи дизъюнктивных нарушений, в местах замыкания антиклинальных и синклинальных структур.

1.6 Геолого-технологическое обеспечение расчетов эксплуатационных расходов в очистном забое.

Анализ деятельности шахт показывает, что на величину эксплуатационных затрат оказывают влияние горно-геологические и горнотехнические факторы. Среди горно-геологических факторов выделяются 2 группы:

К первой группе относятся неуправляемые или слабоуправляемые факторы, определяющие возможность применения и типы комплексной механизации очистных работ, а также эффективность применяемой техники: мощность пласта, угол его падения, геологическая нарушенность пластов. Ко второй группе относятся управляемые факторы, которые осложняют работу выбранных типов комплексной механизации. Они либо снижают нагрузку на очистной забой, либо требуют определенных материальных затрат на их предотвращение в процессе подготовки угольных пластов к разработке. К ним относятся: обводненность пород, газоносность угля и пород, самовозгораемость угля, опасность проявления горных ударов, внезапных выбросов угля и газа при проведении подготовительных выработок, взрыва угольной пыли и газа, прорыва подземных вод в горные выработки.

Осложняющие горно-геологические факторы [115], обусловленные особыми технологическими свойствами углевмещающих пород: неустойчивость непосредственной кровли, трудная обрушаемость основной кровли и неустойчивость непосредственной почвы, в настоящее время компенсируются техническими возможностями механизированных комплексов, приспособляемых для заданных условий, не оказывают существенного влияния на технико-экономические показатели шахт.

В современных условиях достижение максимальных технико-экономических показателей [90] при подземной добыче обуславливается с помощью проведения технических мероприятий, а, следовательно, определенного объема материальных затрат, полностью снимающих

отрицательное влияние осложняющих факторов 2-й группы и создания условий для наиболее полного использования конструктивных возможностей применяемой очистной техники и технологии. Поэтому факторы 2-й группы являются факторами второго плана, оказывающими влияние на частичное увеличение удельных затрат при добыче угля, включаемых, как правило, в общешахтные затраты.

Факторы 1-й группы оказывают решающее влияние на очистные работы, предопределяя возможность применения и типы комплексной механизации очистных работ, и определяют участковую себестоимость добычи угля.

Среди горнотехнических факторов основными являются типы комплексной механизации очистных работ и размеры выемочного столба: длина лавы и длина столба. При этом параметры горнотехнических факторов полностью определяются параметрами горно-геологических факторов [14, 15], т.е. они между собой тесно связаны. Технологическим критерием оценки деятельности очистного забоя является среднесуточная нагрузка на забой (т/сут.), которая, с одной стороны, прямо зависит от горно-геологических условий, а с другой – тесно связана прямолинейной зависимостью с участковой себестоимостью добычи угля.

Анализ показывает, что среднесуточная нагрузка на очистные забои при любых горно-геологических условиях, в которых не применяются механизированные очистные комплексы, составляет 200-400т/сутки, а в забоях, оборудованных механизированными комплексами (КМЗ), суточная нагрузка при определенных горно-геологических условиях возрастает на порядок, а в зарубежной практике – на 2 порядка и более.

Критериями отнесения запасов, отрабатываемых с применением КМЗ, являются технические возможности механизированных комплексов (механизированных крепей и очистных комбайнов или стругов), проверенных в действующих лавах, КМЗ применяются на пластах:

1). С углами падения до 35° и геологической мощностью более 0,8м. Угол падения пласта является предельным для всех механизированных комплексов.

Мощность пласта 0,8м является минимальной для применяемых в настоящее время мехкомплексов (МКД-90), а также для новой серии комбайнов КВП-1 и механизированных крепей КМП (I-й типоразмер), которыми будут оснащаться очистные забои в ближайшем будущем.

2). На пластах с углами падения до 90° в настоящее время используется только щиты и АК-3 с невысокой среднесуточной нагрузкой - не более 600 т/сут.

При наличии труднообрушаемой основной кровли или слабой непосредственной почвы минимальная мощность пласта для мехкомплексов должна быть увеличена до 1,1м (по опыту работ).

Ограничение на применение механизированных комплексов накладывает геологическая нарушенность пластов. Применение мехкомплексов становится неэффективным при наличии нарушений, не позволяющих нарезать выемочные столбы длиной более 400м, или при высокой плотности нарушений (более $5\text{км}/\text{км}^2$), требующих присечки твердых пород при их переходе. Такие пласты с высокой геологической нарушенностью широко развиты в Прокопьевско-Киселевском районе, а также встречаются практически в каждом геолого-промышленном районе Кузбасса.

Запасы, отработка которых должна производиться без применения механизированных комплексов, в ведущих угледобывающих странах не разрабатываются. Они являются весьма неблагоприятными, т.е. весьма низкотехнологичными для разработки.

Запасы, разрабатываемые с применением КМЗ, в зависимости от мощности пласта, угла его падения и степени геологической нарушенности, характеризуются широким диапазоном изменения нагрузки на очистной забой (табл. 1.2) [129].

Табл. 1.2

Горно-геологические и горнотехнические условия применения
механизированных комплексов на очистных работах

Выни- маемая мощ- ность, м	Типы очистных комплексов в зависимости от основной кровли		Угол пада- ния плас- та, град.	Длина лавы, м	Тип Геологи- ческой нару- шеннос- ти *)	Нагрузка на очистно й забой, т/сут.
	Трудно- управляе- мая	Легко- и среднеупра- вляемая				
1	2	3	4	5	6	7
0,7-0,9	КМ-137	МКД-90	0-18	200	1	600
					2	480
			19-35		1	480
					2	340
0,91- 1,2	КБП КМ-137	МКД-90	0-18	200	1	1000
					2	800
			19-35	150	1	800
					2	600
1,21- 1,5	КМ- 138.4.1.	КМ-138.2.1 КМК-500 МКД-90	0-18	200	1	1500
1,51- 1,8	КМ- 138.4.1 КМ-144Б КМ- 700/800	КМ-138.2.1 КМК-500 МКД-90	0-18	200	1	2000

Продолжение табл. 1.2.

Вынимаемая мощность, м	Типы очистных комплексов в зависимости от основной кровли		Угол падения пласта, град.	Длина лавы, м	Тип Геологической нарушенности *)	Нагрузка на очистной забой, т/сут.
	Трудно-управляемая	Легко- и среднеуправляемая				
1	2	3	4	5	6	7
1,81-2,5	КМ-138.4.1 КМ-144Б КМ-700/800	КМ-138.2.1 КМК-500 КМ-146	0-18	200	1	3000
					2	2500
			19-35	150	1	2500
					2	2000
2,51-5,0	КМ-142 КМ-145Р	КМ-144К	0-18	200	1	5000
					2	4000
			19-35	150	1	4000
					2	3000

*) Типы геологической нарушенности:

- 1 – нарушения занимают менее 10% по длине столба;
- 2 – нарушения занимают до 30% по длине столба;
- 3 – нарушения прослеживаются по всему столбу или не позволяют нарезать столбы более 400 м. Механизированные комплексы на пластах с 3-м типом геологической нарушенности не применяются.

Для определения нагрузки на очистной забой ОАО «Гипроуглемашем» разработана методика, включающая определение технической и эксплуатационной производительности комбайна:

1. Техническая производительность комбайна ($Q_{т.к.}$)

$$Q_{т.к.} = N_k / \Theta_p, \text{ т/час,}$$

где N_k - суммарная установленная мощность двигателей комбайна на резание и подачу;

\mathcal{E}_p - энергоемкость разрушения и погрузки угля на забойный конвейер, кВт-ч/т (для большинства условий 0,5 кВт-ч/т)

2. Эксплуатационная производительность комбайна ($Q_{\text{э.к.}}$)

$$Q_{\text{э.к.}} = Q_{\text{т.к.}} \cdot K_{\text{и.к.}}, \text{ т/час,}$$

где $K_{\text{и.к.}}$ – коэффициент использования установленной мощности комбайна; колеблется от 0,3 до 0,8 в зависимости от вынимаемой мощности пласта, диаметра шнека, технологической схемы выемки.

3. Нагрузка на забой (Q_3 .)

$$Q_3 = Q_{\text{э.к.}} \cdot K_{\text{мв}} \cdot t, \text{ т/сут,}$$

где $K_{\text{мв}}$ – коэффициент машинного времени работы комбайна;

t – рабочее время работы комплекса в сутки (18 час).

Весь диапазон горно-геологических условий, в пределах которого отработка запасов производится КМЗ, условно можно разделить на три группы, отражающие благоприятность условий или технологичность разработки, применительно к комплексной механизации очистных работ:

- весьма благоприятные или высокотехнологичные (нагрузка более 3000 т/сут.);
- благоприятные или технологичные (нагрузка 1000-3000 т/сут.);
- неблагоприятные или низкотехнологичные (нагрузка менее 1000 т/сут.).

Проведенная типизация горно-геологических и горнотехнических условий выемки промышленных запасов (табл. 1.2) позволяет произвести расчет участковой себестоимости их разработки.

Общешахтные затраты для оценки запасов вычисляются прямым счетом на основе действующих методик. При этом выделяется 2 типа шахт: шахты, на которых не применяется дегазация пластов и выработанного пространства (при газоносности пластов менее 10 м³/т) и шахты, на которых применяется дегазация скважинами по пласту и с поверхности (при газоносности более 10 м³/т).

1.7 Задачи, решаемые в период эксплуатации угледобывающего предприятия геологической службой и характеристика используемой на данном этапе геологической информации.

В период эксплуатации на угледобывающих предприятиях, согласно инструкции [41], производится исследование морфологии и строения угольного пласта. По данным опробования анализируется качество угля. Изучается состав, строение, расположение, физические и механические свойства вмещающих пород. Тщательно изучаются тектонические нарушения. Ведется гидрогеологическое изучение месторождения. Производится прогнозирование горно-геологических условий проведения горных работ по вскрытию, подготовке и отработке угольных пластов.

Основные данные для изучения угольных пластов и вмещающих пород на угледобывающих предприятиях получаются в ходе проведения геологических наблюдений в конкретных участках горных выработок. Фиксируются мощности слоев и угольного пласта, их строение, условия и элементы залегания, тектонические нарушения. Подробно зарисовываются или фотографируются породные слои и угольный пласт, составляется структурная колонка. Описываются трещиноватость, включения, текстура, структура, цементы, слоистость, изломы, характер контактов, обводненность, минералогический состав, цвет и другие данные о слоях. Кроме этого в ходе эксплуатации бурятся дополнительные разведочные и технические скважины, как с дневной поверхности, так и из горных выработок. В соответствии с ГОСТом 9815-75 [100] производится отбор проб угольных пластов, шахтных вод и газов. Берутся образцы горных пород. В лаборатории производятся анализы и физико-механические испытания образцов и проб.

По первичным данным производится изучение горно-геологических свойств горного массива, таких как устойчивость и пучение пород, газоносность и газодинамические явления, термальный режим, силикозоопасность горных забоев.

Одним из основных факторов, определяющим условия проведения вскрышных, подготовительных и добычных работ и, соответственно, в конечном счете, себестоимость полезного ископаемого является устойчивость горных пород. Её определение осуществляется в результате решения задач геодинамики с учетом используемых на данном угледобывающем предприятии технологии проведения горных работ.

В зависимости от способности слоев горных пород сохранять устойчивое состояние (не обрушаться) при отработке угольного пласта в горном массиве, окружающем угольный пласт, принято выделять основную, непосредственную и ложную кровли и, соответственно, основную, непосредственную и ложную почву. Процессы, протекающие в массиве горных пород в ходе выемки угля и после неё, изменяют горный массив. Протекание этих процессов условно можно разбить на три этапа: непосредственно выемка угля, удаление крепи при продвижении фронта горных работ и подработка горного массива на больших площадях. Тогда, согласно инструкции по геологическим работам [41], обрушение ложной кровли происходит на первом этапе, обрушение непосредственной кровли на втором этапе и лишь, когда фронт горных работ ушел далеко, обрушается основная кровля.

Ложная почва [41] - это породы малой мощности, лежащие непосредственно под угольным пластом. Эти породы обладают пониженным сопротивлением нагрузке. При добыче угля на пластах с крутым падением наблюдается сползание ложной почвы. Непосредственная почва - это слои пород, залегающие под пластом или ложной почвой. Часто наблюдается пучение и сползание непосредственной почвы. В ходе разработки пластов, почва которых склонна к пучению, производится тщательное изучение структуры, состава, текстуры, свойств, обводнённости глинистых пород. Основная почва – породы, лежащие под непосредственной почвой.

Определение кровли и почвы различных видов происходит при проведении геологических наблюдений в горных выработках и по анализу керна скважин, в ходе которых выявляют поверхности ослабления, вдоль которых возможно разрушение или расслоение пород.

Дальнейшим шагом в определении устойчивости горных пород является изучение физических и механических их свойств. Производится определение предела прочности пород на сжатие, коэффициента крепости по Протоdjяконову, модуля упругости, коэффициента Пуассона, модуля сдвига, плотности и т. д. Для угольных разрезов наиболее важным, определяющим устойчивость бортов карьера [175, 183], является сопротивление пород сдвигу, зависящее от угла внутреннего трения, коэффициентов сцепления, сыпучести, разрыхления и т. п.

Завершающий этап по оценке устойчивости вмещающих пород связан с результатами исследования трещиноватости. В ходе исследования производится анализ расположения основных систем трещин относительно забоя горной выработки, и выявляются размеры элементарных блоков, ограниченных наиболее четкими трещинами. Строятся графики изменения интенсивности трещин, трещинной емкости вдоль оси выработки, кривые распределения частоты трещин, розы трещин различного генезиса. Для количественной оценки трещиноватости угольного пласта и горных пород строят круговые диаграммы в изолиниях. Данные о трещиноватости выносятся на план прогноза горно-геологических условий проекта вскрытия и подготовки выемочного участка или очистного забоя.

Кроме оценки устойчивости горных пород исследование трещиноватости дает возможность определить правильное расположение забоя и направления движения горных работ в очистных выработках. Это позволяет уменьшить сопротивление угля скалыванию и, как следствие, повышает производительность горных машин и механизмов, уменьшает расход энергии. Совместное исследование трещиноватости и физических и механических свойств пород позволяет более точно составить план

буровзрывных работ и сэкономить взрывчатые вещества при предварительном рыхлении горного массива и угольного пласта.

Крепкие минеральные включения, встречающиеся в угольном пласте, осложняют работу добычных механизмов. На угольных разрезах крупные включения (превышающие рабочие органы экскаваторов), попадающиеся во вскрышных породах, требуют предварительного их дробления. При геологических наблюдениях необходимо проводить описание включений, встречающихся в угольном пласте и горном массиве, отмечая пространственное расположение, тип, состав, крепость, размеры, трещиноватость, частоту и район их распространения. На угледобывающих разрезах в районах локализации крупных включений с повышенной крепостью их изучение проводят в откосах уступов, а также организывают специальные геофизические работы и разведочное бурение. В угольных шахтах при соприкосновении рабочего узла комбайна с твердым, даже небольшим, включением кроме поломки механизма возможна искра и тогда при большой газоносности угольного пласта и недостаточном проветривании забоя вероятность взрыва метана и подземного пожара увеличивается в несколько раз.

Изучение газоносности угольных пластов и горных пород производится по результатам взятия проб газа и газоаналитическим исследованиям. С учетом геологических условий определяются возможные места газопроявлений, аномальных газовых проявлений, выбросов угля, пород, газа и т. д. Эти данные обобщаются и используются для расчета, построения и определения производительности системы вентиляции, прогнозирования и разработки мероприятий по борьбе с вышеперечисленными явлениями.

При разработке угольных пластов опасных по горным ударам, внезапным выбросам, самовозгоранию прогноз опасности и самовозгорания и выработка мероприятий по борьбе с ними осуществляется на основе анализа всех геологических материалов.

Гидрогеологические работы на шахтах и разрезах проводятся для увеличения эффективности горных работ и создания безопасных условий работы. При проведении гидрогеологических исследований отбираются пробы (согласно ГОСТу 9815-75 [100]), производятся лабораторные анализы, определяется химический состав воды. В горных выработках измеряются водопритоки, определяются уровни воды на дренирующих горизонтах, уточняется гидрогеологическое строение месторождения. По данным наблюдений прогнозируются водопритоки, уровни воды в водоносных и дренируемых горизонтах, состав шахтных вод. Исследуются водоемы, водотоки, овраги, выходы коренных пород, участки оползней, суффозий, мульд сдвижений, трещины, провалы, воронки и т. д. Для уменьшения отрицательных последствий гидрологического влияния на добычу полезного ископаемого, вырабатывают мероприятия по отводу воды.

В ходе эксплуатации угледобывающего предприятия, согласно приказам № 348 [113] и № 586 [114], геологической службе необходимо вести следующие обобщающие материалы технической документации: прогноз горно-геологических условий вскрытия и подготовки выемочного участка (очистного забоя), прогнозные геологические планы (проекции на вертикальную плоскость) по угольному пласту, геологические планы эксплуатационных горизонтов, геологические разрезы по профилям, разведочным линиям. Для составления этих документов необходимо по точкам геологических наблюдений восстановить геометрию и форму угольного пласта, близлежащих горных пород, тектонических нарушений. Для проведения подготовительных выработок и очистной выемки крайне важно знать рельеф угольных пластов, их локальную форму и элементы залегания. Особенности рельефа, проявление дополнительной складчатости, изменение простирания и падения, перегибы, флексуры, разрывные нарушения, изменение мощности и строения пластов - все это

находит отражение на гипсометрических геологических планах (проекциях на вертикальную плоскость).

Построение планов угольных пластов в изогипсах очень сложный и трудоемкий процесс. При ручной обработке он требует итерационного построения профилей по различным направлениям, между разными точками проведения геологических наблюдений, произведенных в горных выработках и точках, полученных по разведочным скважинам. Используемые методы построения геометрии пласта в автоматизированных горных системах базируются, в основном, на линейных методах восстановления зависимостей и, соответственно, не все данные геологических наблюдений используются при моделировании. Еще сложнее обстоит дело с построением геометрий и форм пород горного массива, вмещающих угольный пласт. Чаще всего эти породы не прослеживаются не только по всему месторождению, но и по выемочному участку. Некоторые породные слои в силу геологических причин претерпевают изменения так, что в различных точках геологических наблюдений отложения, принадлежащие одному и тому же слою, различны. Поэтому при изучении геологических отложений прибегают к микрокомпонентному и микролитотипному анализу состава пород и угольных пластов. Таким образом, для создания геологической модели выемочного участка необходимо решить ряд сложных задач. Это, во-первых, распознавание породных слоев и угольных отложений, идентификация этих слоев, определение зон распространения того или иного слоя, нахождение границ выклинивания и расщепления слоев и т.д. Подобные задачи относятся к классу некорректно поставленных задач, методы решения которых разработал академик А. Н. Тихонов [131]. Наличие тектонических нарушений на месторождении и в районе выемочного участка существенно усложняет и без того не простую трехмерную геологическую картину согласного залегания пород. Таким

образом, при построении геологической трехмерной модели геолог в большей степени опирается на интуицию.

1.8 Новый концептуальный подход к оценке запасов.

В настоящее время назрела крайняя необходимость в изменении подходов к оценке запасов. В современных рыночных условиях работы необходимо оперативно получать скорректированные оценки запасов угля, находящиеся на балансе угледобывающих предприятий. Для этого необходимо использовать все вновь полученные горно-геологические данные во время эксплуатации шахты или разреза. При этом требуются оценки запасов не только по качеству, мощности, углу падения и т.д., но и оценки запасов с учетом проведения горных работ, при их разбивке по технологическим блокам, с учетом оставления целиков, проведения регламентных мероприятий для обеспечения безопасности проведения горных работ, т.е. оценки, характеризующие экономические показатели работы угледобывающего предприятия.

Таким образом, возникает возможность перехода к адаптивной оценке остаточных запасов. Это позволит более объективно и оперативно управлять техническим оборудованием для добычи конкурентоспособных углей и, как следствие, к повышению экономической эффективности работы угледобывающих предприятий.

Для получения таких оценок остаточных запасов шахт и разрезов необходимо учесть результаты, получаемые в ходе решения геологических задач на угледобывающем предприятии. Как показал проведенный анализ, число решаемых геологических задач для обеспечения эффективной деятельности угольных шахт и разрезов огромно. Для их решения используется разнородная информация, собираемая по различным горно-геологическим объектам и проявлениям. Совсем непросто не только формально описать, но и просто представить весь объем анализируемой и перерабатываемой информации и разнотипных её представлений (план,

анализ, измерение, описание, фотография и т. д.). Так, например, только число видов документов, которые должна вести геологическая служба угледобывающего предприятия, более сорока, и даже простой их перечень занимает не менее шести страниц [113]. Различные задачи для своего решения требуют разнородных информационных составляющих одних и тех же горно-геологических объектов. Как известно, горная геология является наукой описательного типа. Она оперирует понятиями, связанными с образами, сравнениями, аналогией. К сожалению, число таких понятий огромно и нет никакой возможности использовать для описания горно-геологических систем небольшое число информационных представлений. Здесь исследователь сталкивается с фундаментальным принципом, гласящим, что описание сложной системы так же сложно, как и описываемая система. Поэтому необходимо провести тщательный гносеологический анализ процесса формализации горно-геологической системы. Далее, требуется разработать методы, основанные на принципе абстрактной классификации, которые позволят создавать описания элементов реальной системы в виде некоторых информационных представлений.

Для этого необходимо выявить свойства, особенности и возможности информационных представлений описывать горно-геологические понятия, объекты, проявления. Необходимо разработать структуру этих информационных представлений, отвечающую системным требованиям полноты, непротиворечивости, компактности, однозначности, не допускающей дублирования информации, легкой в использовании и трансформируемой в ходе развития как знаний о месторождении, так и горно-геологических знаний.

Все горно-геологические объекты взаимосвязаны и постоянно взаимодействуют между собой в виде единой толщи геологических отложений и техногенного угледобывающего предприятия. Следовательно, отображение этих взаимодействий и связей, как в статике, так и в

динамике, является одной из важнейших задач при построении информационно-аналитических систем. Таким образом, необходимо выявить виды связей между горно-геологическими объектами и создать адекватные им информационные образы (представления).

Требуется создать теорию, позволяющую формально описывать реальные системы некоторыми образами, состоящими из отличных, но формально одинаково устроенных информационных представлений. В результате формализаций вырабатываются различные информационные представления описываемой системы. Для выбора наилучшего представления необходимо разработать подход, позволяющий сравнивать полученные представления между собой. И, следовательно, надо создать методику оценки аналитической системы с точки зрения эффективного информационного представления и организации информации.

По всей видимости, кроме статических оценок информационного представления аналитической системы необходимо иметь и динамические оценки. Такие оценки, которые характеризуют процессы поиска, выборки, обработки запросов. Они особенно для распределенной системы, т.е. системы, функционирующей на большом числе компьютеров, локально расположенных корпоративных сетях, серверах баз данных, работающих на участках, угледобывающих предприятиях, шахтоуправлениях, Акционерных обществах, Производственных объединениях и в Департаменте угольной промышленности. Такие оценки позволяют судить об эффективности информационного представления в информационно-аналитической системе в многопользовательском режиме, выявить границы устойчивости процессов обработки информации и условия возникновения хаоса, свидетельствующего о вероятности отказов системы.

1.9 Выводы

Таки образом, на основании проведенного анализа можно сделать следующие выводы.

1. Проведенное исследование показало, что горно-геологическая информация характеризуется большой степенью разнородности. Понятия, используемые в горном деле, четко не определены. Отсутствуют методы создания описаний элементов реальной системы в виде некоторых информационных представлений. Следовательно, требуется создать теорию, позволяющую формально описывать реальные системы некоторыми образами, состоящими из различных, но формально одинаково устроенных информационных представлений.

2. Необходимо выявить свойства, особенности и возможности информационных представлений, описывающих горно-геологические понятия, объекты, процессы. Создать структуру информационных представлений соответствующих горно-геологическим понятиям, объектам, процессам.

3. Для выбора наилучшего информационного представления горно-геологической системы необходимо разработать подход, позволяющий сравнивать полученные представления между собой, и вычислять различные оценки, характеризующие систему. Поэтому, необходимо создать методы статической и динамической оценки аналитической системы с точки зрения эффективного использования информационного представления.

4. Для того, чтоб избежать отказов системы в будущем во время эксплуатации в многопользовательском режиме, необходимо выявить условия надежной работы информационно-аналитической системы и определить возможность и условия возникновения хаотических явлений, найти границы возникновения хаотического поведения информационной составляющей системы.

2 Теория номинальных объектов и номинальных систем представления и организации информационных образований системы оптимальной отработки шахтных полей и месторождений.

2.1 Особенности описания и определения горно-геологических систем.

Геология принадлежит к естественным наукам описательного типа. Понятия, используемые в ней, неоднозначны и расплывчаты. Они, чаще всего, выражены с помощью образов, сравнений, аналогий. Формируемые высказывания в основном логически не строгие, а порой противоречивые. При моделировании горных процессов используют представление горно-геологических объектов в виде образов. Если процесс добычи полезного ископаемого представить как некую систему, состоящую из множества элементов, то попытка точного задания образов горно-геологических объектов элементами такой системы наталкивается на существенные трудности. Какие геологические объекты являются прообразами элементов системы, и каким объектам соответствуют элементы системы? Ответ на этот вопрос вряд ли будет однозначным. Так, в геологической науке, понятие порода имеет 49 определений, понятие минерал – 39, понятие формация – 63, а понятие фация более 100 [20]. Причем все эти определения противоречивы и логически не совершенны, сформулированы с помощью образных выражений и понятий, которые, как правило, не определены. Разные специалисты под одним и тем же термином подразумевают различные понятия.

Таким образом, горно-геологическая система являет собой классический пример плохо определяемых (описываемых) систем. Если с точки зрения геологических наук с этим можно как-то смириться (все геологические исследования в своей основе являются гипотетическими, т. е. геология представляет собой науку, состоящую из различных гипотез),

то при построении информационно-аналитической системы описанное состояние вопроса вызывает огромные трудности и проблемы. Еще Аристотель говорил, что до начала обсуждения какого-либо вопроса необходимо сначала прийти к соглашению относительно употребляемых понятий. В противном случае будет нарушен второй принцип логики – закон тождества.

Решение изложенной проблемы лежит в плоскости введения неких абстрактных, аксиоматически точно определенных образов, являющихся иногда образами реальных объектов, а иногда не имеющих даже реальных прототипов (прообразов) в понимании экспертов-геологов.

Проанализируем влияние информационной составляющей на примере построения системы анализа угольных пластов. Определим особенности и закономерности, возникающие при описании сложных природно-техногенных систем. Используя, выявленные закономерности, построим автоматизированную информационно-аналитическую систему оптимальной отработки шахтных полей и месторождений с точки зрения конкурентной способности углей.

2.2 Особенности формализации горно-геологических систем.

Рассмотрим подробнее влияние информационной составляющей на построение системы анализа угольных пластов. Ситуация выглядит следующим образом. В реальной действительности, независимо от уровня наших знаний, существуют месторождения углей, качество которых имеет некоторое пространственное распределение. При добыче полезного ископаемого происходит ряд процессов, влияющих, в конечном счете, на стоимость полезного ископаемого. Кроме этого, существуют сложные экономические и внеэкономические отношения. Вся эта система наблюдается в реальной действительности.

При построении автоматизированных систем реальные объекты, понятия, категории заменяются некими образами, представлениями,

данными, с которыми выполняются те или иные действия, и с помощью которых моделируют процессы, протекающие в реальных системах.

Введем некоторые определения. Горно-геологическую природную техногенную систему, существующую в действительности, будем называть *реальной системой* - *RS*.

Под реальным объектом RO будем понимать действительно существующий объект, соответствующий установившемуся понятию, которое не допускает разночтения. Тогда можно дать еще одно определение реальной системы. *Реальной системой называется совокупность существующих в действительности объектов, различным образом связанных и взаимодействующих между собой.*

Анализируя эти два различных определения реальной системы, отметим, что первое представляет собой описание системы с точки зрения системного анализа, когда большое или многое мыслится как целое, а второе с точки зрения теории множеств, когда целое мыслится как многое. Противопоставление системного и теоретико-множественного подходов имеет ряд аспектов [181]. Проанализируем наиболее основные из них.

Первое противопоставление это - противопоставление первичности элемента первичности системы. Само понятие множество исходит из того, что элементы, из которого оно состоит, определены до того, как было задано (определено) само множество. Другими словами - элементы первичны, а множество и, соответственно, система - вторична. Иначе обстоит дело в системном анализе. Здесь целое предшествует своим элементам. В этом случае неверно говорить, что система представляется соединением элементов. Так подлинной реальностью является система, а элементы являются призрачными, субъективно выделенными образами некоторых частей системы. По всей видимости, нельзя определить месторождение простым перечислением нескольких угольных пластов и породных слоев. На самом деле это более сложная и взаимоувязанная система, представляемая всей геологической толщей.

Следующее противопоставление - это противопоставление индивидуализации абстракции отождествления. В начале исследования система выглядят аморфно, особенно это относится к естественным природным системам. Класс объектов не определен, размыт, каждый объект индивидуален, отличен от других. При изучении системы появляется возможность выделить (определить) ее элементы. Следовательно, только в ходе исследования появляются множества. Другими словами, только по мере изучения системы происходит определение объектов и создание их группировок. Важным инструментом в этом процессе является процедура отождествления, в результате которой и возникают достаточно четкие определения. Очевидно, можно утверждать, что доля абстракции определяет степень изученности системы. Описание месторождения, по мере его изученности меняется от образного к все более детальному. При этом доля абстрактных понятий, используемых в описании месторождения (точки, линии, поверхности и т. п.) растет.

Эти два аспекта противопоставления системного и теоретико-множественного подхода объясняют сложности, связанные с однозначным выделением элементов, из которых состоит система. Так же это объясняет особенности, связанные с реальными объектами. То есть, во-первых, нечеткость определения понятий в геологии. И, во-вторых, невозможность существования некоторых реальных объектов в отрыве от других, так, например, тектонические нарушения не мыслятся без геологических отложений.

Один из важнейших аспектов противопоставления системного и теоретико-множественного подхода - это противопоставление «принципа неразборчивости» [117] естественности системы. Так отмеченный выше принцип в теории множеств позволяет объединять во множества объекты произвольного происхождения. Совсем наоборот происходит в теории систем. Здесь совокупности элементов возникают как естественные

классы. Причем элементы сами по себе имеют общую суть, общую природу происхождения. Кроме этого, эти элементы и совокупности существуют не сами по себе, а лишь в рассматриваемой системе. Очень показательно это проявляется в геологии. Так многие месторождения зарождались в одни и те же геологические эпохи и переживали схожие процессы, но все они отличаются друг от друга по горным и геологическим условиям.

И наиболее важное противопоставление связано с организацией. То есть, теоретико-множественный подход, определяющий внешнюю организацию, противопоставляется системному подходу, который определяет внутреннюю организацию. Вполне понятно, что организация элементов во множество есть внешнее действие по отношению к этому множеству. Анализируя определение Кантора [169]: «множество есть многое, мыслимое как целое», приходим к выводу, что необходим этот кто-то, кто осмыслил бы элементы как одно целое - множество. В отличие от этого системный подход отдает главенствующее значение внутренней организации системы. Такой подход объясняет необъяснимые, с точки зрения теоретико-множественного анализа, свойства, как устойчивость организованных систем к внешним воздействиям.

Очевидно, что системный и теоретико-множественный подход являются характеристиками различных сторон одного и того же процесса. В общем случае этот процесс можно назвать исследованием, изучением системы, в ходе которого производится её формализация. Действительно, только детальная формализация системы позволяет в полном объеме воспользоваться теоретико-множественным аппаратом математики для решения поставленных задач.

В дальнейшем формализованный элемент системы будем называть *номинальным* объектом. Введем определение: под *номинальным объектом* *НО* понимается категория, полученная в ходе отождествления некоторых образов (частей) реальной системы. Номинальный объект может

соответствовать либо реально существующему однозначно определенному объекту либо понятию, введенному по определению. В обоих случаях номинальный объект вводится в формализацию системы только аксиоматически. Определение номинального объекта дает возможность вводить номинальные объекты, описывающие понятия, не используемые в геологии или в других естественных науках. Вновь введенные понятия (номинальные объекты) позволяют полнее проанализировать внутреннюю суть рассматриваемой геологической системы и выявить её основные закономерности и особенности.

Основные аспекты противопоставления номинальных и реальных систем и объектов характеризуют сам процесс формализации системы. Это позволяет выявить и понять свойства этого процесса.

Систему, состоящую из номинальных объектов, связанных и взаимодействующих между собой, и которая является формальным описанием реальной системы, будем называть номинальной системой NS .

Соответственно, формализация (F) реальной системы (RS) есть процесс получения номинальной системы (NS). Этот процесс можно записать в виде $RS \xrightarrow{F} NS \langle NO \rangle$. Таким образом, формализация есть процесс нахождения отображения реальной системы в номинальную, в ходе которого происходит построение номинальных объектов. По своей сути формализация является некоторым преобразованием RS в NS . С философской точки зрения процесс формализации системы можно отождествить с процессом её изучения. По всей видимости, существует множество преобразований, осуществляющих нахождение отображения реальной системы в номинальную систему.

При формализации реальной системы важную роль играют цели (RC), которые она должна решать. В процессе формализации на основании этих целей определяются критерии и ограничения номинальной системы. В ходе формализации очень часто конкретизируются и

уточняются цели, и соответственно, корректируется и сам процесс формализации. Другими словами, формализация осуществляется итерационно. В общем виде процесс формализации представим в виде диаграммы:

$$\begin{array}{ccc} RC & \xrightleftharpoons{F} & NC \\ RS & \longrightarrow & NS\langle NO \rangle \end{array}$$

Очевидно, что возможные формализации реальной системы для достижения конкретных целей RC_F являются лишь частью всех формализаций для этой реальной системы RS_F , то есть $RC_F \subseteq RS_F$. Номинальные системы, построенные для достижения различных целей RC , могут, но не обязаны отличаться.

Резюмируя вышеизложенное, ставится проблема разработать и описать механизм, позволяющий создавать номинальную систему для описания реальной системы. Процесс построения номинальной системы состоит в разделении системы на её внутренние компоненты, подсистемы, выделение или аксиоматическое определение номинальных объектов, анализа существующих и разработки отсутствующих моделей, выяснении и определении целей, которые необходимо достичь. Полнота построенной номинальной системы зависит от уровня развития знаний о реальных объектах, связях и взаимодействии их между собой в ходе процесса добычи, обогащения и транспортировки угля.

В настоящее время очень слабо разработан именно аппарат построения номинальных систем. В литературе в основном приводятся небольшие примеры, связанные с техническими системами, формализация которых не представляет особой сложности. С ростом размерности вектора показателей появляются не только технические сложности, но сложности принципиального характера. Поэтому формализация больших и громоздких систем представляет собой большую сложность и полное отсутствие каких-либо формальных методов и приемов приводит к тому,

что этот процесс становится неуправляемым и не подающимся внешнему контролю.

Создадим методы построения номинальной системы с помощью информации, описывающей реальную сложную систему. Представим стоящую перед нами задачу в следующем виде. Существует большая, сложная реальная система - RS , для которой доступно множество формализаций - $RC_F \in RS_F$. Из всего множества RC_F формализаций необходимо выбрать такую, которая соответствовала бы искомой номинальной системе $NS\langle NO \rangle$, адекватно описывающей реальную систему. Интуитивно понятно, что данная задача имеет великое множество решений. Чтобы как-то сузить область решений, необходимо потребовать, чтоб описание образов номинальных объектов и всей номинальной системы в целом было бы оптимально. При этом должно выполняться ограничение – номинальная система должна быть универсальной. То есть система должна работать при любых возможных в природе соотношениях данных и не зависеть от особенностей месторождения, условий добычи угля, вида использования каменного топлива и так далее. Система должна иметь возможность развития и совершенствования по мере приобретения знаний о предметной области и уточнении целей.

По всей видимости, это оптимальное представление системы не является статическим, а будет изменяться по мере изучения реальной системы, то есть по мере разведываемости и разработки месторождения.

Создание номинальных систем в процессе формализации должно происходить в рамках теоретико-множественного подхода, поэтому вначале необходимо рассмотреть и определить описание номинального объекта. То есть определить элементы, из которых состоят номинальные системы.

2.3 Моделирование номинальных объектов

В соответствии с введенными априорно понятиями о номинальной системе и номинальном объекте, однозначного решения по выделению номинальных объектов при изучении реальной системы нет. Следовательно, в общем случае нет никакой возможности однозначно вычленить тот или иной объект из реальной системы. Можно только однозначно задать его описание, соответствующее некоторой формализации. Далее, используя это описание, можно построить номинальную систему.

Рассмотрим, к примеру, вопросы задания геометрии угольного пласта. Описать угольный пласт можно многими различными способами: несколькими трехмерными телами, набором топологических поверхностей, изогипсами, изолиниями качества. Приведенные описания угольного пласта получаются в ходе моделирования геометрии подошвы слоя и их можно условно назвать модельными (точнее, смоделированными) описаниями.

Но кроме таких описаний, угольный пласт можно представить простым набором точек в трехмерном (или при его разработке, когда происходит движение фронта горных работ, в четырехмерном) пространстве. То есть, тем набором точек, который является исходным для задачи моделирования геометрии пласта. По всей видимости, эти описания отличаются лишь тем, что набор точек является, как бы первичной информационной составляющей, а, так сказать, модельные или смоделированные описания появляются после некоторых расчетов, вычислений, выполняемых с помощью различных моделей, основанных на различных предположениях и допущениях. Следовательно, существуют как первичные, так и вторичные описания номинальных объектов.

С другой стороны, сами точки, участвующие в первичном описании угольного пласта, получаются в ходе различных вычислений, будь то расчет теодолитного хода, вычисление координат подсечек подошвы слоев

по данным замеров искривления оси скважины или замеры подробностей в забоях. Следовательно, принципиальных отличий различных описаний друг от друга, связанных с погрешностями расчета, нет.

Какое из перечисленных описаний следует использовать или необходимо использовать все приведенные описания? Ответить на поставленный вопрос невозможно. Сразу же должны быть приняты во внимание дополнительные аспекты, связанные с целями, для которых строится система. По всей видимости, формализация однозначно определяет все номинальные объекты.

Резюмируя вышеизложенное, можно сказать, что для задания номинального объекта необходимо некоторое информационное описание и список методов, моделей, для представления его в системе. Для описания номинального объекта в дальнейшем будем использовать понятие *образ номинального объекта*. Под *образом номинального объекта* или, для краткости, *образом объекта* $Obr\langle def, I \rangle$ будем понимать его *аксиоматическое определение def и информационное описание объекта I* . Итак, совокупность образа номинального объекта и набор его моделей M , описывающих поведение этого объекта в системе, – элементы, необходимые для описания номинальной системы.

Вернемся к рассматриваемому примеру. Общеизвестно, что одной геометрии для описания пласта недостаточно. Геолог с пластом ассоциирует данные о взятых пробах, как самого полезного ископаемого, так и вмещающих пород, воды, газов и нефтепроявлений. Многие горные выработки проходятся по пласту, и они неразрывно связаны с ним. В зависимости от качества угля, мощности, элементов залегания пласт разбивается на подсчетные блоки, по которым происходит подсчет и учет движения запасов. Подобная информация представляет собой некоторую внутреннюю структуру такого сложного объекта, как угольный пласт. Так

же она определяет особенности связей угольного пласта с другими горными объектами.

Кроме этого, угольный пласт имеет геологические характеристики возрастного плана. Так, он стратиграфически расположен в некотором пакете, подсвите, свите, серии. Один и тот же пласт часто прослеживается на различных шахтных полях, месторождениях, в пределах одного угольного бассейна. Эти описания показывают, как пласт входит в более сложные объекты. Таких примеров можно привести массу для любых горно-геологических объектов.

Рассмотрим отношения, которые необходимо отражать в номинальной системе. Пусть дано некоторое отношение \wp , в котором могут находиться номинальные объекты NO_1 и NO_2 . Эти номинальные объекты могут состоять $NO_1 \wp NO_2$ или не состоять $\neg(NO_1 \wp NO_2)$ в заданном отношении. Причем отношение $NO_1 \wp NO_2$ не тождественно отношению $NO_2 \wp NO_1$, то есть порядок следования номинальных объектов в отношении существенен. Соответственно, для номинальной системы существует некоторое множество R , определяемое как подмножество $R \subseteq NS \times NS$ всех пар номинальных объектов, для которых существует $NO_1 \wp NO_2$. Рассмотренное отношение является бинарным (двухместным). Число сомножителей в векторном произведении определяет размерность отношений. В дальнейшем рассмотрение ограничим только унарными и бинарными отношениями между номинальными объектами.

Введем определения. *Одноместное (унарное) отношение будем называть свойством номинального объекта I_Q . Двухместное (бинарное) отношение, соответствующее понятию «часть», будем называть связями номинального объекта I_S .*

Другими словами, информация, описывающая объект, делится на две категории. Одна характеризует свойства самого объекта, другая описывает его связи с другими объектами, а так же его внутреннюю организационную структуру. Можно сказать, что связи образа объекта являются информацией о структуре и описывают организацию конкретного номинального объекта, подсистемы или системы в целом.

Из определения номинального объекта следует, что I_Q и I_S являются подмножествами информационного описания объекта I . Следовательно, для того, чтобы произошло замыкание $I = I_Q \cup I_S$, уточним определение образа номинального объекта. В дальнейшем, под образом номинального объекта $Obr\langle def, I_Q, I_S \rangle$ будем понимать аксиоматическое определение def , совокупность свойств объекта I_Q , а так же его связи и взаимодействие с другими объектами системы I_S .

Итак, образ номинального объекта состоит из определения, информационного описания, и его связей с различными номинальными объектами. Такой подход позволяет отделить информацию, характеризующую конкретный объект, от информации, описывающей его положение относительно других объектов, и в системе в целом. Кроме этого, отметим, что здесь нет принципиального различия в информационном описании объекта с точки зрения первичного и вторичного (модельного) набора данных. Интуитивно понятно, что модели для всех образов номинальных объектов, у которых одно и то же аксиоматическое определение, одни и те же. Нельзя сделать такое же утверждение об информационной составляющей, она у каждого объекта различна, характеризует ли она свойства объекта или его связи.

Предположим, что у нас есть экспертная область геологических знаний, с помощью которой можно выполнить ряд тестов. Результаты каждого теста разбивают область, содержащую горно-геологическую

информацию на ряд непересекающихся категорий эквивалентности, описывающих номинальные объекты: $G_i = \langle ObG_i, ModG_i \rangle$, где ObG_i - класс понятий категории, а $ModG_i$ - класс моделей категории. Тогда общее множество геологических понятий, соответствующих описаниям номинальных объектов, определяется как объединение - $GEO = \bigcup_{i=1}^n G_i$, для которых по парные пересечения пусты $G_i \cap G_j = \emptyset$ для всех $i \neq j$. Если же тест не дает таких результатов, то его необходимо модифицировать (детализировать, уточнить), заменить или отбросить. Каждую полученную таким образом категорию будем считать свойством номинального объекта. Тогда, о некотором рассматриваемом геологическом понятии можно сделать два эквивалентных утверждения: результат применения теста T есть t_i , и понятие t_i принадлежит разбиению T .

Следовательно, среда горно-геологических знаний G , представима в виде пары $G = \langle U, \Pi \rangle$, множества горно-геологических понятий - U и семейства их разбиений - Π по различным свойствам. Каждый элемент из множества Π есть свойство. Если P - свойство, то каждый элемент множества P ($p \in P$) называется значением этого свойства. Одним из важных и понятных горным специалистам разбиением горно-геологических понятий есть разбиение на объекты. Элемент P_{obj} из множества Π определяет перечень номинальных объектов. Аксиоматическое определение *def* образа номинального объекта соответствует значению свойства P_{obj} . Совокупность всех образов $Obr\langle def, I_Q, I_S \rangle$ номинальных объектов с различными определениями *def* образует класс ObP_{obj} .

Отметим основные требования, которым должно удовлетворять описание образов номинальных объектов. Во-первых, эти описания

должны строиться в рамках формального языка. Во-вторых, описания образов должны иметь одинаковый уровень абстракции. В-третьих, должна учитываться динамика и взаимосвязь с другими номинальными объектами. В-четвертых, описанию образа должны быть присущи эволюционные свойства. Так, по мере развития знаний о реальной геологической системе и об объектах, из которых она состоит, образ одного и того же реального объекта должен развиваться эволюционным путем. И, наконец, в-пятых, созданные описания должны быть универсальны. Из этого, в частности, следует, что элементы класса ObP_{obj} должны иметь одну общую структуру. Попробуем её построить.

Рассмотрим теперь вопросы построения информационной составляющей образов номинальных объектов. Будем считать, что дано некоторое множество номинальных объектов и необходимо создать класс их образов и описательный язык, который создает простые и удобные описания информационной составляющей образов элементов. Прежде всего, определим понятие простого информационного описания. Под простым описанием информационных свойств номинального объекта будем понимать структуру образа, в которой каждому свойству объекта соответствует одно описание. Другими словами, простое информационное описание свойств образа представляется в виде некоторой структуры, содержащей перечень свойств $\Pi(P_1, P_2, \dots, P_n)$, с их возможными значениями $\Pi(P_1(p_1^1, p_1^2, \dots, p_1^{k_1}), P_2(p_2^1, p_2^2, \dots, p_2^{k_2}), \dots, P_n(p_n^1, p_n^2, \dots, p_n^{k_n}))$. Причем значения свойств являются по парно непересекающиеся множества $P_i \cap P_j = \emptyset$ для всех $i \neq j$.

2.4 Определение перечня типовых свойств образов горно-геологических объектов.

Проанализируем возможное множество типов свойств, необходимых для описания геологических объектов.

В пространственно-временном континууме траектории точек горно-геологических объектов, представленные в номинальной системе номинальными объектами, определяются четырьмя координатами - x , y , z , t . Рассмотрим более подробно движение по временной координате - t . Добыча полезного ископаемого - длительный и довольно медленно развивающийся процесс. Интервалы времени исчисляются сутками, неделями, месяцами. Однако, кроме того, присутствуют быстро текущие процессы (чаще всего негативные - горные удары, выбросы, взрывы), счет времени в которых идет на доли секунды. Многие горно-геологические объекты практически не меняют свое положение в пространстве. Другие же не меняют своих свойств со временем. Соответственно, для описания пространственно-временных свойств горно-геологических объектов необходимо использовать отдельно три свойства: пространственная конфигурация образа объекта P_{xyz} , дата P_{Data} и время P_t наблюдения свойств объекта.

Выясним, какими признаками обладают остальные свойства. Во-первых, свойства отличаются друг от друга мощностью множества значений. Так, некоторые свойства обладают конечным перечнем значений $P_{|P|=n} = \{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n\}$, а иные свойства могут принимать бесконечное число значений $P_{|P|=\infty} = \{p_1, p_2, p_3, \dots\}$. Например, свойство, описывающее морфологию трещин, обладает конечным перечнем значений: волостные трещины, закрытые, заполненные, открытые, полые трещины и т. д. А свойство, характеризующее мощность пласта – имеет бесконечное число значений. Следовательно, признак «счётности» значений свойства содержит два элемента $Q_{|P|} = \{q, \infty\}$ (число значений конечно или число значений счетно).

Во-вторых, некоторые свойства являются результатом каких-либо измерений или вычислений и могут быть выражены числом P_R (мощность

пласта, азимут и угол падения слоя, координаты маркшейдерской точки), а некоторые этого лишены P_{-R} (названия, описания пород, цвет и т.д.). Не будем здесь обсуждать довольно экзотический для геологии способ определения (измерения) цвета по отраженному и поглощенному спектру, используемый в физике, химии, астрономии, результат которого можно выразить числами. Геолог всегда «на глаз» определяет цвет породы, минерала. Запишем признак «измеряемости» в виде $Q_R = \{R, -R\}$. Далее, P_R свойства могут быть представлены одним P_{R1} (длина, коэффициент крепости по Протоdjаконову, выход керна) или несколькими P_{RN} (координаты, элементы залегания слоя – угол и азимут падения) числами. Сами числа могут иметь различное представление и различное требование к точности, например, высоко точные измерения углов (свойство P_{Degr}) лучше хранить в виде целых трех чисел – градусы, минуты, секунды. Соответственно, признак «представляемости» состоит из конечного целых чисел $Q_N = \{0, 1, 2, 3, \dots, N\}$.

Большой объем информации в геологии дается в виде рисунков, фотографий, диаграмм каротажа и т. д. Для хранения подобного рода материала в компьютере используются так называемые битовые карты, в которых изображение хранится в виде матрицы точек. Такую информацию никак нельзя точно выразить или описать. В этом случае верна поговорка: «лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать». Признак возможности символьного описания информации принимает два возможных значения истина и ложь: $Q_{img} = \{img, -img\}$.

Описания пород, названия объектов, текстовые документы, результаты замеров, координаты - все эти сведения при ручной обработке представляют собой символьные строчки $Q_{char} = \{char, -char\}$. Строки могут быть описательного или определяющего характера. Например, названия, описание породы, минерала являются строками описания. А

измеренные величины, тип и класс поверхности контакта, морфология и генезис трещин и пр. являются строками определяющего характера. Тогда у свойств образов присутствует признак «определяемости» $Q_{def} = \{def, \neg def\}$. Этот признак очень сильно зависит от используемых моделей, от уровня развития геологии, как науки. Именно изменение этого признака у свойств объекта ведет к пересмотру используемых моделей.

Итак, основные типы свойств образа объекта должны быть следующие. Пространственный характер объекта описывают свойством P_{xyz} . Временные характеристики объекта в образе представляются свойствами P_{Data} или (и) свойством P_t . Класс свойства, определяемый признаками $q_R = \neg R$, $q_{img} = \neg img$, $q_{char} = char$, $q_{def} = \neg def$, является представлением произвольных символьных строк (текстов) $P_{Text} = \{p \in \Pi \mid p = \neg R \& \neg img \& char \& \neg def\}$. Множество свойств объектов, обладающих признаком $q_R = R$ и $q_{RN} = 1$, образуют класс свойств измерений, проводимых с горно-геологическими объектами $P_{Dim} = \{p \in \Pi \mid q_N = 1\}$, с учетом, что $q_N = 1 \subseteq R$. Класс свойств, горно-геологических объектов, определяемый из конечного числа допустимых значений, задается отношением $P_{Signf} = \{p \in \Pi \mid q_{|P|} = q \& \neg img \& def\}$.

Итак, структура информационного описания образов горно-геологических объектов характеризуется ансамблем типовых свойств $\langle P_{Obj}, P_{xyz}, P_{Data}, P_t, P_{Text}, P_{Dim}, P_{Signf}, P_{Degr}, P_{Img} \rangle$ и представлена в таблице 2.1.

Легко видеть, что совокупность свойств, записанных в таблице, образует базис [19]. Поэтому, множества свойств, получаемых в результате операции пересечения между собой элементов ансамбля, пусты $P_{Obj} \cap P_{xyz} \cap P_{Data} \cap P_t \cap P_{Text} \cap P_{Dim} \cap P_{Signf} \cap P_{Degr} \cap P_{Img} = \emptyset$.

Итак, описание номинального объекта строится из перечня свойств, которые присущи реальной системе и реальным объектам.

Аксиоматическое определение нового типа номинального объекта однозначно определяет значение свойства P_{obj} ($P_{obj} = p^i$). С вновь введенным номинальным объектом неразрывно связано некоторое множество свойств $\Pi^i \subseteq \Pi$, являющимся подмножеством всех наблюдаемых свойств в реальной системе. В ходе некоторой j -й формализации из всех свойств Π^i , соответствующих номинальному объекту, перечислением задается то множество свойств $\Pi_j^i \subseteq \Pi^i$, которое и необходимо для функционирования j -й номинальной системы. Другими словами, p^i есть некоторое условие (тест), с помощью которого определяется множество Π^i . В дальнейшем множество $\Pi_j^i(P_1, P_2, \dots, P_n)$ будем называть *каркасом свойств номинального объекта*. То есть каркас свойств номинального объекта - это попросту перечень его свойств без их значений.

Табл. 2.1.

Типовые свойства информационного описания образов

Тип свойства	Обозначение	Категория
Тип образа номинального объекта	P_{obj}	Элемент
Пространственная топология образа объекта	P_{xyz}	Элемент
Этапы измененения образа объекта	P_{Data}, P_t	Элемент
Текстовые сведения об объекте	P_{Text}	Класс
Измерения, произведенные над объектом	P_{Dim}	Класс
Признаки объекта, определяемые из счетного множества	P_{Signf}	Класс
Угловые измерения	P_{Degr}	Элемент
Графические битовые карты	P_{Img}	Класс

В таблице 2.2 приведены примеры каркасов свойств нескольких номинальных объектов различного масштаба: шахтного поля, выработки, геологического наблюдения слоя, поверхности и включений, т.е. часть

описания одного слоя, производимая при проведении геологического наблюдения.

Табл. 2.2.

Пример картографов свойств номинальных объектов.

Номинальный объект		Свойство	
Название	Краткое определение	Тип	Название
Шахтное поле	Номинальный объект, соответствующий участку, карьерному или шахтному полю	P_{Text}	Название шахтного поля
		P_{Dim}	Протяженность по простиранию
			Глубина по падению
			Глубина по восстанию
			Площадь
		P_{Signf}	Способ разработки
			Способ вскрытия
			Стадия освоения угольного месторождения
			Номер шахтного поля в перечне шахтных полей РФ
			Угледобывающее предприятие, производящее разработку месторождения
		P_{Signf}	Производственное объединение по отраслевому кодификатору предприятий
			Субъект РФ, где расположено шахтное поле
			Экономический район РФ, где расположено шахтное поле

Номинальный объект		Свойство	
Название	Краткое определение	Тип	Название
Шахтное поле (продолжение)	Номинальный объект, соответствующий участку, карьерному или шахтному полю	P_{Signf}	Угольный бассейн, где находится шахтное поле
			Месторождение или угольный район, где находится шахтное поле
Выработка	Горная выработка	P_{xyz}	Координаты начала выработки
			Координаты конца выработки
		P_{Text}	Название выработки
		P_{Data}	Начало проходки
		P_{Data}	Окончание проходки
		P_{Dim}	Протяженность выработки
		P_{Signf}	Вид выработки
			Способ разработки
			Наклон
			Положение на месторождении
			Функциональное назначение
			Хозяйственное назначение
			Транспорт
		P_{Signf}	Отношение к угольному пласту
			Положение к залеганию угольного пласта
			Профиль
			Процесс разработки

Номинальный объект		Свойство	
Название	Краткое определение	Тип	Название
Выработка (продолжение)	Горная выработка	P_{Signf}	Положение относительно сторон света
			Стадия освоения
			Положение на местности
			Тампонаж
			Замер искривления
			Порядок вскрытия слоев
		P_{Degr}	Начальный угол наклона
			Начальный азимут наклона
			Средний угол наклона
Геологическое наблюдение слоя	Описание слоя в обнажении	P_{Text}	Номер слоя в обнажении
			Минералогический состав
			Описание
			Другие данные
		P_{Dim}	Интервал
			Мощность по нормали
			Выход керна
			Интервал вскрытый
			Коэффициент крепости по Протоdjаконову
			Максимальная мощность слойка
			Минимальная мощность слойка
			Присечка почвы
			Присечка кровли

Номинальный объект		Свойство	
Название	Краткое определение	Тип	Название
Геологическое наблюдение слоя (продолжение)	Описание слоя в обнажении	P_{Dim}	Интервал
			Мощность по нормали
			Выход керна
			Интервал вскрытый
			Коэффициент крепости по Протоdjаконову
			Максимальная мощность слойка
			Минимальная мощность слойка
			Присечка почвы
			Присечка кровли
		P_{Signf}	Литология
			Отдельность
			Характеристика слоистости
			Цемент
			Структура
			Текстура
			Излом
			Цвет
			Блеск углей
			Обводнённость
Поверхность слоя	Описания почвы или кровли слоя в точке геологического наблюдения	P_{xyz}	Координаты точки привязки
		P_{Dim}	Глубина подсечки поверхности
		P_{Signf}	Контакты поверхностей
			Класс поверхностей

Номинальный объект		Свойство	
Название	Краткое определение	Тип	Название
Поверх- ность слоя (продол- жение)	Описания почвы (кровли) слоя в точке	P_{Degr}	Угол падения видимый
			Угол падения истинный
			Азимут падения
Включения	Включения, встречающиеся в слое в точке геологического наблюдения	P_{Dim}	Длина
			Толщина
			Частота
			Коэффициент крепости по Протоальяконову
		P_{Signf}	Состав
			Тип

2.5 Определение типов связей образов горно-геологических объектов.

Рассмотрим взаимосвязи номинальных объектов между собой и определим их возможные типы.

В геологии любой объект, так или иначе, связан с другими объектами. Причем связи между ними могут быть самые разные, они определяются, как: «объект состоит из ...» и «объект входит в ...». Очевидно, связи между объектами являются их свойствами. Действительно, рассмотрим связи номинального объекта A . Пусть он состоит из объектов B, C, D . Тогда связь определяет совокупность объектов, входящих в рассматриваемый объект. Эту связь можно представить в виде некоторого свойства типа P_{Int} . Значением этого свойства выступает строго упорядоченное множество входящих объектов $p = \{B, C, D\}$. С помощью свойства P_{Int} строятся произвольные, в том

числе и иерархические, структуры локального, регионального и глобального порядка.

Внутренней связью i -го номинального объекта будем называть бинарное отношение R , соответствующее понятию «часть» вида $NO_j R NO_i$. Другими словами, об объектах NO_i и NO_j можно сказать, что i -й объект включает в себя как составную часть j -й номинальный объект. Множество $I_{Int} \subseteq NS$, состоящее только из соотношений, описывающих внутренние связи i -го номинального объекта, будем называть структурой номинального объекта:

$$I_{Int}^i \mid \left(\left(\forall j, NO_j R NO_i \in I_{Int}^i \right) \& \left(I_{Int}^i \subseteq NS \times NS \right) \right).$$

Рассмотрим теперь связи объекта B . Он входит в объект A , но так же он может входить и в другие объекты, например, в объекты C и D . Тогда связь определяет принадлежность номинального объекта B другим номинальным объектам. Эту связь можно представить некоторым свойством P_ϵ , которое определяет те объекты, в которые рассматриваемый объект B входит как составная часть. Значением свойства в данном случае является неупорядоченное множество $p = \{A, C, D\}$.

Внешней связью i -го номинального объекта будем называть бинарное отношение R , соответствующее понятию «часть» вида $NO_i R NO_j$. Об объектах i и j можно сказать, что объект NO_i является составной частью (принадлежит, входит в, относится к и т. д.) номинального объекта NO_j . Множество $I_\epsilon \subseteq NS$, состоящее только из соотношений, описывающих внешние связи i -го номинального объекта, будем называть картографом номинального объекта:

$$I_\epsilon^i \mid \left(\left(\forall j, NO_i R NO_j \in I_\epsilon^i \right) \& \left(I_\epsilon^i \subseteq NS \times NS \right) \right).$$

Необходимо подчеркнуть, что свойства P_{Int} и P_ϵ описывают различные связи. Так свойство P_{Int} описывает внутренние связи объекта,

т.е. перечисляет объекты, из которых состоит рассматриваемый. А свойство P_{ϵ} описывает внешние связи, т.е. перечисляет все объекты, к которым рассматриваемый объект относится как составной элемент. Связи, описываемые свойством P_{ϵ} , носят, как локальный, т.е. между объектами одного шахтного поля, выемочного участка, так и глобальный характер, осуществляя связь в пределах месторождения, бассейна (например, справочник угленосных отложений Российской Федерации).

Внутренние и внешние связи номинального объекта подчиняются следующему соотношению: $I_S = I_{Int} \cup I_{\epsilon}$. Номинальный объект, у которого множество всех внутренних связей пустое - $I_{Int} = \emptyset$, будем называть простым номинальным объектом. Здесь простота понимается с точки зрения структурных внутренних связей (внутренней организации) объекта. Другими словами простой номинальный объект - это такой объект, который не содержит (не включает в себя) других номинальных объектов. Номинальный объект, у которого множество всех внутренних связей не пустое - $I_{Int} \neq \emptyset$, будем называть составным номинальным объектом.

В силу протекания горных и технологических процессов, в ходе разработки месторождения, горные объекты претерпевают изменения. Эти изменения могут подчиняться некоторым закономерностям или зависимостям, известным или не известным, а могут носить случайный характер. После происшедших изменений свойства объекта меняются. Другими словами, объект переходит из состояния L^j , со значениями свойств $\{P_i = p_i^j\}$, в состояние L^{j+1} , со значениями свойств $\{P_i = p_i^{j+1}\}$. Соответственно, эти изменения представляются упорядоченным множеством состояний горно-геологического объекта. Таким образом, в систему необходимо ввести элементы образов, соответствующие состоянию номинального объекта. Состоянием номинального объекта на момент времени T будем называть аксиоматически введенный

номинальный объект со значениями свойств и связей на данный момент времени $NO_T \in NO\{NO_{T_1}, NO_{T_2}, \dots, NO_{T_n}\}$. Другими словами, номинальный объект состоит из номинальных объектов, соответствующих его состояниям, для различных моментов времени.

Образ номинального объекта связан с образами состояний свойством P_{Int} . Каждый образ состояния объекта характеризуется свойством P_{Data} или (и) свойством P_i . В структуру образа состояния номинального объекта входят только те свойства, которые меняются со временем. Все множество состояний номинального объекта $I_T\{NO_{T_1}, NO_{T_2}, \dots, NO_{T_n}\}$, отражающее изменение одного или нескольких свойств $\{P_i = p_i^j\}$ номинального объекта, будем называть динамикой развития свойств P_i номинального объекта.

Табл. 2.3.

Бинарные отношения образов номинальных объектов

Понятия	Обозначение	Тип
Состояние объекта	P_{obj}	Образ номинального объекта
Внутренние связи рассматриваемого образа объекта с другими	P_{Int}	Свойство
Внешние связи образа с другими образами объектов	P_{ϵ}	Свойство

Итак, для описания структуры номинальных объектов и системы в целом и для представления динамических изменений с объектами во времени достаточно трех понятий: внутренние, внешние связи и состояние объекта (табл. 2.3). Структура образа номинального объекта запишется в виде $Obr\langle def, I_{Ind}, I_q, I_{Int}, I_{\epsilon}, I_T \rangle$, то есть структура образа произвольного номинального объекта состоит из аксиоматического определения и множества свойств структуры, описывающих внутреннюю организацию

объекта, внешние связи, динамику развития этого номинального объекта и списка моделей. В общем случае любой из перечисленных компонентов, кроме определения номинального объекта, может быть пустым.

На рис. 2.1 приведен пример использования связей между номинальными объектами. Здесь в графическом виде представлена упрощенная схема организации информации о геологических наблюдениях в разведочных скважинах. Стрелками показаны связи, возникающие при индексации (идентификации) слоев в скважинах, соответственно с локальной стратиграфической колонкой, паспорт которой ведется на угледобывающем предприятии и через неё с глобальной стратиграфической колонкой угольного бассейна. В системе используется классификатор организаций и предприятий угольной промышленности России [52]. Так, подсеченный разведочной скважиной ПК-4187 слой № 26 идентифицирован как угольный пласт g_7 по локальной стратиграфической колонке шахтного поля и по глобальной стратиграфической колонке Печерского угольного бассейна. Слой № 4 определен как “pQ суглинок с гравием, галькой и валунами” только по локальной стратиграфической колонке. Не идентифицированные слои таких связей не имеют, например слой № 251.

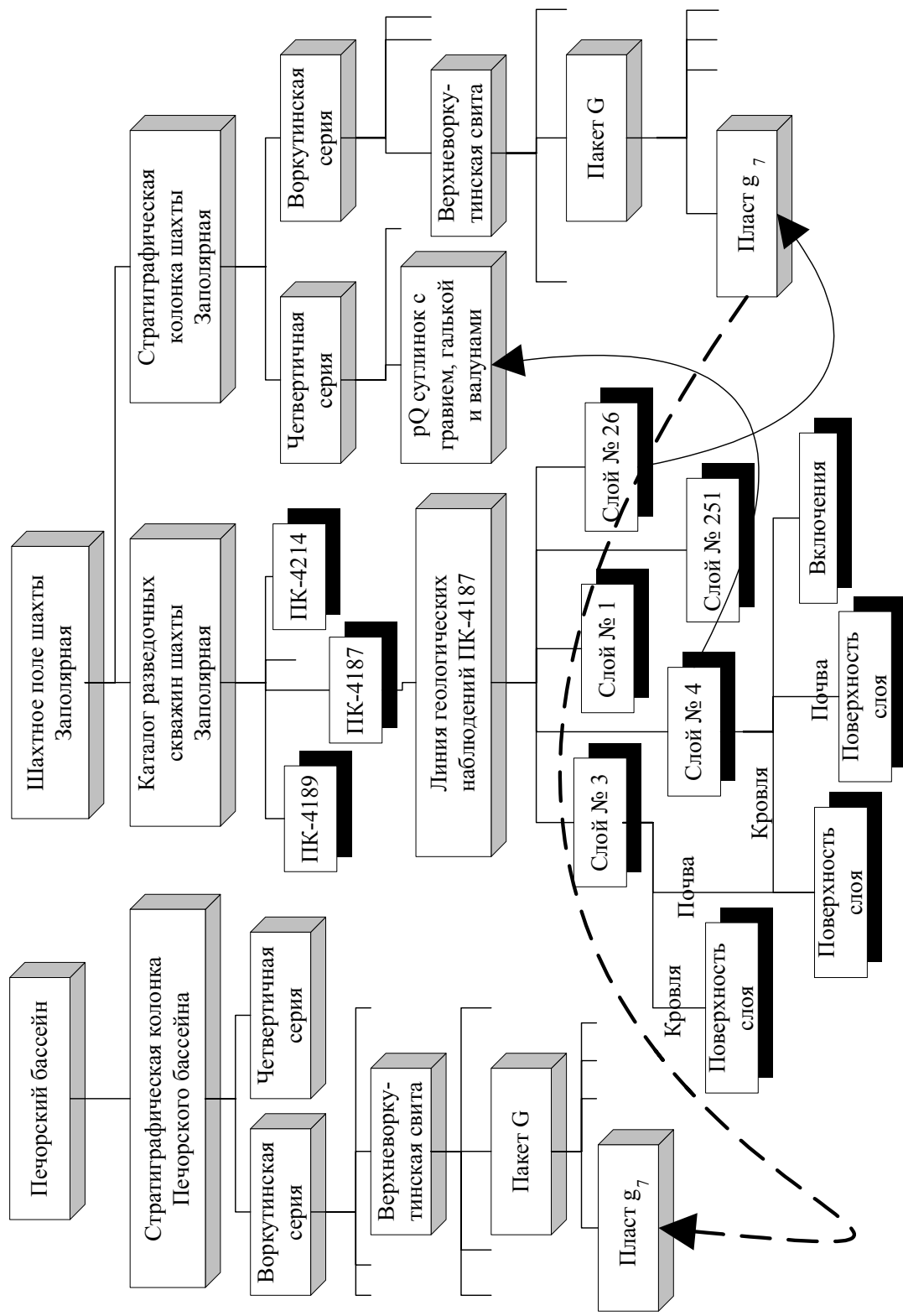


Рис. 2.1.

Схема организации информации о геологических наблюдениях в разведочных скважинах

2.6 Основные соотношения между номинальными объектами, системами и формализациями.

Для проведения исследования организации внутренних связей в номинальных системах введем ряд аксиом, которые должны выполняться для понятий, определенных в предыдущем параграфе.

Аксиомы равенства.

1. Номинальный объект i однотипен номинальному объекту j , когда у этих объектов одно и то же аксиоматическое определение. Такая ситуация проиллюстрирована диаграммой, представленной на рис. 2.2 – г. Выполнение этого условия будем обозначать символом равенства с символом τ (от греческого слова *τυπος* - тип) над ним - $\overset{\tau}{=}$.

$$\forall NO^i, NO^j \left((def^i = def^j) \Rightarrow NO^i \overset{\tau}{=} NO^j \right).$$

Соответственно, образы однотипных объектов однотипны. Наибольший интерес представляет исследование изменения образов номинальных объектов, определенных на одном и том же множестве дефиниций при различных формализациях реальной системы, когда получаются номинальные системы, близкие друг к другу.

2. Структуры номинальных объектов равны тогда и только тогда, когда правые элементы во всех внутренних связях первого номинального объекта совпадают с правыми элементами во всех внутренних связях второго номинального объекта (рис. 2.3).

$$\forall I_{Int}^i, I_{Int}^j \left((\forall k \forall l (NO_i R NO_k, NO_j R NO_l \Leftrightarrow k = l) \Rightarrow I_{Int}^i = I_{Int}^j \right).$$

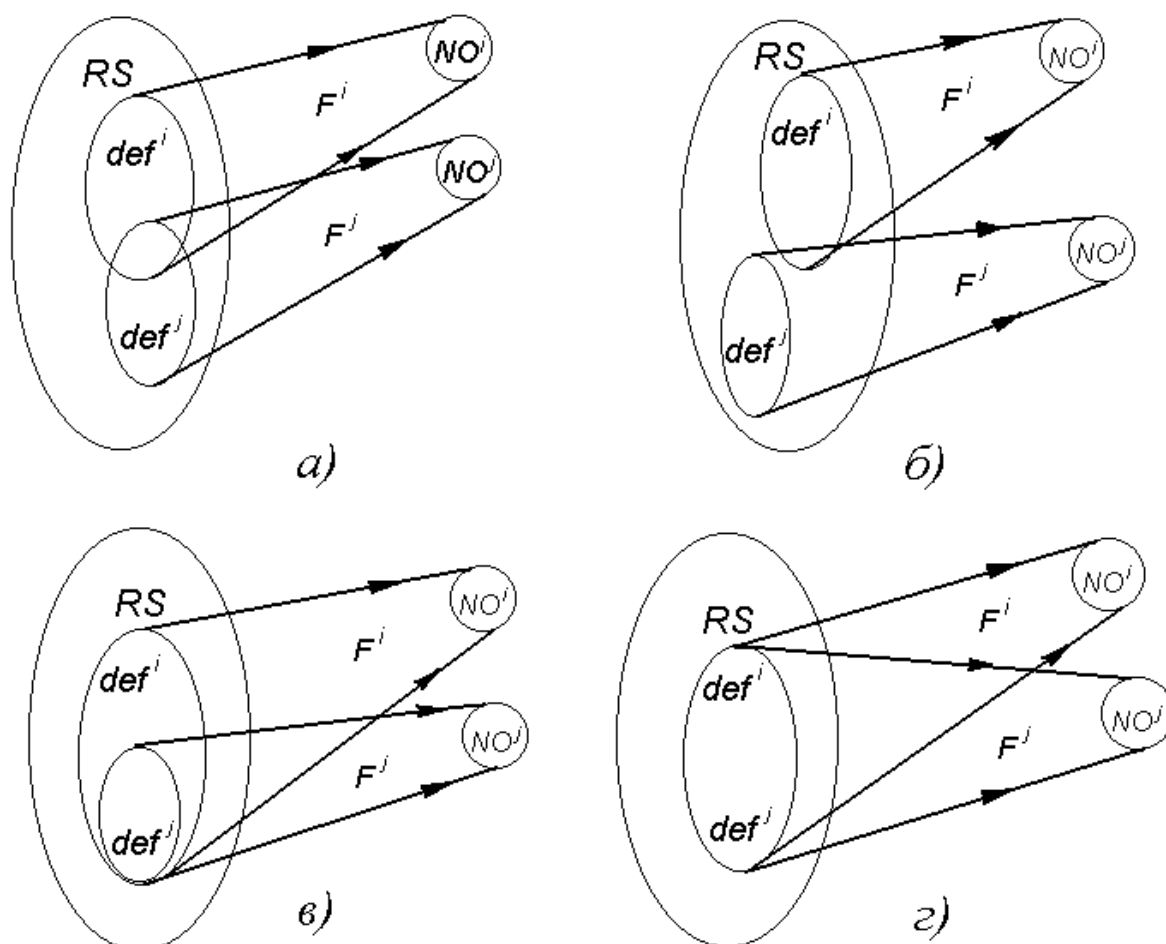


Рис. 2.2.

Соотнесение аксиоматических определений номинальных объектов

- а) определения пересекаются; б) определения не совпадают; в) определение одного объекта включает в себя определение другого объекта; г) определения совпадают.

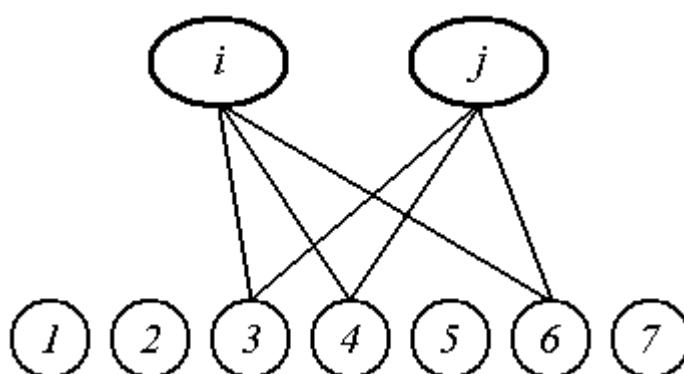


Рис. 2.3

Равенство структур номинальных объектов.

3. Картографы номинальных объектов равны тогда и только тогда, когда правые элементы во всех внешних связях первого номинального объекта совпадают с правыми элементами во всех внешних связях второго номинального объекта рис. 2.4.

$$\forall I_{\epsilon}^i, I_{\epsilon}^j \left(\forall k \forall l (NO_i R NO_k, NO_j R NO_l \Leftrightarrow k = l) \Rightarrow I_{\epsilon}^i = I_{\epsilon}^j \right).$$

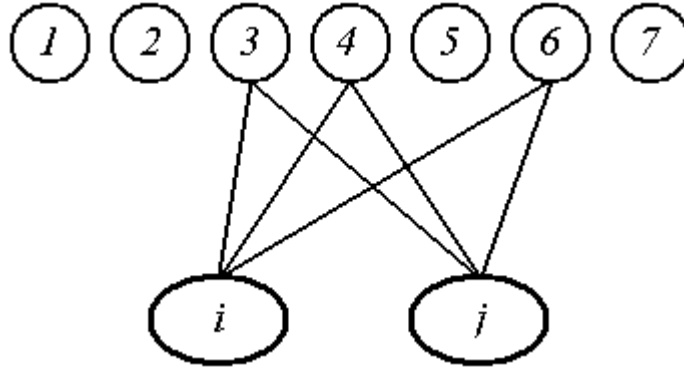


Рис. 2.4.

Равенство внешних связей номинальных объектов.

4. Динамика развития номинальных объектов тождественна между собой тогда и только тогда, когда совпадают множества I_T^i и I_T^j , т.е. содержат одни и те же образы состояний номинального объекта и описывают изменение одних и тех же свойств P .

$$\forall I_T^i, I_T^j \left(\forall NO_T (NO_T \in I_T^i \Leftrightarrow NO_T \in I_T^j) \& (P^i = P^j) \Rightarrow I_T^i = I_T^j \right).$$

5. Каркасы свойств номинальных объектов равны тогда и только тогда, когда перечни свойств обоих номинальных объектов совпадают. На рис. 2.5 это объекты j и l соответственно.

$$\forall K^i, K^j \left(\forall k (P_k \in K^i \Leftrightarrow P_k \in K^j) \Rightarrow K^i = K^j \right).$$

6. Свойства номинальных объектов равны тогда и только тогда, когда все значения свойств одного номинального объекта равны значениям свойствам другого номинального объекта (рис. 2.6).

$$\forall I_Q^i, I_Q^j \left(\forall k (P_k = p_k \in I_Q^i \Leftrightarrow P_k = p_k \in I_Q^j) \Rightarrow I_Q^i = I_Q^j \right).$$

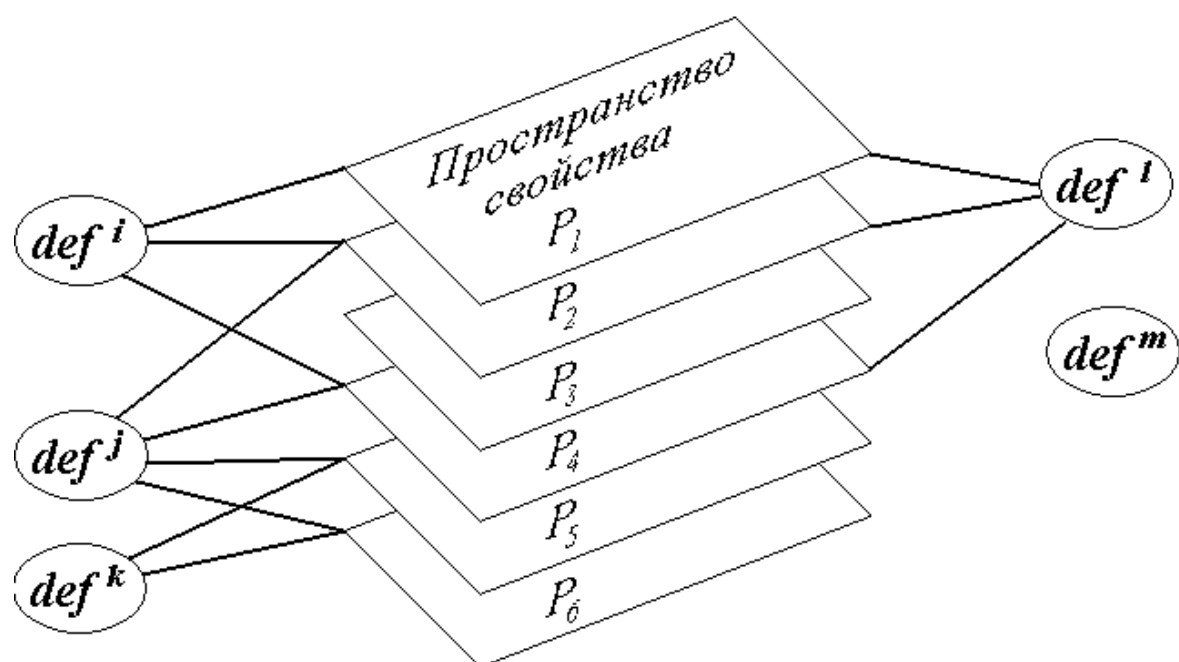


Рис. 2.5.

Соотнесение каркаса свойств номинальных объектов.

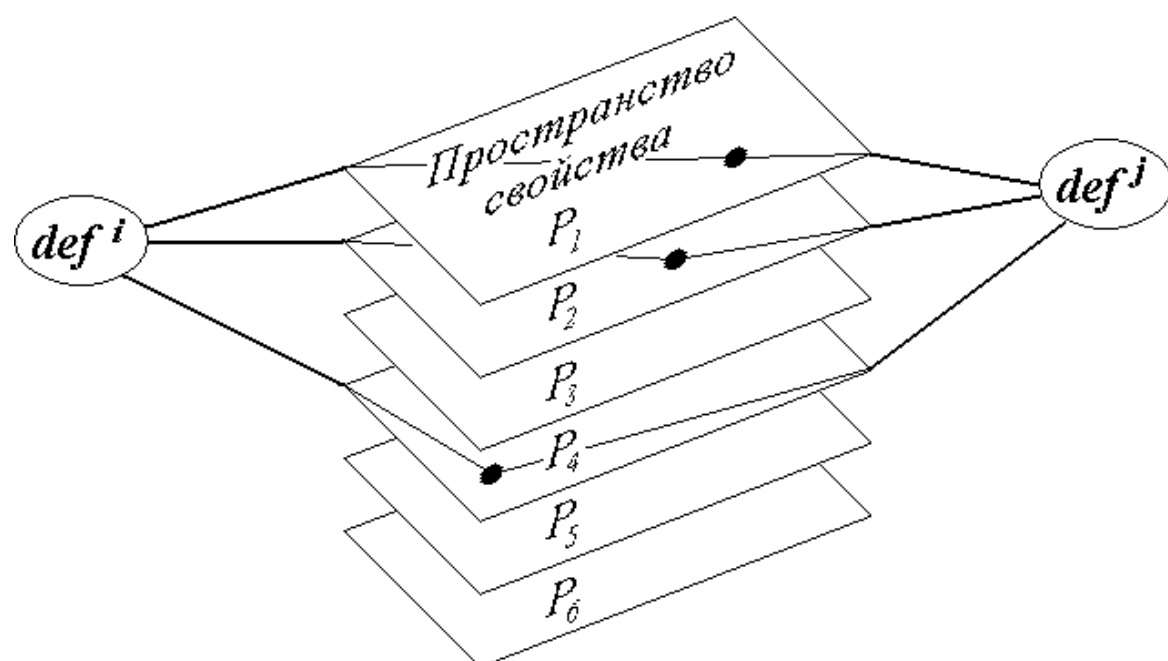


Рис. 2.6

Соотнесение свойств номинальных объектов.

7. Номинальный объект i совпадает с номинальным объектом j тогда и только тогда, когда они однотипны и имеют одинаковые идентификаторы.

$$\forall NO^i, NO^j \left((NO^i \stackrel{\tau}{=} NO^j \ \& \ I_i^i = I_q^j) \Rightarrow NO^i \sim NO^j \right).$$

8. Номинальный объект i равен номинальному объекту j тогда и только тогда, когда они однотипны и у этих объектов равны свойства, структуры, картографы и динамика.

$$\forall NO^i, NO^j \left(\left(NO^i \stackrel{\tau}{=} NO^j \ \& \ I_Q^i = I_Q^j \ \& \ I_{Int}^i = I_{Int}^j \ \& \ I_{\epsilon}^i = I_{\epsilon}^j \ \& \ I_T^i = I_T^j \right) \Rightarrow NO^i = NO^j \right).$$

Запись $NO^i \neq NO^j$ означает, что эти два номинальных объекта не равны между собой, что можно записать в виде $\neg(NO^i = NO^j)$.

Перечисленные аксиомы можно условно разделить на две группы. Первая группа относится к конкретным номинальным объектам. То есть, определяет совпадение конкретных объектов. Сюда относятся аксиомы 2, 3, 4, 5 и 8, которые связывают, соответственно, компоненты I_{Int} , I_{ϵ} , I_T , I_q образа и сам образ $Obr \langle def, I_{Ind}, I_q, I_{Int}, I_{\epsilon}, I_T \rangle$ номинального объекта. Область применения этих аксиом чаще всего ограничена одной номинальной системой.

Аксиомы второй группы, сюда относятся 1, 6 и 7 аксиомы, позволяют оперировать описаниями номинальных объектов, существующие в различных номинальных системах. То есть, они затрагивают определение образа, идентификацию объекта и список его свойств.

В общем виде все термы образа номинального объекта являются конечными множествами. Так, определение номинального объекта можно представить в виде перечисления элементарных частей реальной системы. Отметим некоторые особенности этих множеств. Так, мощности множеств,

характеризующие определение, идентификацию и свойства номинального объекта, являются константами для всех однотипных объектов в системе ($N_{Def} = |def| = const$, $N_{Ind} = |I_{Ind}| = const$, $N_Q = |I_Q| = const$). Кроме этого, для всех номинальных объектов во всех системах выполняется условие $N_{Ind} = 1$. Иначе дело обстоит с внутренними и внешними связями номинального объекта, а также с динамикой его развития. В общем случае мощность этих множеств может быть произвольна даже для однотипных объектов ($N_{Int} = |I_{Int}| \neq const$, $N_{\epsilon} = |I_{\epsilon}| \neq const$, $N_T = |I_T| \neq const$).

9. Номинальная система NS_i однотипна номинальной системе NS_j тогда и только тогда, когда для произвольного объекта системы i всегда найдется однотипный объект в системе j и наоборот. Для произвольного объекта в системе j всегда найдется однотипный объект в системе i .

$$\exists NS_i, NS_j \left[\begin{array}{l} \left((\forall NO^i (NO^i \in NS_i), \exists NO^j (NO^j \in NS_j) \mid NO^i \tau NO^j) \Leftrightarrow \right. \\ \left. (\forall NO^j (NO^j \in NS_j), \exists NO^i (NO^i \in NS_i) \mid NO^j \tau NO^i) \Rightarrow \right. \\ \left. NS_i \tau NS_j \right) \end{array} \right].$$

10. Номинальная система NS_i равна (тождественна) другой номинальной системе NS_j тогда и только тогда, когда все элементы (номинальные объекты) одной системы тождественно совпадают со всеми элементами (номинальными объектами) другой системы

$$\forall NS_i, NS_j (\forall NO (NO \in NS_i \Leftrightarrow NO \in NS_j) \Rightarrow NS_i = NS_j).$$

Ясно, что если номинальная система NS_i и номинальная система NS_j имеют одни и те же номинальные объекты, то одну можно заменить другой. Соответственно запись $NS_i \neq NS_j$ означает, что эти две номинальные системы не равны между собой, т.е. отрицание факта, что $NS_i = NS_j$, что можно записать в виде $\neg(NS_i = NS_j)$.

11. Все процессы формализации, переводящие некоторую j -ю реальную систему RS^j во множество однотипных номинальных систем NS^j , тождественны между собой

$$\forall F_i^j, F_k^j \left((F_i^j \in RS^j, F_k^j \in RS^j) \Leftrightarrow (NS_i^j \stackrel{\tau}{=} NS_k^j) \Rightarrow F_i^j = F_k^j \right).$$

Отрицание этого факта $(F_i^j \neq F_k^j)$ означает, что два процесса формализации не равны между собой. Из этого следует, что процессы формализации, переводящие отличные друг от друга реальные системы RS^j и RS^k в одну и ту же номинальную систему NS , также не равны между собой.

$$\forall F_i^j, F_k^j \left((F_i^j \in RS^j, F_k^j \notin RS^j) \Leftrightarrow (NS_i^j = NS_k^j) \Rightarrow \neg(F_i^j = F_k^j) \right).$$

Аксиомы включения.

1. Образ номинального объекта i включает в себя образ номинального объекта j тогда и только тогда, когда все перечисленные элементарные части системы входящие в определение def^j , входят и в определение def^i .

$$def^j \subseteq def^i \Leftrightarrow \forall def (def \in def^j \Rightarrow def \in def^i)$$

Этот случай возможен как результат проведения различных формализаций одной и той же реальной системы. Так, в ходе формализации F_i получаем некоторый сложный объект NO^i . А в результате формализации F_j получаем более простой номинальный объект NO^j . Результат такого процесса проиллюстрирован диаграммой на рис. 2.2 а. Вполне очевидно, что мощности свойств объектов i и j удовлетворяют соотношению $N_Q^i \geq N_Q^j$.

Другими словами, это характеризует процесс формализации. То есть, формализация F_j на данной части реальной системы была выполнена детальней, чем формализация F_i .

2. Дополнением образа номинального объекта i в образе номинального объекта j является такой номинальный объект, определение которого $(def^j - def^i)$ включает только такие определения (def^j) номинального объекта j , которые не входят в определение (def^i) i -го номинального объекта (рис. 2.2 а и в).

$$def^j - def^i = \{def \in def^j \mid def \notin def^i\}$$

3. Структура номинального объекта i включает в себя структуру номинального объекта j тогда и только тогда, когда все номинальные объекты, входящие в номинальный объект i , входят и в номинальный объект j (рис. 2.7).

$$I_{Int}^j \subseteq I_{Int}^i \Leftrightarrow \forall I_{Int} (I_{Int} \in I_{Int}^j \Rightarrow I_{Int} \in I_{Int}^i)$$

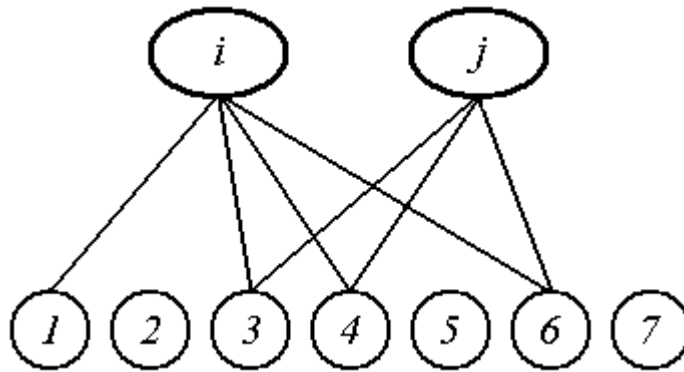


Рис. 2.7.

Соотнесение структур номинальных объектов

4. Дополнением структуры номинального объекта j в структуре номинального объекта i - это такие связи номинального объекта i , которые определяют $(I_{Int}^j - I_{Int}^i)$ номинальные объекты, не входящие в номинальный объект j (на рис. 2.7 вхождение 1-го объекта в i -й объект).

$$I_{Int}^j - I_{Int}^i = \{I_{Int} \in I_{Int}^j \mid I_{Int} \notin I_{Int}^i\}$$

5. Картограф номинального объекта i включает в себя картограф номинального объекта j тогда и только тогда, когда все правые элементы во внешних связях j -го номинального объекта присутствуют в виде правых элементов во внешних связях i -го номинального объекта (рис. 2.8).

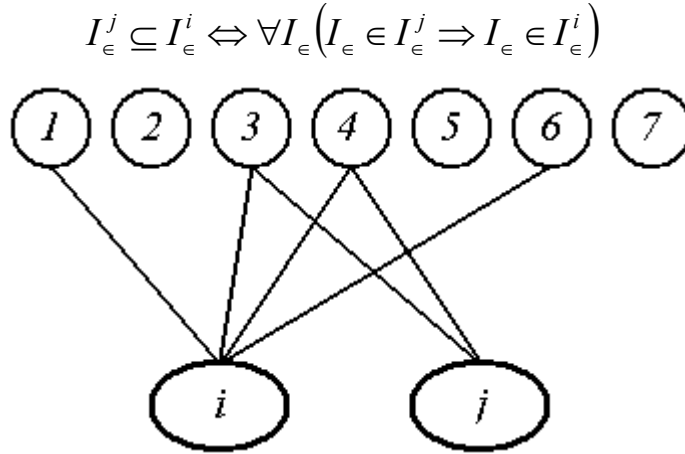


Рис. 2.8.

Соотнесение внешних связей номинальных объектов.

6. Дополнением картографа номинального объекта j в картографе номинального объекта i являются те внешние связи $(I_{\epsilon}^j - I_{\epsilon}^i)$ номинального объекта i , определяющие номинальные объекты в которые не входит номинальный объект j (рис. 2.8 объект j не входит в объект 1).

$$I_{\epsilon}^j - I_{\epsilon}^i = \{I_{\epsilon} \in I_{\epsilon}^j \mid I_{\epsilon} \notin I_{\epsilon}^i\}$$

7. Каркас свойств номинального объекта i включает в себя каркас свойств номинального объекта j тогда и только тогда, когда все свойства P номинального объекта j являются и свойствами номинального объекта i (На рисунке 2.5 объекты j и k соответственно).

$$K^j \subseteq K^i \Leftrightarrow \forall P (P \in K^j \Rightarrow P \in K^i).$$

Эта ситуация чаще всего возникает после, так сказать, уточняющей или корректирующей формализации. Тогда, когда в системе необходимо учесть дополнительные свойства объектов. Иногда подобная ситуация может быть представлена при сравнении различных номинальных систем,

созданных в различное время или различными коллективами для описания одной и той же реальной системы. В целом можно сказать, что в ходе формализации F_i создан образ номинального объекта, который более подробно и комплексно описывает некоторую часть реальной системы, чем образ номинального объекта, полученного в результате формализации F_j . Различные варианты соотнесения каркаса свойств номинальных объектов представлены на рис. 2.5.

8. Дополнением к каркасу свойств номинального объекта i в каркасе свойств номинального объекта j является такой каркас $(K^j - K^i)$ некоторого номинального объекта, который включает только такие свойства номинального объекта j , которые не входят в каркас свойств i -го номинального объекта.

$$K^j - K^i = \{P \in K^j \mid P \notin K^i\}$$

На рис. 2.5 дополнение к каркасу свойств j -го номинального объекта в каркасе свойств i -го номинального объекта будет каркас свойств, состоящий из свойства P_1 .

9. Номинальная система NS_i включает в себя номинальную систему NS_j тогда и только тогда, когда все элементы (номинальные объекты) системы NS_j являются и элементами (номинальными объектами) системы NS_i

$$NS_j \subseteq NS_i \Leftrightarrow \forall NO (NO \in NS_j \Rightarrow NO \in NS_i).$$

В этом случае часто номинальную систему NS_j называют подсистемой номинальной системы NS_i .

10. Дополнением к номинальной системе i в номинальной системе j является такая номинальная система $(NS^j - NS^i)$, которая включает номинальные объекты системы j , не входящие в систему i .

$$NS^j - NS^i = \{NO \in NS^j \mid NO \notin NS^i\}.$$

Аксиомы пустого номинального объекта и пустой номинальной системы.

Аксиома пустого номинального объекта утверждает, что существует, по крайней мере, один пустой образ номинального объекта. Другими словами, этот образ не содержит никакого аксиоматического определения и, как следствие, вообще ничего не содержит.

$$\exists NO \forall def (def \notin NO).$$

Такой образ номинального объекта будем обозначать символом, принятым в теории множеств - \emptyset .

Аксиома о пустой структуре номинального объекта утверждает, что существует, по крайней мере, один номинальный объект, обладающий пустой структурой ($I_{Int} = \emptyset$). То есть, такой номинальный объект, который не является составным.

$$\exists NO \forall I_{Int} (I_{Int} \notin NO).$$

Такие номинальные объекты являются, с точки зрения организации внутренней структуры, простыми номинальными объектами. Определения о простом и составном объекте даны выше.

Аксиома о пустом картографе номинального объекта утверждает, что существует, по крайней мере, один номинальный объект, обладающий пустым картографом ($I_{\epsilon} = \emptyset$). То есть, такой номинальный объект, который не входит составной частью ни в какие номинальные объекты.

$$\exists NO \forall I_{\epsilon} (I_{\epsilon} \notin NO).$$

Такие номинальные объекты являются, с точки зрения организации внешних связей, самоопределяющимися или главными номинальными объектами в системе.

Определение. Главным номинальным объектом NO^i в номинальной системе NS называется номинальный объект, не обладающий картографом $I_{\epsilon}^i = \emptyset$.

Аксиома о пустом каркасе свойств номинального объекта утверждает, что существует, по крайней мере, один номинальный объект, обладающий пустым перечнем свойств ($K = \emptyset$).

$$\exists NO \forall K (K \neq NO).$$

Аксиома об отсутствии динамики у номинального объекта утверждает, что в номинальной системе существует, по крайней мере, один номинальный объект, у которого динамика его развития пуста ($I_T = \emptyset$). То есть, такой номинальный объект, который не меняется со временем.

$$\exists NO \forall I_T (I_T \neq NO).$$

Не изменяющиеся номинальные объекты являются статическими.

Определение. Статическим номинальным объектом NO^i в номинальной системе NS называется номинальный объект, у которого отсутствует динамика $I_T^i = \emptyset$.

Аксиома о пустой номинальной системе утверждает, что существует, по крайней мере, одна пустая номинальная система. То есть система, не содержащая ни одного номинального объекта

$$\exists NS \forall NO (NO \notin NS).$$

Определенную таким образом номинальную систему будем обозначать символом - \emptyset .

Аксиомы объединения и пересечения.

1. В результате объединения образа номинального объекта i с образом номинального объекта j , получаем образ некоторого объекта с определением def^R , в которое входят понятия (d^i), присутствующие в определении def^i , и понятия (d^j), присутствующие в определении def^j .

$$\forall def^i \forall def^j \exists def^R \left(\begin{array}{l} \forall d^i (d^i \in def^i) \& \forall d^j (d^j \in def^j) \Leftrightarrow \\ \forall d^i (d^i \in def^R) \& \forall d^j (d^j \in def^R) \end{array} \right)$$

Выполнение этой операции можно записать в виде $def^R = def^i \cup def^j$. Если определения участвующих объектов в объединении равны $def^i = def^j$, то в результате имеем тождество $def^R = def^i \cup def^j = def^i = def^j$. Такая операция объединения необходима для построения аппарата, позволяющего производить сравнение формализованных систем между собой (диаграмма, иллюстрирующая такой вариант, представлена на рис. 2.9).

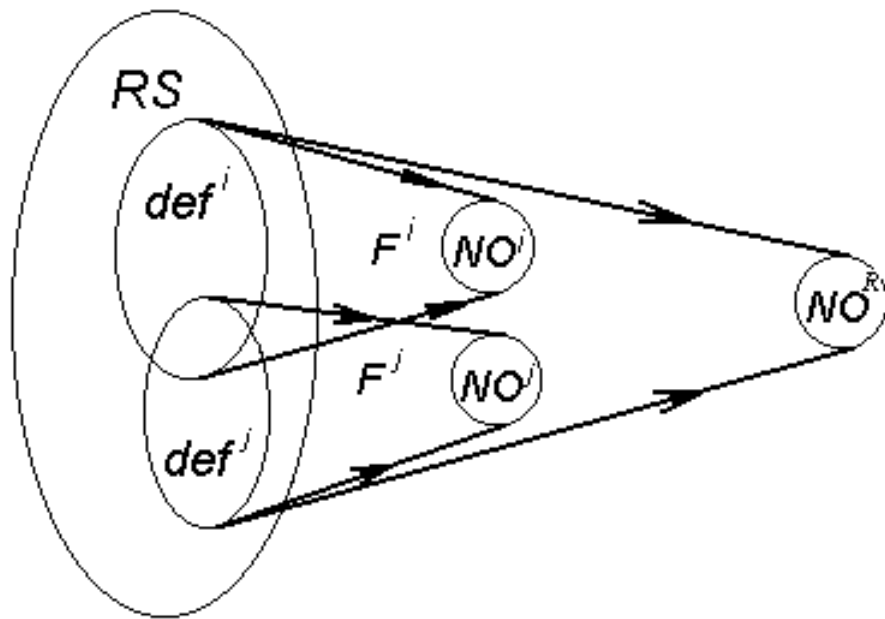


Рис. 2.9

Объединение определений образов номинальных объектов при различных формализациях реальной системы

2. В результате пересечения образа номинального объекта i с образом номинального объекта j , получаем образ некоторого объекта с определением def^R , в которое входят понятия (d), входящие и в определение def^i , и в определение def^j (рис. 2.2 а).

$$\forall def^i \forall def^j \exists def^R \left(\forall d (d \in def^i \& d \in def^j) \Leftrightarrow \forall d (d \in def^R) \right)$$

Выполнение этой операции можно записать в виде $def^R = def^i \cap def^j$.

Если определения участвующих объектов в объединении равны $def^i = def^j$, то в результате имеем тождество $def^R = def^i \cap def^j = def^i = def^j$.

3. Объединением структуры I_{Int}^1 номинального объекта NO^1 со структурой I_{Int}^2 , номинального объекта NO^2 , является структура I_{Int}^R некоторого номинального объекта, состоящая из внутренних связей (i) обоих номинальных объектов

$$\forall I_{Int}^1 \forall I_{Int}^2 \exists I_{Int}^R \left(\forall i^1 (i^1 \in I_{Int}^1) \& \forall i^2 (i^2 \in I_{Int}^2) \Leftrightarrow \forall i^1 (i^1 \in I_{Int}^R) \& \forall i^2 (i^2 \in I_{Int}^R) \right).$$

Выполнение этой операции можно записать в виде $I_{Int}^R = I_{Int}^1 \cup I_{Int}^2$. Если

структуры, участвующие в объединении, равны $I_{Int}^1 = I_{Int}^2$, то в результате,

по определению, имеем тождество $I_{Int}^R = I_{Int}^1 \cup I_{Int}^2 = I_{Int}^1 = I_{Int}^2$. Такое

объединение может произойти при комплексировании нескольких номинальных систем, описывающих различные стороны одной и той же реальной системы. Другими словами, это происходит тогда, когда несколько подсистем с подобными номинальными объектами объединяются в одну систему, при этом происходит объединение всех компонентов номинальных объектов.

4. Пересечением структуры I_{Int}^1 номинального объекта NO^1 со структурой I_{Int}^2 номинального объекта NO^2 , является структура I_{Int}^R некоторого номинального объекта, состоящая из внутренних связей (i), входящих и в объект NO^1 , и в объект NO^2 .

$$\forall I_{Int}^1 \forall I_{Int}^2 \exists I_{Int}^R \left(\forall i (i \in I_{Int}^1 \& i \in I_{Int}^2) \Leftrightarrow \forall i (i \in I_{Int}^R) \right).$$

Выполнение этой операции можно записать в виде $I_{Int}^R = I_{Int}^1 \cap I_{Int}^2$. Если структуры, участвующие в объединении, равны $I_{Int}^1 = I_{Int}^2$, то в результате, по определению, имеем тождество $I_{Int}^R = I_{Int}^1 \cap I_{Int}^2 = I_{Int}^1 = I_{Int}^2$.

5. Объединением картографа I_{ϵ}^1 номинального объекта NO^1 с картографом I_{ϵ}^2 номинального объекта NO^2 , является такой картограф I_{ϵ}^R некоторого номинального объекта, состоящий из внешних связей (i) обоих номинальных объектов.

$$\forall I_{\epsilon}^1 \forall I_{\epsilon}^2 \exists I_{\epsilon}^R \left(\forall i^1 (i^1 \in I_{\epsilon}^1) \& \forall i^2 (i^2 \in I_{\epsilon}^2) \Leftrightarrow \forall i^1 (i^1 \in I_{\epsilon}^R) \& \forall i^2 (i^2 \in I_{\epsilon}^R) \right).$$

Выполнение этой операции можно записать в виде $I_{\epsilon}^R = I_{\epsilon}^1 \cup I_{\epsilon}^2$. Если картографы, участвующие в объединении, равны $I_{\epsilon}^1 = I_{\epsilon}^2$, то в результате, по определению, имеем тождество $I_{\epsilon}^R = I_{\epsilon}^1 \cup I_{\epsilon}^2 = I_{\epsilon}^1 = I_{\epsilon}^2$.

6. Пересечением картографа I_{ϵ}^1 номинального объекта NO^1 с картографом I_{ϵ}^2 номинального объекта NO^2 , является картограф I_{ϵ}^R некоторого номинального объекта, состоящий из внешних связей (i), входящих и в объект NO^1 , и в объект NO^2 .

$$\forall I_{\epsilon}^1 \forall I_{\epsilon}^2 \exists I_{\epsilon}^R \left(\forall i (i \in I_{\epsilon}^1 \& i \in I_{\epsilon}^2) \Leftrightarrow \forall i (i \in I_{\epsilon}^R) \right).$$

Выполнение этой операции можно записать в виде $I_{\epsilon}^R = I_{\epsilon}^1 \cap I_{\epsilon}^2$. Если картографы, участвующие в объединении, равны $I_{\epsilon}^1 = I_{\epsilon}^2$, то в результате, по определению, имеем тождество $I_{\epsilon}^R = I_{\epsilon}^1 \cap I_{\epsilon}^2 = I_{\epsilon}^1 = I_{\epsilon}^2$.

7. Объединением свойств I_Q^1 номинального объекта NO^1 со свойствами I_Q^2 номинального объекта NO^2 , является множество свойств I_Q^R некоторого номинального объекта, включающее в себя свойства обоих номинальных объектов (рис. 2.5 объекты l , j и i соответственно).

$$\forall I_Q^1 \forall I_Q^2 \exists I_Q^R \left(\begin{array}{l} \forall P^1 = p^1 (P^1 = p^1 \in I_\epsilon^1) \& \forall P^2 = p^2 (P^2 = p^2 \in I_\epsilon^2) \Leftrightarrow \\ \forall P^1 = p^1 (P^1 = p^1 \in I_\epsilon^R) \& \forall P^2 = p^2 (P^2 = p^2 \in I_\epsilon^R) \end{array} \right).$$

Выполнение этой операции можно записать в виде $I_Q^R = I_Q^1 \bigcup I_Q^2$. Если свойства, участвующие в объединении, равны $I_Q^1 = I_Q^2$, то в результате, по определению, имеем тождество $I_Q^R = I_Q^1 \bigcup I_Q^2 = I_Q^1 = I_Q^2$.

8. Пересечением свойств I_Q^1 номинального объекта NO^1 со свойствами I_Q^2 номинального объекта NO^2 , является множество свойств I_Q^R некоторого номинального объекта, включающее в себя свойства, входящих и в объект NO^1 , и в объект NO^2 .

$$\forall I_Q^1 \forall I_Q^2 \exists I_Q^R \left(\forall P = p (P = p \in I_\epsilon^1 \& P = p \in I_\epsilon^2) \Leftrightarrow \forall P = p (P = p \in I_\epsilon^R) \right).$$

Выполнение этой операции можно записать в виде $I_Q^R = I_Q^1 \bigcap I_Q^2$. Если свойства, участвующие в объединении, равны $I_Q^1 = I_Q^2$, то в результате, по определению, имеем тождество $I_Q^R = I_Q^1 \bigcap I_Q^2 = I_Q^1 = I_Q^2$.

9. Объединением номинальных систем NS_1 и NS_2 является такая номинальная система NS_R , в которую входят номинальные объекты обеих систем

$$\forall NS_1 \forall NS_2 \exists NS_R \left(\begin{array}{c} \forall NO_1 (NO_1 \in NS_1) \& \forall NO_2 (NO_2 \in NS_2) \Leftrightarrow \\ NO_1 \in NS_R \& NO_2 \in NS_R \end{array} \right)$$

Выполнение этой операции можно записать в виде $NS_R = NS_1 \cup NS_2$. Если системы, участвующие в объединении, равны $NS_1 = NS_2$, то в результате, по определению имеем тождество $NS_R = NS_1 \cup NS_2 = NS_1 = NS_2$.

10. Пересечением номинальных систем NS_1 и NS_2 является такая номинальная система NS_R , в которую входят номинальные объекты, принадлежащие только обеим системам

$$\forall NS_1 \forall NS_2 \exists NS_R (\forall NO (NO \in NS_1 \& NO \in NS_2) \Leftrightarrow NO \in NS_R).$$

Выполнение этой операции можно записать в виде $NS_R = NS_1 \cap NS_2$. Если системы, участвующие в объединении, равны $NS_1 = NS_2$, то в результате, по определению, имеем тождество $NS_R = NS_1 \cap NS_2 = NS_1 = NS_2$. Результатом пересечения двух номинальных систем будет либо некоторая номинальная система, являющаяся подсистемой для обеих систем, или же пустая номинальная система.

Рассмотрим состав номинальной системы. Понятие номинальной системы никакие условия на сами номинальные объекты не накладывает. Допустимо существование в одной той же системе различных номинальных объектов, являющихся образами одного и того же реального объекта. Представляя определение номинального объекта в виде некоторого множества, введем понятие строго формализованной системы. Номинальные системы, у которых пересечение определений разнотипных объектов пустое, будем называть *строго формализованными системами*. В противном случае это будет нестрого формализованная система. Для записи приведенного условия введем понятие *каркас номинальной*

системы. Далее, под каркасом номинальной системы (KS) будем понимать множество образов номинальных объектов этой системы. Условия для строго формализованной системы запишется в виде

$$\forall def (def \in KS \mid \bigcap def = \emptyset).$$

2.7 Оптимальное распределение образов горно-геологических объектов.

Построение номинальных систем условно можно разделить на несколько этапов. Основные из них - это постановка задачи, её формализация, проектирование и реализация. Чаще всего эти этапы в ходе разработки системы интерактивно несколько раз повторяются. Это связано, в основном, с трудностями, возникающими при формализации системы. Основная трудность заключается в нахождении образов (номинальных объектов), описывающих реальные объекты моделируемой системы. Раньше разработчики автоматизированных систем обходились несколькими простыми номинальными объектами [86]. Теперь, развитие вычислительной техники позволяет решать сложные и громоздкие задачи. Поэтому, для того чтобы информационно-аналитическая система позволяла бы получать более точные и достоверные результаты, учитывающие не только основные закономерности, условия, ограничения, но и многочисленные второстепенные факторы, на первый взгляд мало влияющие, но суммарно, безусловно, корректирующие результат, необходимо проектировать большое число информационных образов. Это особенно актуально для номинальных систем, описывающих естественные реальные системы, процесс формализации которых на сегодняшний день представляет в большей степени искусство, чем научно осмысленный процесс.

Правильный выбор списка номинальных объектов, в конечном счете, определяет будущее разрабатываемой системы. В зависимости от выбора списка образов, описывающих реальные объекты, номинальная система,

реализованная в виде информационно-аналитической автоматизированной системы, будет либо проста в эксплуатации, надежна и легка в сопровождении и развитии и понятна конечному пользователю, либо будет сложной до такой степени, что кроме разработчиков никто не сможет ею пользоваться, или же решаемые ей задачи будут до такой степени просты и тривиальны, что она не окупит стоимость своей разработки.

В ходе эксплуатации информационно-аналитической системы, объем информации о ней возрастает. Соответственно, растет число номинальных объектов, усложняются между ними связи. Создаваемые образы номинальных объектов, являющиеся представлением реально существующих объектов, будут иметь различную степень сложности. Конечно, необходимо определиться, что понимать под сложностью объекта. Для начала, воспользуемся определением, приведенном в параграфе 2.5: *простым номинальным объектом называется такой номинальный объект, у которого множество всех внутренних связей, пустое* - $I_{int} = \emptyset$. Тогда все не простые номинальные объекты являются составными номинальными объектами (параграф 2.5).

Пусть существует некоторое пространство дефиниций реальной системы. Рассмотрим две формализации реальной системы F_i и F_j . Пусть в результате обеих формализаций, получается по три типа номинальных объекта. Между этими объектами в i -ой номинальной системе образовались связи, представленные на рис. 2.10 а. То есть, номинальный объект NO_3^i (простой номинальный объект) входит в составной номинальный объект NO_2^i , а он, в свою очередь, входит в составной номинальный объект NO_1^i . В j -ой номинальной системе существует два простых номинальных объекта NO_3^j , NO_2^j , входящих в составной номинальный объект NO_1^j (рис. 2.10 б). Легко видеть, что число связей в обеих номинальных системах одинаково и равно двум. При этом число

связей у номинальных объектов с индексом 1 обеих номинальных систем различно.

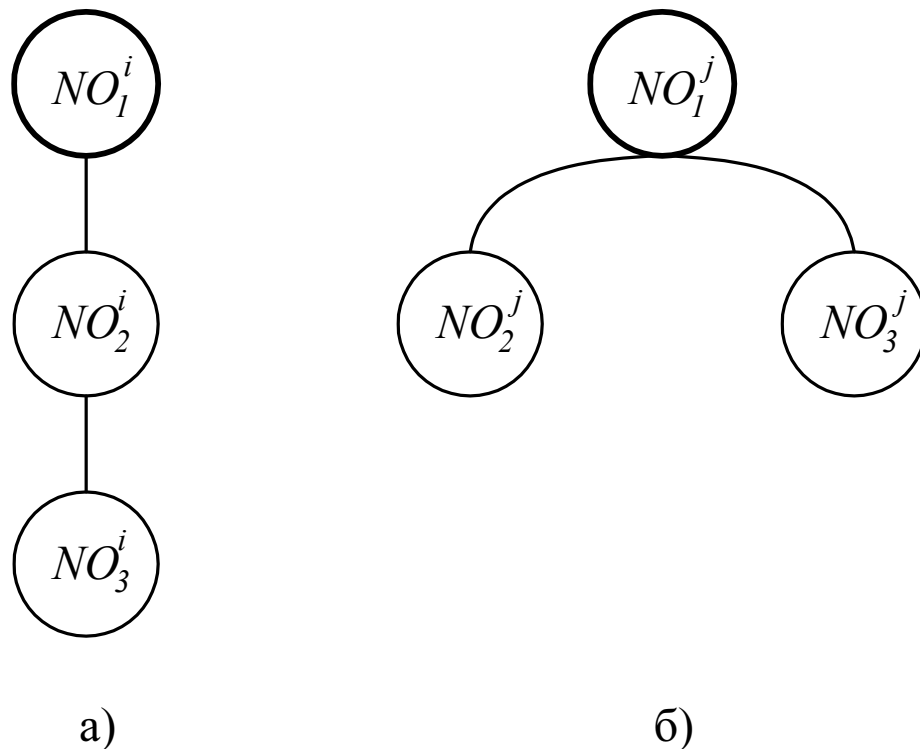


Рис. 2.10.

Различные варианты связей между номинальными объектами.

Следовательно, необходимо различать такие варианты связей между номинальными объектами. В дальнейшем, под степенью сложности структуры номинального объекта будем понимать число связей, присутствующих в этой структуре. Другими словами, степень сложности структуры номинального объекта есть мощность множества его внутренних связей - $m_{Int} = |I_{Int}|$. Для номинальных объектов представленных, на рис. 2.10, степени сложности структуры соответственно равны $m_{Int1}^i = 1$, $m_{Int2}^i = 1$, $m_{Int3}^i = 0$, $m_{Int1}^j = 2$, $m_{Int2}^j = m_{Int3}^j = 0$. Чтоб учесть всю сложность представления номинального объекта, введем понятие суммарной степени сложности структур всех

номинальных объектов, входящих в рассматриваемый, и назовем её степенью сложности глобальной структуры номинального объекта. В дальнейшем под степенью сложности глобальной структуры номинального объекта будем понимать число связей, присутствующих во всех структурах рассматриваемых номинальных объектов. Таким образом, глобальная сложность структуры номинального объекта равна сумме степени сложности структур рассматриваемых номинальных объектов - $M_{Int\ i} = \sum m_{Int\ j}$, где j является элементом (номером номинального объекта) рекуррентно определяемого объединения всех множеств структур $(I_{Int\ i} \{I_{Int\ k}, I_{Int\ l} \dots\} \cup I_{Int\ k} \{I_{Int\ \alpha}, I_{Int\ \beta} \dots\} \cup \dots \cup I_{Int\ \alpha} \dots)$.

В дальнейшем, чтоб избежать неопределенности в терминах «степень сложности структуры номинального объекта» и подчеркнуть локальность этого понятия границами только одного номинального объекта будем её называть «степень сложности локальной структуры номинального объекта». Таким образом, совокупной мерой сложности конкретного номинального объекта является степень сложности глобальной структуры. Отметим особенность вновь введенных понятий. Никакие другие понятия, кроме структуры, в понятие сложность структуры не входят. Поэтому появляется возможность сравнивать различные номинальные объекты, даже определенные на различных дефинициях, между собой по степени сложности структуры. Легко видеть, что под степенью сложности понимается число связей или число номинальных объектов, которые в комплексе подробно описывают рассматриваемый объект. То есть, сложность структуры объекта сопоставима в какой-то мере с объемом информации, обеспечивающей связи внутри этого объекта. Понятие сложность структуры номинального объекта обладает наглядностью и естественностью. Так, интуитивное понимание того что, чем больше номинальных объектов входит в описание

рассматриваемого номинального объекта, тем он сложнее формализуется локальной и глобальной метриками m_{int} и M_{Int}

Рассмотрим некоторую информационно-аналитическую систему, являющуюся реализацией номинальной системы и состоящую из N номинальных объектов. Разобьем все номинальные объекты, описанные в номинальной системе, на некоторые группы, состоящие из номинальных объектов, обладающих одинаковой глобальной степенью сложности структуры (M_{Int}). Таким образом, образовалось k групп разбиения. Так как число номинальных объектов в информационно-аналитической системе всегда конечно, то число k полученных групп разбиений выражается конечным числом. Расположим полученные группы в порядке возрастания числа номинальных объектов в них. Первая группа с наибольшим числом образов - n_1 расположится на первом месте, далее, на втором месте расположим вторую по численности группу, состоящую из n_2 номинальных объектов, и так далее. Соответственно, i -я по численности группа, состоящая из n_i образов, займет i -е место. На последнем k -ом месте расположится самая малочисленная группа, состоящая из n_k номинальных объектов. В результате, мы получим гистограмму, типа приведенной на рис. 2.11, на которой вдоль оси абсцисс расположены номера (ранги) групп, а вдоль оси ординат показаны численности каждой из групп. Таким образом, можно сказать, что на рис. 2.11 приведена гистограмма, описывающая ранговое распределение номинальных объектов по группам сложности.

Ранговые распределения в конце 40-х годов прошлого столетия исследовал Дж. Ципф [152]. На огромном статистическом материале он показал, что распределение слов естественного языка подчиняется простому закону, который формулируется следующим образом. Если составить список слов, встретившихся в каком-либо достаточно большом тексте, и расположить эти слова в порядке убывания частоты их

повторяемости, то для любого слова произведение его порядкового номера (ранга) - i в таком списке и частоты - n_i его встречаемости в тексте будет величиной постоянной. Эта величина имеет примерно одинаковое значение для любого слова из этого списка. Аналитически закон Ципфа выражается в виде гиперболической зависимости вида $n_i i = c$, где: c – эмпирическая постоянная величина.

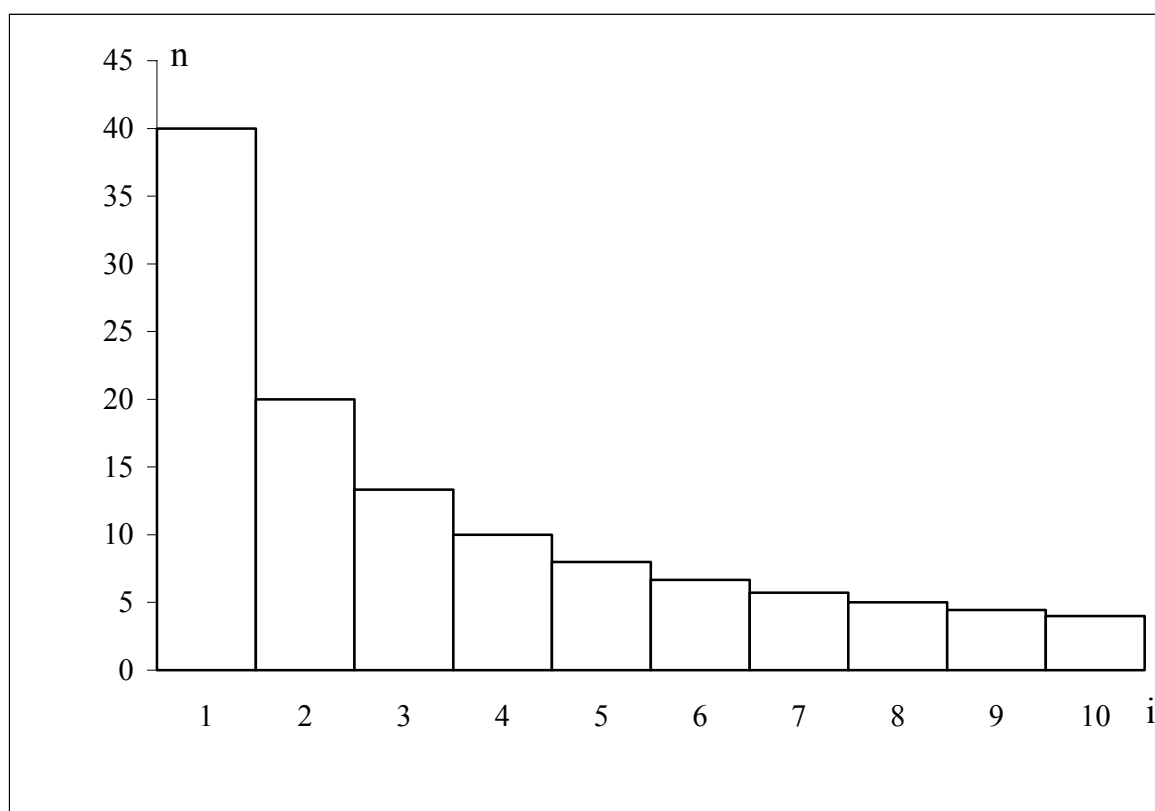


Рис. 2.11.

Распределение номинальных объектов по сложности на группы.

Закон Ципфа был открыт экспериментально. Позднее Б. Мандельброт предложил его теоретическое обоснование. Он полагал, что можно сравнивать письменный язык с кодированием, причем все знаки должны иметь определенную «стоимость». Исходя из требований минимальной стоимости сообщений, Б. Мандельброт пришел к

аналогичной закону Ципфа зависимости $n_i i^\gamma = c$, где γ – величина (близкая к единице), которая может изменяться в зависимости от свойств текста.

Универсальность закона сохраняется для самых разнообразных текстов и языков, включая древнейшие языки [4, 5, 168]. О фундаментальности закона свидетельствует его распространенность и в других областях науки. В сейсмологии, метеорологии, биологии он носит название закона Гутенберга - Рихтера [79,80], в социологии и экономике - законом Ципфа - Парето, в лингвистике - законом Эсту - Ципфа - Мандельброта [130], в науковедении - распределениями Лотки, Брэдфорда, Уиллиса, Уркварта [173,192].

По всей видимости, и в ранговом распределении номинальных объектов по группам сложности должна выполняться подобная закономерность. Правда здесь все обстоит несколько сложнее. Построение номинальной горно-геологической системы представляет собой искусственный процесс, и поэтому закономерности в ранговом распределении номинальных объектов, по всей видимости, будут несколько иными и носить более общую форму. Однако можно предположить, если в некоторой автоматизированной системе закон Ципфа – Мандельброта имеет место, то эта система имеет признаки естественной системы и, соответственно, более полно описывает реальную систему и поэтому имеет преимущества по сравнению с другими номинальными системами, в которых такие закономерности нарушены. Следовательно, при построении номинальной системы необходимо стремиться так конструировать номинальные объекты, чтоб их ранговое распределение описывалось законом Ципфа – Мандельброта или было бы близко к нему.

Для нахождения закономерности рангового распределения номинальных объектов по группам сложности будем минимизировать энтропию информационного представления информационно-

аналитической системы. Энтропию информационного представления выразим через число возможных отображений, автоморфизмов групп сложности номинальных объектов самих в себя. Другими словами, имеются в виду преобразования, называемые в комбинаторике перестановками, меняющие порядок номинальных объектов внутри группы сложности d_i . Тогда, общее число таких преобразований в рассматриваемой номинальной системе для всех групп сложности $d_1, d_2, d_3, \dots, d_k$ равно произведению чисел возможных перестановок номинальных объектов: $f = n_1!n_2!n_3!\dots n_k!$.

Минимизация энтропии f дает результат, который соответствует реальной системе. Все группы сложности в этом случае должны состоять из одного и того же числа номинальных объектов $n_1 = n_2 = n_3 = \dots = n_k = 1$. Другими словами, имеем дело с реальной системой. Так как, только в реальной системе существуют объекты с уникальной, не повторяющейся в других объектах степенью сложности. Двух одинаковых объектов в природе нет и быть не может.

Для нахождения оптимального закона распределения номинальных объектов по группам сложности воспользуемся идеями широко известного в биологии закона гомологических рядов наследственной изменчивости Н. И. Вавилова [17]. Изобразим на рисунке гистограмму исходного разбиения номинальной системы в порядке убывания численности групп сложности номинальных объектов d_i . На гистограмме абсциссам соответствуют номера классов сложности i , а ординатам – их численности n_i . Область под гистограммой представляет собой все номинальные объекты, принадлежащие системе. Разобьем эту область горизонтальными полосами в один номинальный объект, т.е. полосами высотой в одну единицу (на рис. 2.12 это разбиение показано пунктиром).

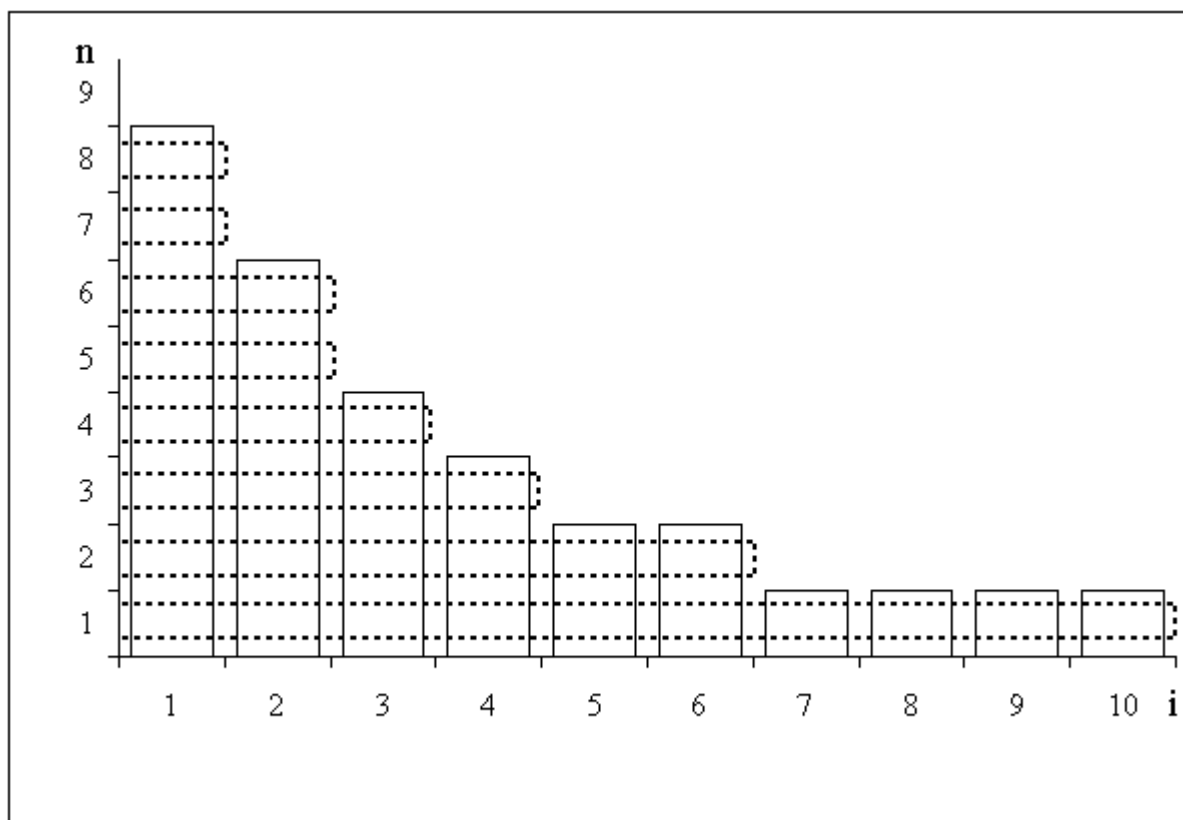


Рис. 2.12.

Распределение номинальных объектов по сложности на группы.

Полученное разбиение можно интерпретировать следующим образом. Пронумеруем номинальные объекты в каждой группе сложности по порядку. Вновь полученное разбиение на классы объединяет номинальные объекты с одинаковыми порядковыми номерами из каждой группы сложности. В дальнейшем такое разбиение будем называть коразбиением к исходному разбиению номинальной системы на группы номинальных объектов по сложности.

Введем определение: коразбиением некоторой номинальной системы к разбиению $\omega = \{d_1, d_2, d_3, \dots, d_k\}$ этой же системы будем называть разбиение $\omega^* = \{\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots, \delta_s\}$, отвечающее следующими условиям.

Пересечение i -ой группы разбиения и j -го класса коразбиения содержит не более одного элемента $\forall i \forall j \left(|d_i \cap \delta_j| \leq 1 \right)$.

Для любой группы разбиения l всегда найдется такой j -й класс коразбиения, пересечение которых непустое $\forall l \exists j \left(|d_l \cap \delta_j| \neq \emptyset \right)$.

Если пересечение l -ой группы разбиения и j -го класса коразбиения не пустое, то все пересечения δ_j с любой группой сложности с рангом не большим, чем l , не пустые $\forall l \exists j \left(|d_l \cap \delta_j| \neq \emptyset \Rightarrow \forall (i \leq l) \left(|d_i \cap \delta_j| \neq \emptyset \right) \right)$

Формализм второго и третьего условия можно переписать в виде $\forall l \exists j \left(|d_l \cap \delta_j| = 1 \right)$ и $\forall l \exists j \left(|d_l \cap \delta_j| = 1 \Rightarrow \forall (i \leq l) \left(|d_i \cap \delta_j| = 1 \right) \right)$ соответственно. Легко видеть, что классы коразбиения также упорядочиваются в порядке возрастания их численности.

На рис. 2.12 видно, что число классов коразбиения определяется численностью группы разбиения с максимальным рангом. Это следствие основано на первом условии определения. Действительно, пусть 1-я группа d_1 разбиения (с рангом 1) содержит n_1 номинальный объект. Далее, для того, чтобы выполнилось первое условие для всех номинальных объектов группы, необходимо, чтоб существовало, как минимум, n_1 непустых пересечений соответственно с n_1 классами коразбиения. Таким образом, число номинальных объектов n_1 в первой по рангу группе разбиения равно числу s классов коразбиений - $n_1 = s$.

Определим число номинальных объектов, содержащихся в самом первом (по рангу) классе коразбиения. Предположим, что в этом классе δ_1 число объектов m_1 и это число больше числа групп разбиения $m_1 > k$. Из первого условия определения следует, что непустых пересечений класса коразбиений δ_1 с группами разбиения должно быть не больше чем число групп разбиения k . Но тогда несколько $(m_1 - k > 0)$ номинальных объектов не входят ни в одну группу разбиения, что противоречит условию образования разбиений номинальной системы. Рассмотрим теперь вариант, когда число объектов в классе δ_1 меньше числа групп

разбиения $m_1 < k$. Согласно первому условию определения непустых пересечений класса коразбиений δ_1 с группами разбиения, должно соответствовать числу групп разбиения k . Так как численность класса коразбиений δ_1 меньше числа k , то должен существовать класс коразбиений с меньшим рангом, чем класс коразбиений δ_1 . Однако, существование класса коразбиений номинальных объектов с рангом меньше единицы недопустимо, следовательно, в классе коразбиений δ_1 число номинальных объектов не может быть меньше или больше групп разбиений.

Пусть число номинальных объектов в первом классе по рангу коразбиений δ_1 совпадает с числом групп разбиений $m_1 = k$. Первое условие дает число непустых пересечений с группами разбиений k , что соответствует мощности множества δ_1 . Таким образом, число номинальных объектов в первом по рангу классе коразбиений равно числу групп разбиений $m_1 = k$, что и следовало доказать.

Резюмируя вышеизложенное, можно утверждать, что число классов коразбиений совпадает с численностью максимальной группы исходного разбиения $n_1 = s$. Аналогично, число групп разбиений номинальных объектов совпадает с численностью наибольшего класса коразбиений $m_1 = k$.

Покажем, что все коразбиения к исходному разбиению номинальной системы устроены одинаково [181]. То есть, число классов и численность этих классов совпадают. Все коразбиения к данному разбиению одинаково устроены. А именно, если $\varepsilon^* = \{\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots, \tau_l\}$ и $\varepsilon'^* = \{\tau'_1, \tau'_2, \tau'_3, \dots, \tau'_r\}$ - два коразбиения к общему разбиению $\varepsilon = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_k\}$, то число непустых классов в обоих коразбиениях совпадает $l = r$ и можно установить такое соответствие между классами, что соответствующие друг

другу классы τ_j и τ'_j имеют одинаковое число элементов и пересекаются с одними и теми же классами разбиения ε , то есть $t_i \cap \tau_j \neq \emptyset$ равносильно $t_i \cap \tau'_j \neq \emptyset$.

Число коразбиений к данному разбиению равно мере симметричности этого разбиения: $f = n_1!n_2!n_3!\dots n_k!$. В силу отмеченного изоморфизма всех коразбиений к данному разбиению числа $m_1, m_2, m_3, \dots, m_r$, определяющие объемы классов коразбиения, не зависят от выбора конкретного коразбиения. Следовательно, эти числа однозначно определяются исходным разбиением. Мера всех коразбиений к данному разбиению одинакова и равна $g = m_1!m_2!m_3!\dots m_r!$.

С помощью коразбиения получаем возможность сформулировать экстремальный принцип, позволяющий выделить среди возможных разбиений одно отмеченное – удовлетворяющее тем условиям, которые наблюдаются в реальных системах. Тем самым появление распределений Ципфа – Мандельброта может получить «энтропийное» объяснение.

Минимизация энтропии информационного представления системы определяется, как требование обращения в минимум произведения разбиения и коразбиения. Удобнее всего потребовать обращения в минимум величины $S = f^\alpha g^\beta$, где α и β - фиксированные параметры, при ограничении $N = \sum_{i=1}^k n_i$. Обратим внимание на то обстоятельство, что число k групп разбиения не фиксируется заранее, а находится из условия минимальности величины энтропии информационного представления системы S .

Для исследования свойств распределения номинальных объектов по группам сложности рассмотрим непрерывную, а не дискретную постановку задачи. Для этого необходимо отыскать минимум величины S .

Прологарифмируем уравнение $S = f^\alpha g^\beta$ с учетом, что $f = n_1!n_2!n_3!\dots n_k!$ и $g = m_1!m_2!m_3!\dots m_s!$ получим равенство:

$$\ln S = \alpha \ln f + \beta \ln g = \alpha \sum_{i=1}^{i=k} \ln(n_i!) + \beta \sum_{j=1}^{j=s} \ln(m_j!) \quad (2.1).$$

Для того, чтобы избавиться от факториалов, необходимо воспользоваться формулой Стирлинга $n! = \sqrt{2\pi n} n^n e^{-n} e^{\Theta(n)}$, где $|\Theta(n)| < \frac{1}{12n}$. Подобная задача рассматривалась в работе [181], однако, для решения было использовано грубое приближение формулы Стирлинга $n! = n^n e^{-n}$, дающее более, чем семидесяти процентную ошибку, причем увеличивающуюся с ростом числа n . Так на рис. 2.13 приведены графики относительных ошибок вычисления факториалов чисел в диапазоне от 1 до 20 для различных вариантов упрощений формулы Стирлинга.

С учетом приближения $n! = \sqrt{2\pi n} n^n e^{-n} e^{\frac{1}{12n}}$ к формуле Стирлинга уравнение (2.1) преобразуется к виду:

$$\begin{aligned} \ln S = & \alpha \sum_{i=1}^{i=k} \frac{1}{2} \ln(2\pi) + \alpha \sum_{i=1}^{i=k} \frac{1}{2} \ln n_i + \alpha \sum_{i=1}^{i=k} n_i \ln n_i - \alpha \sum_{i=1}^{i=k} n_i + \alpha \sum_{i=1}^{i=k} \frac{1}{12n_i} + \\ & \beta \sum_{j=1}^{j=s} \frac{1}{2} \ln(2\pi) + \beta \sum_{j=1}^{j=s} \frac{1}{2} \ln m_j + \beta \sum_{j=1}^{j=s} m_j \ln m_j - \beta \sum_{j=1}^{j=s} m_j + \beta \sum_{j=1}^{j=s} \frac{1}{12m_j} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Суммы, не содержащие переменные n и m , вычисляются в явном виде:

$$\sum_{i=1}^{i=k} \frac{1}{2} \ln(2\pi) = \frac{k}{2} \ln(2\pi) \quad \text{и} \quad \sum_{j=1}^{j=s} \frac{1}{2} \ln(2\pi) = \frac{s}{2} \ln(2\pi).$$

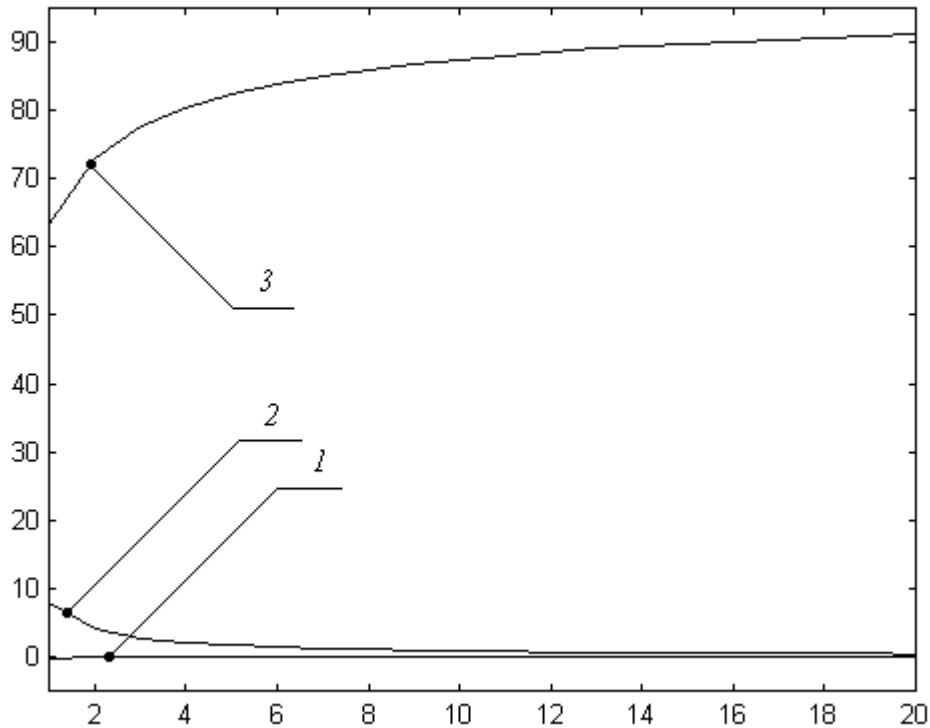


Рис. 2.13.

Относительная ошибка вычисления факториала числа с помощью упрощенных формул Стирлинга

$$1 - n! = \sqrt{2\pi n} n^n e^{-n} e^{\Theta(n)}, \text{ где } |\Theta(n)| < \frac{1}{12n}.$$

$$2 - n! = \sqrt{2\pi n} n^n e^{-n}.$$

$$3 - n! = n^n e^{-n}.$$

Для непрерывного распределения номинальных объектов по группам сложности величина m будет определять независимую переменную искомой зависимости (координата x графика на рис. 2.14). Переменная n является зависимой переменной (рис. 2.14 координата y). Тогда, суммы, с помощью которых минимизируется величина S , являются приближением определенных интегралов на интегрируемых интервалах (для величины m - от x_1 до x_k и для величины n - от y_1 до y_s). При этом диапазон

изменения x определяет число разбиений номинальной системы на группы сложности номинальных объектов для непрерывного представления задачи. Диапазон изменения y определяет число коразбиений номинальной системы. Отметим некоторые особенности интервалов. Так, значение интервалов по x равны $x_1 = 1$, $x_k = k$. Значения ординат на концах интервала, как видно из графика на рис. 2.14, определяются соотношениями: $y_1 = \varphi(x_k) = 1$ и $y_s = \varphi(x_1) = \varphi(1) = s$.

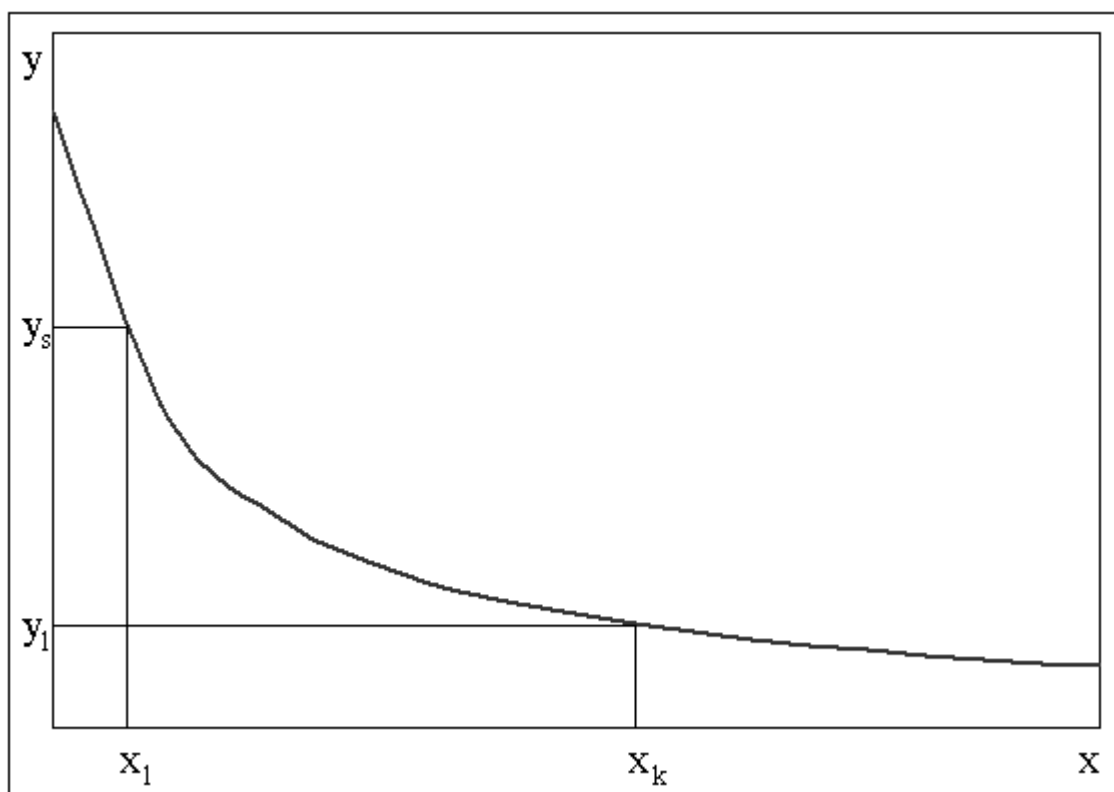


Рис. 2.14.

Непрерывное представление распределения номинальных объектов по группам сложности.

Запишем суммы, входящие в выражение (2.2), через интегралы (табл. 2.4). Для того, что перейти к одной независимой переменной интегрирования, используем соотношение $y' = \frac{dy}{dx}$, тогда $dy = y'dx$.

Соответственно, необходимо поменять и пределы интегрирования: y_s на x_1 и y_1 на x_k . Преобразованные интегралы приведены в пятой колонке табл. 2.4.

Табл. 2.4.

Слагаемые для вычисления выражения (2.2).

Сумма	Интеграл	Сумма	Интеграл	Интеграл
$\sum_{i=1}^{i=k} \frac{1}{2} \ln(2\pi)$	$\int_{x_1}^{x_k} \frac{1}{2} \ln(2\pi) dx$	$\sum_{j=1}^{j=s} \frac{1}{2} \ln(2\pi)$	$\int_{y_1}^{y_s} \frac{1}{2} \ln(2\pi) dy$	$\int_{x_k}^{x_1} \frac{1}{2} \ln(2\pi) y' dx$
$\sum_{i=1}^{i=k} \frac{1}{2} \ln n_i$	$\int_{x_1}^{x_k} \frac{1}{2} \ln y dx$	$\sum_{j=1}^{j=s} \frac{1}{2} \ln m_j$	$\int_{y_1}^{y_s} \frac{1}{2} \ln x dy$	$\int_{x_k}^{x_1} \frac{1}{2} \ln(x) y' dx$
$\sum_{i=1}^{i=k} n_i \ln n_i$	$\int_{x_1}^{x_k} y \ln y dx$	$\sum_{j=1}^{j=s} m_j \ln m_j$	$\int_{y_1}^{y_s} x \ln x dy$	$\int_{x_k}^{x_1} x \ln(x) y' dx$
$\sum_{i=1}^{i=k} n_i$	$\int_{x_1}^{x_k} y dx$	$\sum_{j=1}^{j=s} m_j$	$\int_{y_1}^{y_s} x dy$	$\int_{x_k}^{x_1} xy' dx$
$\sum_{i=1}^{i=k} \frac{1}{12n_i}$	$\int_{x_1}^{x_k} \frac{dx}{12y}$	$\sum_{j=1}^{j=s} \frac{1}{12m_j}$	$\int_{y_1}^{y_s} \frac{dy}{12x}$	$\int_{x_k}^{x_1} \frac{y' dx}{12x}$

Подставляя полученные результаты из табл. 2.4 в формулу (2.2), и, меняя при необходимости пределы интегрирования местами, получим:

$$\ln S = \int_{x_1}^{x_k} \left\{ \alpha \left[\frac{\ln(2\pi) + \ln y}{2} + y \ln y - y + \frac{1}{12y} \right] - \beta y' \left[\frac{\ln(2\pi) + \ln x}{2} + x \ln x - x + \frac{1}{12x} \right] \right\} dx \quad (2.3).$$

Таким образом, мы пришли к изопериметрической вариационной задаче. Другими словами, необходимо найти экстремум функционала (2.3)

при условии, что должно выполняться ограничение $N = \sum_{i=1}^k n_i$. Или в

случае непрерывной трактовки задачи поиска оптимального распределения номинальных объектов в системе по группам сложности функционал -

$N = \int_{x_1}^{x_k} y dx$ должен сохранять постоянное значение. Для нахождения

основного необходимого условия изопериметрической задачи составим вспомогательный функционал [184]:

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

здесь: λ - некоторая постоянная.

Запишем уравнение Эйлера $\frac{\partial F}{\partial y} - \frac{d}{dx} \frac{\partial F}{\partial y'} = 0$, здесь F -

подынтегральное выражение для полученного функционала. Тогда для рассматриваемого случая имеем:

$$\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial y} &= \alpha \left(\frac{1}{2y} + \ln y - \frac{1}{12y^2} \right) + \lambda; \\ \frac{\partial F}{\partial y'} &= -\beta \left[\frac{\ln(2\pi) + \ln x}{2} + x \ln x - x + \frac{1}{12x^2} \right]; \\ \frac{d}{dx} \frac{\partial F}{\partial y'} &= -\beta \left(\frac{1}{2x} + \ln x - \frac{1}{12x^2} \right). \end{aligned}$$

После подстановки полученных выражений в уравнение Эйлера имеем:

$$y^\alpha x^\beta = e^{-\frac{\alpha}{2y}} e^{-\frac{\beta}{2x}} e^{\frac{1}{12x^2}} e^{\frac{1}{12y^2}} e^{-\lambda}. \quad (2.4)$$

Учитывая, что y в точке $x = x_1 = 1$ можно определить через численность наиболее представительной группы $y = y_s$, найдем постоянную λ .

$$e^{-\lambda} = y_s^\alpha e^{\frac{\alpha}{2y_s}} e^{\frac{\beta}{2}} e^{\frac{1}{12}} e^{-\frac{1}{12y_s^2}}.$$

Тогда получаем следующее уравнение, связывающее переменные x и y :

$$y^\alpha x^\beta = y_s^\alpha e^{\alpha \frac{y-y_s}{2yy_s}} e^{\beta \frac{x-1}{2x}} e^{\frac{1-x^2}{12x^2}} e^{\frac{y_s^2-y^2}{12y^2y_s^2}}. \quad (2.5)$$

2.8 Определение оптимального числа типов номинальных объектов и численности наиболее представительной группы объектов.

Найдем теперь необходимое число типов номинальных объектов на основе полученного в предыдущем параграфе оптимального рангового распределения. Рассмотрим частный случай, когда показатели степени α и β выражения (2.5) равны единице. Для получения зависимости, связывающей число различных типов номинальных объектов и численность наиболее представительной группы однотипных объектов, воспользуемся следующей идеей. Площадь под кривой $y = f(x)$ на интервале от x_1 до x_k равна общему числу всех номинальных объектов, присутствующих в системе N . Для этого, разделим переменные x , y и проинтегрируем полученное выражение по x . Таким образом, уравнение (2.5) запишется в виде:

$$y e^{\frac{y-y_s}{2yy_s}} e^{\frac{y_s^2-y^2}{12y^2y_s^2}} = \frac{y_s}{x} e^{\frac{x-1}{2x}} e^{\frac{1-x^2}{12x^2}}.$$

К сожалению, не существует конечного интеграла ни для левой, ни для правой частей полученного выражения. Поэтому возможно только приближенное интегрирование. Для этого, применим разложение степенных функций в ряд Маклорена - $e^x = 1 + \frac{x}{1!} + \frac{x^2}{2!} + \dots + \frac{x^n}{n!} + \dots$. При учете только первого члена ряда получаем классическое уравнение рангового распределения $y = \frac{y_s}{x}$. В этом случае искомая зависимость

определяется $N = \int_{x_1}^{x_k} y dx = \int_{x_1}^{x_k} \frac{y_s}{x} dx = y_s (\ln x_k - \ln x_1) = y_s \ln x_k$. Такую же

зависимость можно получить, если воспользоваться некорректной формулой вычисления факториала $n! = n^n e^{-n}$ [181]. Рассмотрим задачу получения зависимости, связывающей число типов номинальных объектов и численность наиболее представительной группы однотипных объектов, в вариантах с использованием различных приближений формулы Стирлинга, тогда будем иметь три вида выражения (2.5).

Вариант 1: формула вычисления факториала $\Rightarrow n! = n^n e^{-n}$;

\Rightarrow уравнение рангового распределения: $y = \frac{y_s}{x}$;

\Rightarrow зависимость, связывающая число типов номинальных объектов и численность наиболее представительной группы однотипных объектов: $N = y_s \ln x_k$.

Вариант 2: формула вычисления факториала $\Rightarrow n! = \sqrt{2\pi n} n^n e^{-n}$;

\Rightarrow уравнение рангового распределения: $y e^{\frac{y-y_s}{2yy_s}} = \frac{y_s}{x} e^{\frac{x-1}{2x}}$;

\Rightarrow уравнение рангового распределения, полученное в результате разложения показательных функций в ряд Маклорена с учетом первых двух членов:

$$(2y_s - 1)y = y_s^2 \frac{3x-1}{x^2} - y_s;$$

\Rightarrow зависимость, связывающая число типов номинальных объектов и численность наиболее представительной группы однотипных объектов, полученная с помощью разложения показательных функций в ряд Маклорена с учетом первых

двух членов: $(2y_s - 1)N = y_s^2 \left(3 \ln x_k + \frac{1}{x_k} - 1 \right) - y_s (x_k - 1).$

Вариант 3: формула вычисления факториала $\Rightarrow n! = \sqrt{2\pi n} n^n e^{-n} e^{\Theta(n)}$ где

$$|\Theta(n)| < \frac{1}{12n};$$

\Rightarrow уравнение рангового распределения:

$$ye^{\frac{y-y_s}{2yy_s}} e^{\frac{y_s^2-y^2}{12y^2y_s^2}} = \frac{y_s}{x} e^{\frac{x-1}{2x}} e^{\frac{1-x^2}{12x^2}};$$

\Rightarrow уравнение рангового распределения, полученное в результате разложения показательных функций в ряд Маклорена с учетом только первых двух членов:

$$\frac{(2y_s - 1)(12y_s^2 + 1)y^3 + y_s(12y_s^2 + 1)y^2 - y_s^2(2y_s - 1)y - y_s^3}{y^2} =$$

$$= y_s^4 \frac{33x^3 - 11x^2 + 3x - 1}{x^4};$$

\Rightarrow зависимость, связывающая число типов номинальных объектов и численность наиболее представительной группы однотипных объектов, полученная с помощью разложения показательных функций в ряд Маклорена с учетом первых двух членов:

$$(2y_s - 1)(12y_s^2 + 1)N + y_s\sqrt{2N} - y_s(2y_s - 1)\ln\sqrt{2N} + \frac{y_s^3}{\sqrt{2N}} =$$

$$= y_s^4 \left(33\ln x_k + \frac{11}{x_k} - 11 - \frac{3}{2x_k^2} + \frac{3}{2} + \frac{1}{3x_k^3} - \frac{1}{3} \right);$$

Для получения зависимости числа типов номинальных объектов от общего числа объектов в системе необходимо получить функционал (2.3) в явном виде. Однако получить такую зависимость в двух последних случаях не представляется возможным. Здесь существует два принципиальных затруднения. Во-первых, уравнения ранговых распределений не разрешимы относительно переменной y и, во-вторых, не существует первообразной от функций вида $xe^{\frac{1}{x}}$.

Первоначально, введем допущение, что оптимальное ранговое распределение типов номинальных объектов по численности обладает свойством симметрии относительно переменных x и y . Другими словами, число объектов, относящихся к наиболее представительному типу, должно соответствовать числу всех типов объектов в номинальной системе. Для первого варианта это можно строго доказать [181]. Тогда, для определения числа различных типов объектов, необходимых в системе, получим выражения, приведенные в табл. 2.5. Для получения искомых зависимостей необходимо найти нули уравнения (табл. 2.5) для различных значений переменной N . Графики этих зависимостей представлены на рис. 2.15, 2.16 и 2.17 (цифрами обозначены номера вариантов табл. 2.5).

Табл. 2.5.

Вариант 1	$N = x_k \ln x_k$
Вариант 2	$(2x_k - 1)N = x_k^2 \left(3 \ln x_k + \frac{1}{x_k} - 1 \right) - x_k(x_k - 1)$
Вариант 3	$(2x_k - 1)(12x_k^2 + 1)N + x_k \sqrt{2N} - x_k(2x_k - 1) \ln \sqrt{2N} + \frac{x_k^3}{\sqrt{2N}} =$ $= x_k^4 \left(33 \ln x_k + \frac{11}{x_k} - 11 - \frac{3}{2x_k^2} + \frac{3}{2} + \frac{1}{3x_k^3} - \frac{1}{3} \right);$

Рассмотрим поведение полученных функций в начале координат. Очевидно, что число типов объектов не должно превышать суммарного числа объектов системы. С этой точки зрения третий вариант уравнения точнее согласуется со здравым смыслом. Так, согласно первому и второму уравнению, число различных типов объектов в системе превышает их общее число. Для третьего варианта уравнения экстремум значений приходится на системы с тремя объектами. В этом случае все объекты, при числе объектов в системе, равное трем, должны быть разнотипными.

Небольшое превышение единицы в теоретически полученной зависимости объясняется представлением показательных функций несколькими членами ряда Маклорена.

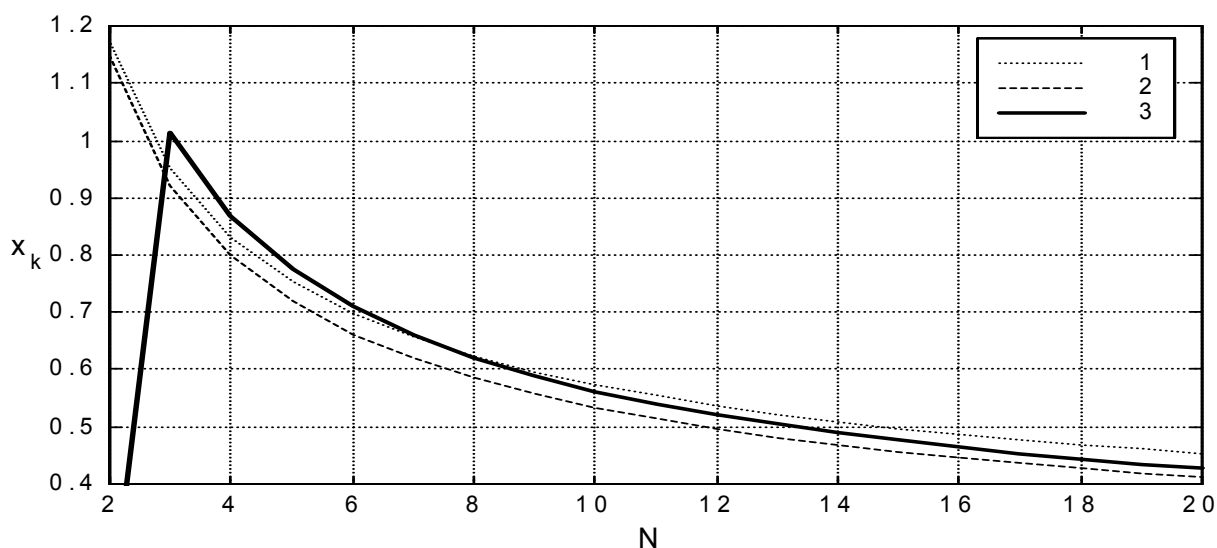


Рис. 2.15.

Зависимость относительного числа типов номинальных объектов от общего числа объектов в номинальной системе в диапазоне $2 \leq N \leq 20$.

Один из основных выводов, который необходимо сделать при анализе графиков, представленных на рис. 2.17, заключается в том, что число типов номинальных объектов в номинальной системе должно расти вместе с её размером, т.е. с увеличением числа объектов системы необходимо увеличение разнообразности объектов и, соответственно, сложности номинальной системы. Вместе с тем анализ рис. 2.15 и 2.16, показывает, что число типов используемых объектов по отношению к общему числу объектов в системе постепенно снижается. Поведение первой производной $\frac{dx_k}{dN}$ (рис. 2.18) для всех вариантов свидетельствует, что с ростом объема номинальной системы рост относительного числа

различных типов номинальных объектов в пределе стабилизируется -

$$\lim_{N \rightarrow \infty} \frac{dx_k}{dN} \rightarrow 0.$$

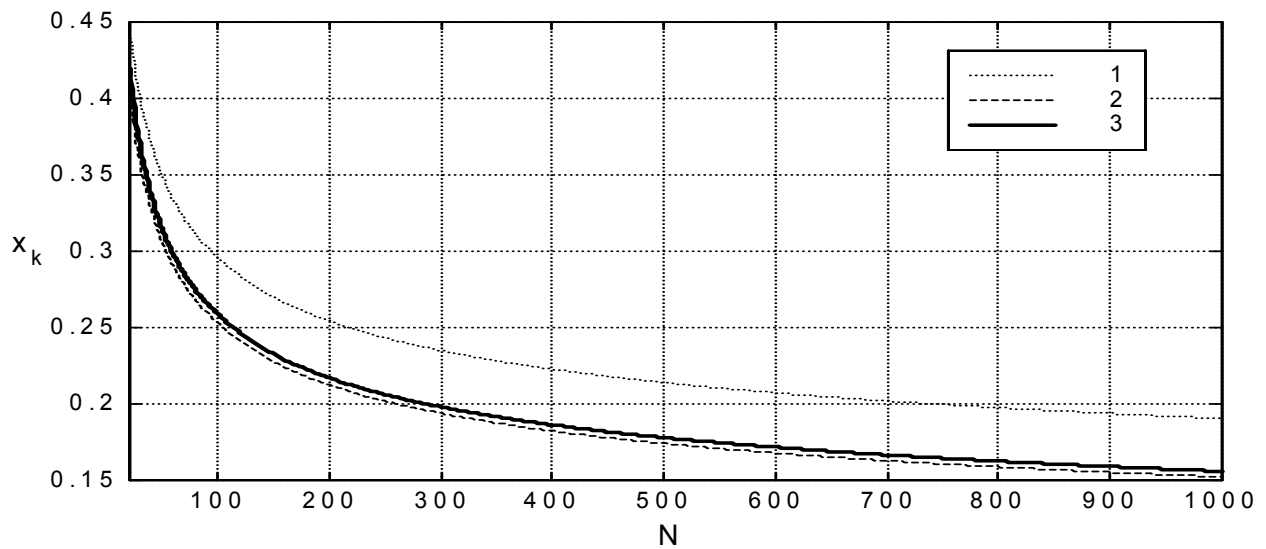


Рис. 2.16.

Зависимости относительного числа типов номинальных объектов от общего числа объектов в номинальной системе в диапазоне $N \geq 20$.

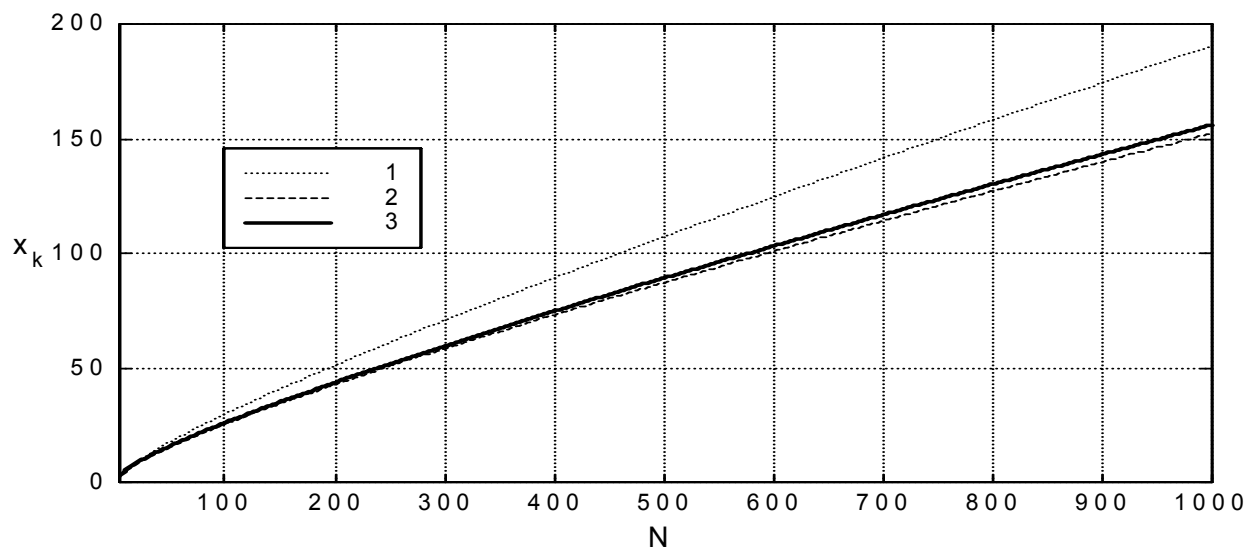


Рис. 2.17.

Зависимости абсолютного числа типов номинальных объектов от общего числа объектов в номинальной системе.

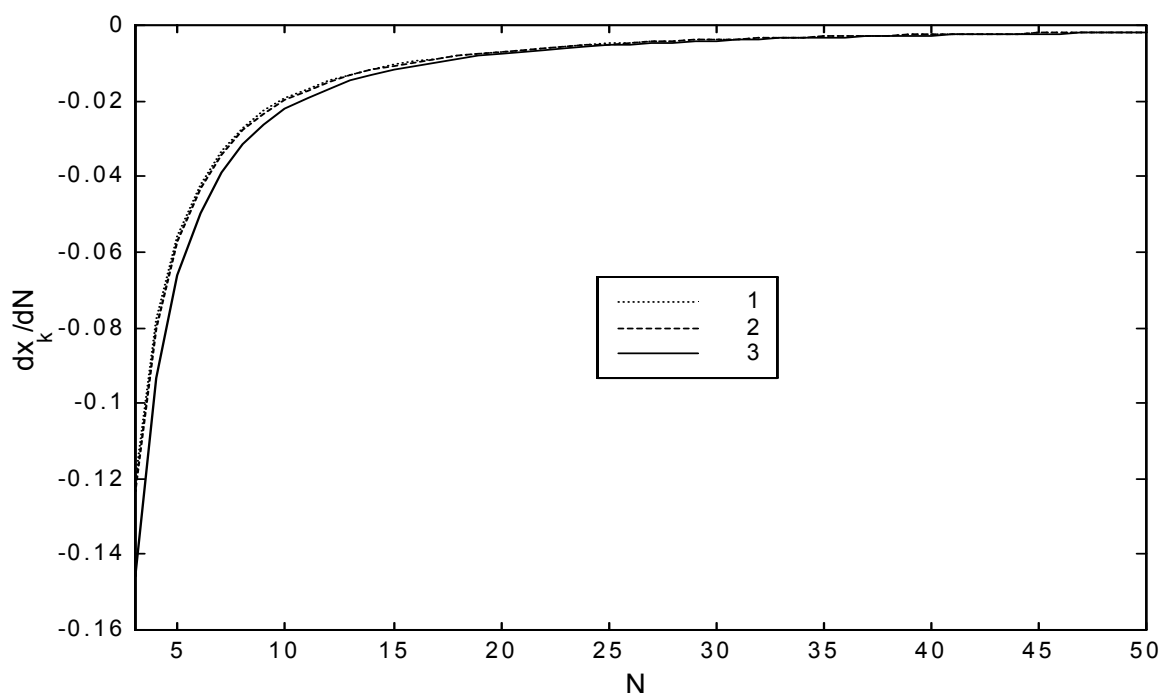


Рис. 2.18.

Зависимость скорости изменения числа типов номинальных объектов от общего числа объектов в номинальной системе.

Если же отказаться от допущения, что оптимальное ранговое распределение типов номинальных объектов по численности обладает свойством симметрии относительно переменных x и y , то зависимость оптимального числа типов объектов x_k в системе от их общего количества (рис. 2.19) может быть найдена только численными методами. Для этого необходимо найти корни уравнения (2.5) для различных значений x и y_s ; полученные значения численно проинтегрировать на фазовом пространстве x и y_s ; x_k должно выбираться из условия минимизации энтропии (случай $\alpha = \beta = 1$).

Таким образом, фундаментальная закономерность, что число типов номинальных объектов в номинальной системе растет вместе с её размером, подтверждается (рис. 2.19). Причем, зависимости на рис. 2.18 и 2.19 практически совпадают. При увеличении размеров системы для

того, чтоб она сохраняла оптимальное соотношение номинальных объектов необходимо увеличение разновидностей объектов. Другими словами, для того, чтобы уменьшить энтропию в системе с ростом её размера, необходимо усложнить её организацию. Вместе с тем, относительное число типов номинальных объектов в системе постепенно снижается (рис. 2.16, 2.20).

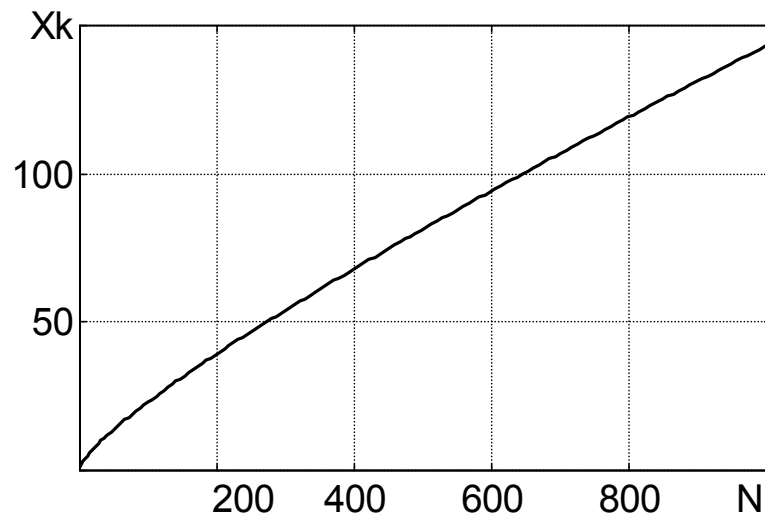


Рис. 2.19.

Зависимость числа типов номинальных объектов от их общего числа в системе (численный расчет).

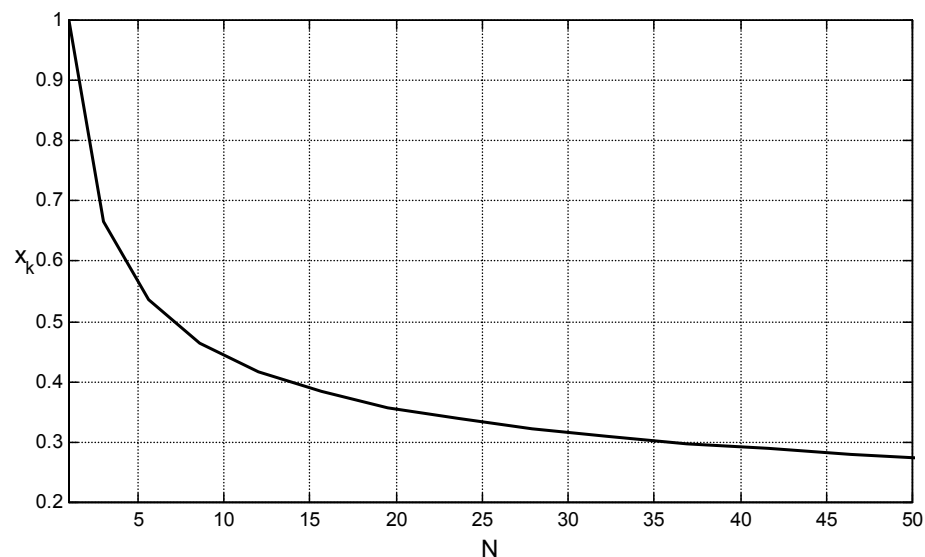


Рис. 2.20.

Зависимость относительного числа типов номинальных объектов от их общего числа в системе (численный расчет).

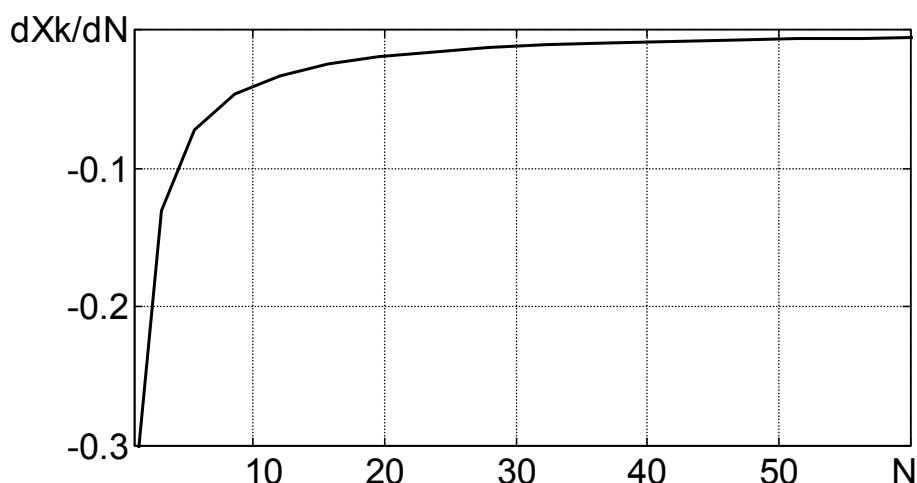


Рис. 2.21.

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

Таким образом, 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. 2.18, 2.21).

2.9 Влияние степени организации номинальных образов горно-геологических объектов на эффективность информационного представления номинальной системы.

Проанализируем вопросы, связанные с влиянием организации образов номинальных объектов на эффективность представления информации в информационно-аналитической системе. Попытаемся

разработать процедуру сравнения номинальных систем между собой. Одним из основных свойств номинальных систем является организация информации. Для различных номинальных систем, описывающих одну и ту же реальную систему, требуемый объем информационной составляющей различен. Он сильно зависит от выбора типов образов номинальных объектов и связей между ними. По всей видимости, существует некоторая зависимость суммарного объема информационной составляющей системы от числа связей между номинальными объектами в системе.

Введем понятие размер номинального объекта. *Под размером номинального объекта в дальнейшем будем понимать количество информации необходимое для представления (описания) объекта в номинальной системе.* Размер номинального объекта определяется его образом $Obr\langle def, I_{Ind}, I_q, I_{Int}, I_{\epsilon}, I_T \rangle$, связями и динамикой развития и представляется суммой мощностей множеств компонентов его образа $N_{Obr} = |def| + |I_{Ind}| + |I_q| + |I_{Int}| + |I_{\epsilon}| + |I_T|$.

Размер номинальной системы N_{NS} зависит от числа номинальных объектов no и определяется суммой их размеров $N_{NS} = \sum^{no} N_{Obr}$. С учетом того, что мощность идентификационной информации всегда равна единице, то в целом для всей номинальной системы имеем соотношение:

$$N_{NS} = \sum_{\xi}^{n\tau} def^{\xi} + no + \sum_{\zeta}^{no} I_Q^{\zeta} + \sum_{\zeta}^{no} I_{Int}^{\zeta} + \sum_{\zeta}^{no} I_{\epsilon}^{\zeta} + \sum_{\zeta}^{no} I_T^{\zeta}.$$

Здесь число $n\tau$ определяет число типов образов номинальных объектов, используемых в рассматриваемой номинальной системе. Информация об аксиоматическом определении номинальных объектов в номинальной системе NS^i не отображает особенности реальной системы. Она является некоторым представлением (квинтэссенцией) результата процесса

формализации F^i реальной системы RS . Следовательно, размер номинальной системы складывается из размера определений номинальных объектов, являющимся как бы служебной информацией и размера информационной составляющей, описывающей особенности реальной системы, что можно записать в виде $N_{NS} = N_{def} + N_I$. Доля определений в номинальных системах крайне мала. Кроме этого, очень часто составляющая N_{def} непосредственно не представлена в номинальной системе, а присутствует только в документации и описании. Поэтому справедливо условие $N_{def} \ll N_I$. Итак, основной объем информации о реальной системе занимает, так сказать, информационная составляющая, определяемая формулой:

$$N_I = no + \sum_{\zeta}^{no} I_Q^{\zeta} + \sum_{\zeta}^{no} I_{Int}^{\zeta} + \sum_{\zeta}^{no} I_{\epsilon}^{\zeta} + \sum_{\zeta}^{no} I_T^{\zeta}.$$

Таким образом, наибольший интерес представляет сравнение номинальных систем между собой по размеру информационной составляющей. Очевидно, чем меньше N_I , тем эффективнее представлена реальная система и эффективнее работает номинальная система. Рассмотрим несколько номинальных систем.

Пусть результатом формализаций $F = \{F^1, F^2, \dots, F^i, \dots, F^n\}$, выполненных для одной и той же реальной системы RS , является множество номинальных систем $NS = \{NS^1, NS^2, \dots, NS^i, \dots, NS^n\}$. Из всего множества номинальных систем рассмотрение ограничим классом строго формализованных номинальных систем $NSS \subseteq NS$. То есть для всех номинальных систем $\forall NS^i \in NSS$ должно выполняться условие $\forall def^i (def^i \in RS | \cap def^i = \emptyset)$.

Для сравнения между собой различных номинальных систем необходимо, чтоб дефиниции (понятия), используемые при определении номинальных объектов, совпадали $\forall d_{\alpha}^i (d_{\alpha}^i \in NS^i) (\exists d_{\beta}^j (d_{\beta}^j \in NS^j) | d_{\alpha}^i = d_{\beta}^j)$.

Отметим, что совпадения определений номинальных объектов не требуется $\exists def_{\alpha} (def_{\alpha} \in NS^i) (def_{\alpha} \neq def_{\beta} (def_{\beta} \in NS^j))$. В самом деле, сравнивать номинальную систему саму с собой не имеет смысла. По всей видимости, интерес представляет сравнение таких номинальных систем, у которых используются номинальные объекты разных типов. Другими словами, определения номинальных объектов в различных номинальных системах не должны совпадать.

Сформулируем следующую теорему о существовании для реальной системы двух номинальных систем с одной и той же областью определений, но с разнотипными номинальными объектами.

Теорема 2.1. Для любой реальной системы RS , в ходе формализации которой можно определить хотя бы один тип номинального объекта, справедливо следующее утверждение. Существуют, 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. То есть, если количество типов номинальных объектов в строго формализованных номинальных системах NS^i и NS^j определяется соответственно числами Ξ^i и Ξ^j , то справедливо соотношение:

$$\bigcup_{\xi}^{\Xi^i} def_{\xi}^i = \bigcup_{\xi}^{\Xi^j} def_{\xi}^j$$

2. Типы номинальных объектов номинальной системы NS^i не совпадают с типами номинальных объектов номинальной системы NS^j . Другими словами, в номинальной системе NS^j не существует такого номинального объекта такого же типа, как любой объект в номинальной системе NS^i :

$$\forall k(k \in \Xi^i), \forall l(l \in \Xi^j), NO_k^i \neq NO_l^j.$$

Для доказательства теоремы рассмотрим номинальный объект, имеющий определение def_{obr} . Согласно определению создадим на основе этого номинального объекта номинальную систему NS^i , имеющую определение def_{NS} . Объединение определений этих двух определений $def_{obr} \cup def_{NS}$ дает нам некоторый новый номинальный объект и соответственно другую номинальную систему NS^j . Таким образом, для номинальных систем, состоящих из номинальных объектов одного типа, теорема справедлива.

Теперь рассмотрим системы, состоящие из большего числа разнотипных номинальных объектов. Во-первых, число возможных строго формализованных номинальных систем для отражения реальной системы согласно теореме Кантора счетно. В этом множестве систем всегда найдутся, по крайней мере, две номинальные системы, для которых объединение определений $\bigcup_{\xi}^{\Xi^i} def_{\xi}^i$ номинальных объектов в номинальной

системе NS^i в точности совпадают с объединением определений $\bigcup_{\xi}^{\Xi^j} def_{\xi}^j$

номинальных объектов в номинальной системе NS^j . Далее, в номинальной системе NS^i построим две номинальные системы, отвечающие следующим условиям. В первую NS_1^i входят только

номинальные объекты, попадающие в область определений $\bigcup_{\xi}^{\Xi^i} def_{\xi}^i$. Тогда

вторая номинальная система NS_2^i является дополнением к первой номинальной системе на номинальной системе NS^i - $NS_2^i = NS^i - NS_1^i$.

Аналогично строим номинальную систему NS_1^j с образами номинальных

объектов $\bigcup_{\xi}^{\Xi^j} def_{\xi}^j$. Следовательно, мы получили две строго формализованные системы NS_1^i и NS_1^j , состоящие только из образов номинальных объектов, соответствующих одной и той же области определений $\bigcup_{\xi}^{\Xi^i} def_{\xi}^i = \bigcup_{\xi}^{\Xi^j} def_{\xi}^j$. Что и требовалось доказать.

Рассмотрим геологическую толщу месторождения. Пусть угольный пласт, наблюдаемый на месторождении, выдержанный, то есть не наблюдается ни выклинивания, ни расщепления. Сопутствующие пласту выше- и нижележащие слои также выдержаны и прослеживаются по всему шахтному полю. Такой идеальный случай проиллюстрирован на рис. 2.22.

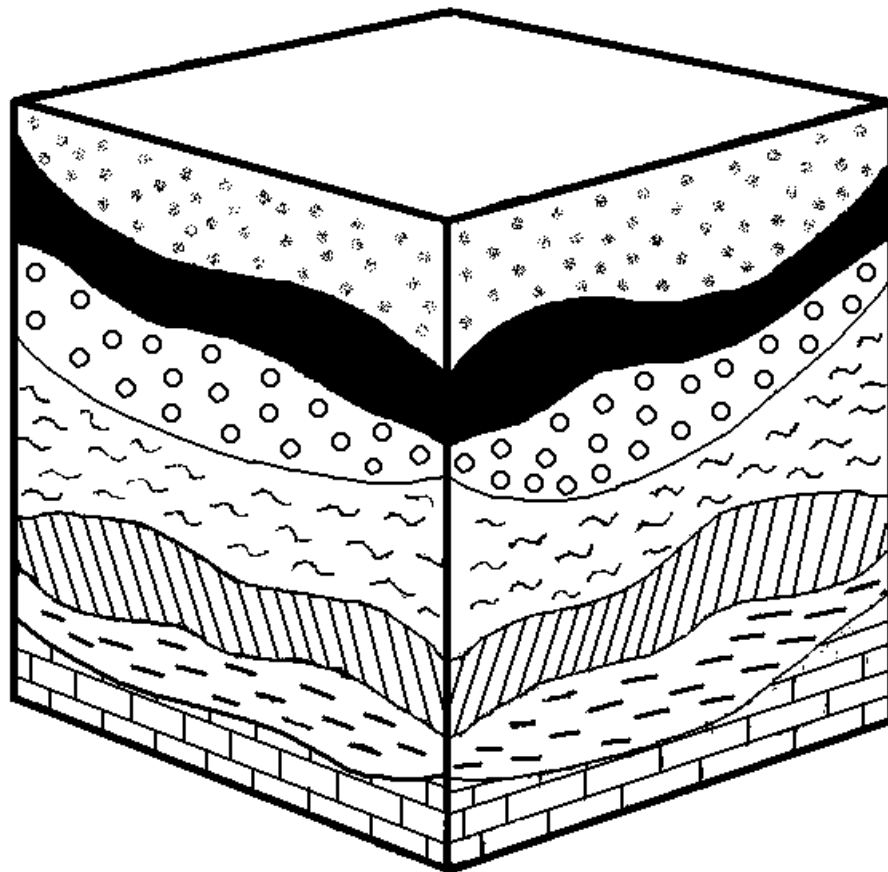


Рис. 2.22.

Ненарушенный вариант залегания угольного пласта.

Число рассматриваемых геологических отложений определяется числом m . Соответственно, заданы поверхности контактов этих слоев общим числом l . Легко видеть, что эти числа связаны соотношением $m = l - 1$. Кроме этого для каждого i -го слоя известны координаты n_i точек подсечки подошвы слоя. Общее число точек соответственно равно $N_p = \sum_1^l n_i = \sum_1^{m+1} n_i$. В дальнейшем для простоты будем считать, что число точек подсечек на всех слоях одинаково $n_i = n$ для всех i . Тогда $N_p = ln = (m + 1)n$.

Для моделирования геометрии почвы пласта построим номинальную систему NS_{Θ} . В рамках поставленной задачи, вполне достаточно для системы Θ использовать только один номинальный объект. Этот объект представляет собой топографическую поверхность, включающую перечень всех точек с координатами. Определение номинального объекта def_{Θ}^1 «топографическая поверхность» в этом случае условно представляется в виде дефиниций: d^S - топографическая поверхность; d^{SP} - почва пласта; $d^P[]$ - множество точек в трехмерном пространстве. Это можно записать в виде соотношения $def_{\Theta}^1 = \{d^S, d^{SP}, d^P[]\}$. Так как все понятия присутствуют в одном номинальном объекте, то нет никакой необходимости в построении связей между объектами в рассматриваемой системе. Следовательно, образ такого номинального объекта не содержит никаких связей и поэтому множество, описывающее связи номинального объекта с другими номинальными объектами, в системе – пустое: $I_s = \emptyset$. Пространственно-топологический образ описывается неупорядоченным перечнем точек с координатами. Размер информационной составляющей I_q , характеризующей рассматриваемый номинальный объект $N_q = |I_q|$, равен утроенному числу точек (у каждой точки три координаты – x, y, z).

Соответственно, суммарный размер информационной составляющей рассматриваемой системы втрое больше числа всех точек:

$$N_{q\Sigma} = 3N_p.$$

Более точное и полное моделирование угольного пласта требует представления его в виде пространственного тела. В этом случае, задание геологических объектов в виде номинальных объектов без связей требует введения некоторого признака для различия почвы и кровли, так сказать некоторого свойства, имеющего два значения – почва или кровля. Тогда при построении номинальной системы Ω определение номинального объекта, по сравнению с определением def_{Θ}^1 в номинальной системе, будет шире и включать понятие d^{SK} (кровля пласта) - $def_{\Omega}^1 = \{d^S, d^{SK}, d^{SP}, d^P[]\}$. Пространственно-топологический образ будет представлен перечнем точек с координатами и некоторым признаком принадлежности к почве или к кровле. Размер информационной составляющей I_q j -го номинального объекта выражается формулой

$$N_q = 4(n_j + n_{j+1}) = 4 \sum_j^{j+1} n_i.$$

Соответственно, размер информационной составляющей для всех объектов, задействованных в номинальной системе

Ω , с учетом того, что $n_i = n = \frac{N_p}{m+1}$ для всех объектов постоянно, равен:

$$N_{q\Sigma} = 4 \sum_1^m \sum_j^{j+1} n_i = 8nm = 8 \frac{m}{m+1} N_p. \quad (2.6)$$

Усложним информационную структуру системы. Построим номинальную систему Ξ , состоящую из двух типов объектов. Разделим понятия, собранные в номинальном объекте def_{Ω}^1 номинальной системы Ω , на два номинальных объекта. Первый номинальный объект будет соответствовать понятию “пласт” и состоять из дефиниций d^{SP} - почва пласта и d^{SK} - кровля пласта $def_{\Xi}^1 = \{d^{SK}, d^{SP}\}$. Вновь вводимый

номинальный объект def_{Ξ}^2 соответствует поверхности контакта геологических отложений. Его определения включают дефиниции d^S - топографическая поверхность и $d^P[]$ - множество точек в трехмерном пространстве $def_{\Xi}^2 = \{d^S, d^P[]\}$. Соответственно, образ такого номинального объекта будет представлен списком точек с координатами. Образ номинального объекта, соответствующего геологическому отложению def_{Ξ}^1 , будет определен следующим образом. Информационная составляющая свойств I_q пуста, а информационная составляющая связей I_s будет содержать упорядоченный список поверхностей, соответствующих почве и кровле слоя. В этом случае размер информационной составляющей I_q j -го номинального объекта, соответствующего определению поверхности def_{Ξ}^2 , равен $3n_j$. Размер информационной составляющей образа i -го геологического слоя (def_{Ξ}^1) равен числу связей, то есть двум. Общий Размер информационной составляющей системы можно найти по формуле

$$N_{I_{\Sigma}} = N_{q_{\Sigma}} + N_{s_{\Sigma}} = 3 \sum_1^m n_j + 2m = 3N_p + 2m. \quad (2.7)$$

Сравним номинальные системы Ω и Ξ между собой. Отметим необходимое условие соотнесения определений номинальных объектов в сравниваемых системах. Так, легко видеть, что в обеих системах при определении номинальных объектов используются одни и те же дефиниции: «топографическая поверхность» d^S , кровля d^{SK} , почва d^{SP} , неупорядоченное множество точек в трехмерном пространстве $d^P[]$. Определения номинальных объектов def_{Ω}^1 , def_{Ξ}^1 и def_{Ξ}^2 в номинальных системах Ω и Ξ должны быть связаны между собой соотношением $def_{\Omega}^1 = def_{\Xi}^1 \cup def_{\Xi}^2$. Соответственно, номинальная система Ξ 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. Другими словами, можно сказать, что номинальная система Ξ имеет более сложную организацию, чем номинальная система Ω .

Проанализируем эффективность усложнения организации номинальной системы. Для того, чтоб не терять общность, определим переменную k , как число составных элементов в номинальном объекте с определением def_{Ξ}^1 , то есть k определяет число связей в образе объекта def_{Ξ}^1 . Соответственно, для определения def_{Ω}^1 - переменная k определяет число дефиниций, соответствующее определению номинального объекта def_{Ξ}^2 . Параметр α определяет значение признака представляемости свойства Q_N (пространственно топологическое свойство образов номинальных объектов имеет значение $Q_N = 3$). Тогда полученные выражения (2.6) и (2.7), с учетом условия непрерывности расположения объектов в системе, индуктивно примут вид:

$$N_{\Omega}^{\Omega} = k(\alpha + 1)nm \quad - \quad \text{для системы } \Omega, \text{ и}$$

$$N_{\Omega}^{\Xi} = \alpha n(m + 1) + mk \quad - \quad \text{для системы } \Xi.$$

Приведенное выражение для системы Ω справедливо только для случая, если составных элементов несколько. Если же такой элемент один, то размер номинальной системы вычисляется по формуле $N_{\Omega}^{\Omega} = k\alpha nm$. Введя дельта-функцию, определенную следующим образом:

$$\delta(k) = \begin{cases} 0 & \text{при } k = 1 \\ 1 & \text{при } k > 1 \end{cases}, \text{ запишем общее выражение для определения размера}$$

$$\text{номинальной системы } \Omega: N_{\Omega}^{\Omega} = k(\alpha + \delta(k))nm.$$

Введем определение. Коэффициентом эффективности использования 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 размера информационной составляющей номинальной системы Ω на размер информационной составляющей номинальной системы Ξ .

Для определения эффективности номинальной системы с организацией по сравнению с номинальной системой без организации поделим полученные выражения одно на другое. Результат определит коэффициент эффективности использования организации в системе.

$$\beta = \frac{k(\alpha + \delta(k))nm}{\alpha n(m+1) + mk} \quad (2.8).$$

Таким образом, для анализа влияния на размер информационной составляющей степени организации номинальной системы по компонентам I_{Ind} , I_q и I_{Int} номинальных объектов - необходимо использовать полученное выражение (2.8). Существующие оценки, критерии в этом случае не работоспособны [6, 16, 21, 33, 49, 96, 97, 180]. При значениях переменной $k = 1$ коэффициент эффективности β , использования организации в номинальной системе, всегда меньше единицы для произвольных значений n и m - $\sup(\beta) = \frac{\alpha n}{\alpha n + 1} < 1$. Это согласуется со здравым смыслом: усложнение организации номинальных объектов с определениями, в которых отсутствует повторяемость дефиниций, ведет только к увеличению размера номинальной системы. Другими словами, «не усложняй сущности без надобности».

Проанализируем поведение функции β . Для этого найдем её частные производные по переменным k , α , m и n :

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

$$\frac{\partial \beta}{\partial n} = \frac{(\alpha + \delta(k))k^2 m^2}{[\alpha n(m+1) + mk]^2} > 0 \quad \frac{\partial \beta}{\partial \alpha} = \frac{knm[mk - n\delta(k)(m+1)]}{[\alpha n(m+1) + mk]^2}$$

Все они, кроме частной производной по переменной α заведомо положительны. Рассмотрим подробнее природу поведения параметра α . Значение этого параметра определяется особенностью реальной системы и теми задачами, для решений которых строится номинальная система. Поэтому для различных номинальных систем, описывающих одну и ту же реальную систему и решающих одни и те же задачи, зависимости β от признака представляемости свойства - α нет. Таким образом, с ростом переменных k , m и n значение функции «эффективность использования организации в номинальной системе» увеличивается. Отсюда следует теорема.

Теорема 2.2. Если в некоторой номинальной системе присутствует определение номинального объекта def_{Ω}^1 с более чем одной и той же дефиницией, то усложнение организации системы вводом двух типов номинальных объектов с определениями def_{Ξ}^1 , def_{Ξ}^2 вместо одного def_{Ω}^1 , связанных между собой соотношением $def_{\Omega}^1 = def_{\Xi}^1 \cup def_{\Xi}^2$, уменьшает размер номинальной системы. Уменьшение размера номинальной системы ведет к увеличению эффективности ее функционирования. Доказательство сформулированной теоремы приведено выше.

Рассматривая общее поведение функции β , следует отметить, что с ростом признака представляемости свойства эффективность использования организации несколько снижается. Это влияние хорошо видно на рис. 2.23, где представлены зависимости функции β от различного числа номинальных объектов в системе для значения коэффициента повторения $k = 2$.

Значение коэффициента эффективности в системах с большим числом сложных номинальных объектов можно приблизительно найти как

предел: $\beta = \lim_{m \rightarrow \infty} \frac{k(\alpha + \delta(k))mn}{\alpha n(m+1) + mk} = \frac{k(\alpha + \delta(k))n}{\alpha n + k}$. Графики полученной функции β , в зависимости от k и n , для различных значений коэффициента α представлены на рис. 2.24.

Верхнее значение коэффициента эффективности β , использования организации в номинальной системе, при $k = 1$, в этом случае тоже строго меньше единицы для произвольных значений n - $\sup(\beta) = \frac{\alpha n}{\alpha n + 1} < 1$.

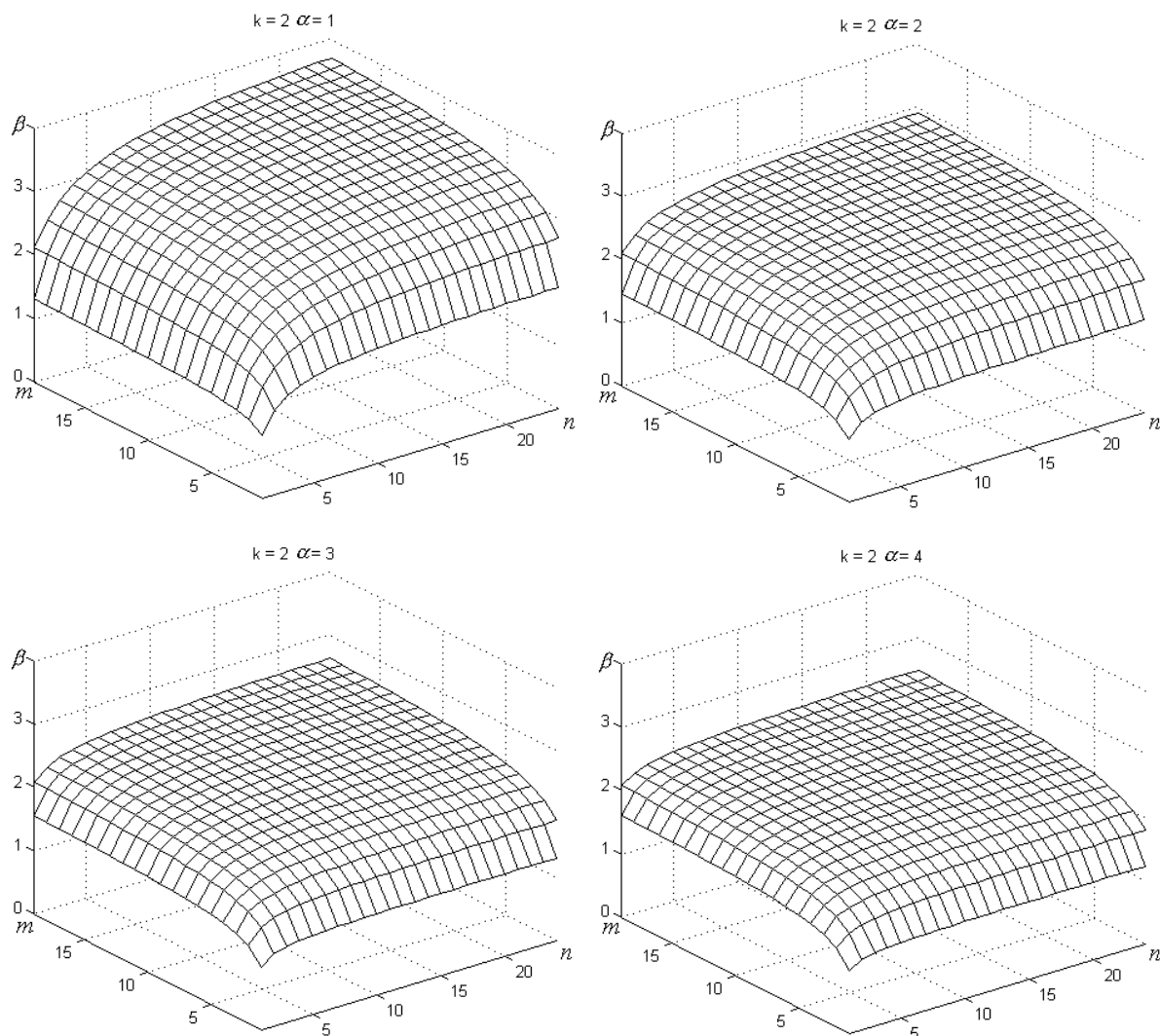


Рис. 2.23.

Поведение коэффициента эффективности использования организации в номинальной системе в зависимости от числа простых и составных номинальных объектов при $k = 2$ и $\alpha = 1 \div 4$.

Легко видеть, что с увеличением n функция β , при фиксированной переменной k , стремится к определенным предельным значениям. Эти величины находятся из условия:

$$\beta = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{k(\alpha + \delta(k))n}{\alpha n + k} = \frac{k(\alpha + \delta(k))}{\alpha} \quad (2.9)$$

и приведены в табл. 2.6 и на рис. 2.25.

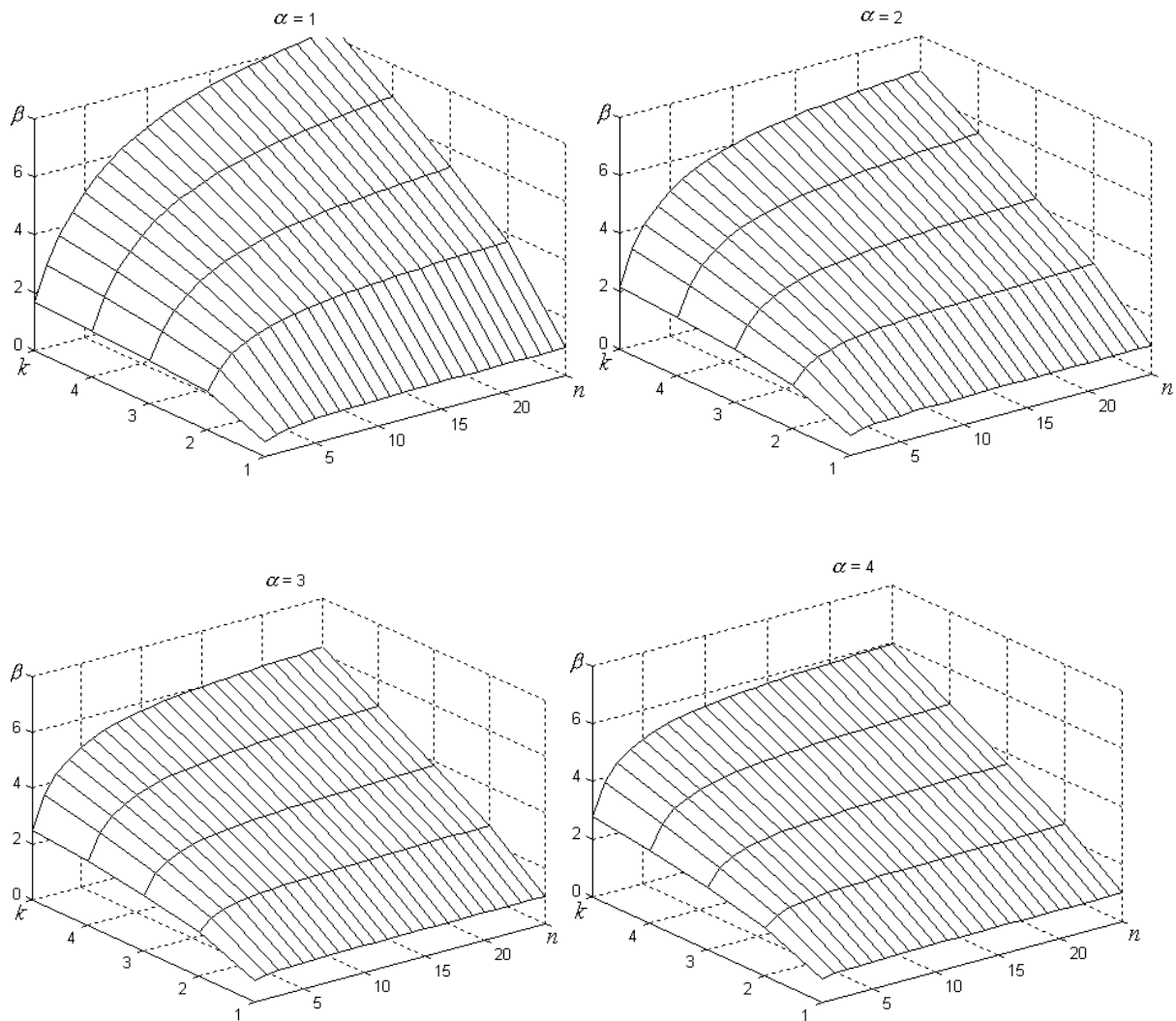


Рис. 2.24.

Поведение коэффициента эффективности использования организации в номинальной системе с большим числом сложных номинальных объектов в зависимости от коэффициента повторения и числа простых номинальных объектов $\alpha = 1 \div 4$.

Табл. 2.6.

Предельные значения коэффициента эффективности организации образов
номинальных объектов.

	$\alpha = 1$	$\alpha = 2$	$\alpha = 3$	$\alpha = 4$...	$\alpha \rightarrow \infty$
$k = 1$	1	1	1	1	...	1
$k = 2$	4	3	2,667	2,5	...	2
$k = 3$	6	4,5	4	3,75	...	3
$k = 4$	8	6	5,333	5	...	4

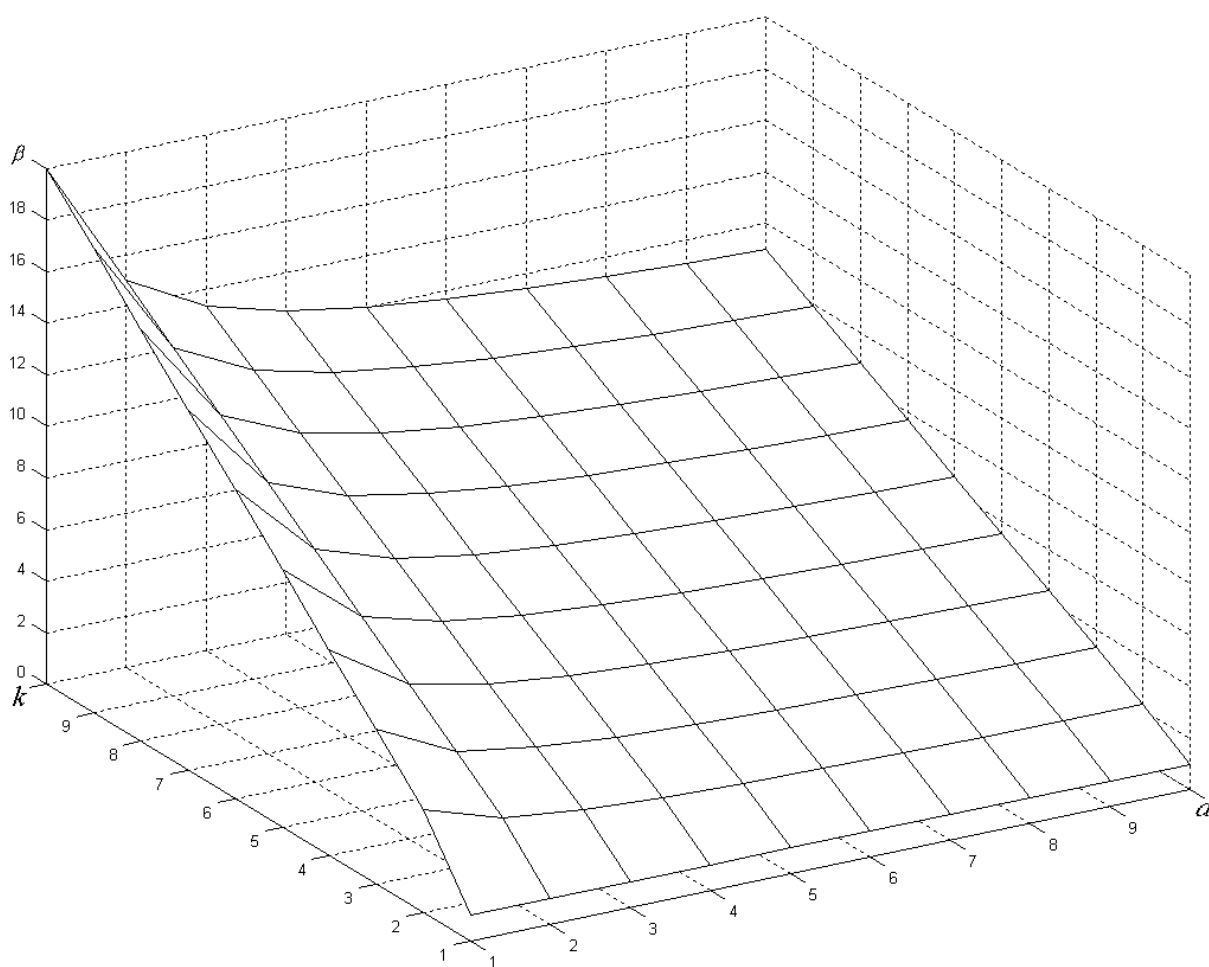


Рис. 2.25.

Поведение функции β , выражения (2.9), в зависимости
от параметров α и k .

В рассмотренных примерах, предполагалось, что численность
простых объектов входящих в составные одно и тоже. Пусть численность

номинальных объектов зависит от номера составного объекта по периодическому синусоидальному закону - $n(i) = \bar{n} \sin\left(\frac{\pi}{m}(i-1)\right)$. Здесь \bar{n} амплитуда изменения числа свойств в простом объекте. Тогда коэффициент эффективности использования организации в номинальной системе при большом числе номинальных объектов в системе определяется выражением:

$$\beta \approx \frac{(\alpha + \delta(k))k \int_1^m \bar{n} \sin \frac{\pi}{m}(i-1) di}{\alpha \int_1^m \bar{n} \sin \frac{\pi}{m}(i-1) di + mk}.$$

После взятия интегралов получаем $\beta = \frac{k(\alpha + \delta(k))2\bar{n}}{2\alpha\bar{n} + k\pi}$. Графики полученной функции подобны графикам представленным на рис. 2.24 и они незначительно отличаются друг от друга. При больших значениях амплитуды \bar{n} приходим к формуле (2.9).

Отметим еще одну особенность коэффициента эффективности использования информационных ресурсов в сложных системах. Когда число простых номинальных объектов значительно больше числа сложных номинальных объектов ($n \gg m$), не зависимо от прочих условий $\beta = \frac{k(\alpha + \delta(k))}{\alpha}$, что соответствует значению (2.9), это говорит об универсальности формулы.

Выведем формулу определения коэффициента эффективности использования организации информационных ресурсов в номинальной системе в общем виде. Рассмотрим две номинальные системы Ω (номинальная система без организации на множестве номинальных объектов def_{Ω}^1) и Ξ (номинальная система с организацией на множестве номинальных объектов def_{Ξ}^1 и def_{Ξ}^2). Определения номинальных объектов в этих системах, по-прежнему, удовлетворяют условию

$def_{\Omega}^1 = def_{\Xi}^1 \cup def_{\Xi}^2$. Кроме этого существуют следующие ограничения. Номинальный объект с определением def_{Ξ}^2 может входить не более, чем в два номинальных объекта с определением def_{Ξ}^1 . То есть, номинальный объект типа def_{Ξ}^2 является границей между двумя номинальными объектами типа def_{Ξ}^1 , такие условия наблюдаются при описании геологической толщи, слоев, скважин, горных выработок, маркшейдерских измерений и так далее.

Размер j -го номинального объекта с определением def_{Ω}^1 в номинальной системе Ω определяется соотношением

$N_{\Omega}^j = (\alpha + \delta(k)) \sum_j^{j+k-1} n_i$. Соответственно, размер всех объектов типа def_{Ω}^1 в номинальной системе Ω определяется суммой

$N_{\Omega} = \sum_{j=1}^m N_{\Omega}^j = (\alpha + \delta(k)) \sum_{j=1}^m \sum_j^{j+k-1} n_i$. Размер, необходимый для хранения той же информации о реальной системе в номинальной системе Ξ , определяется суммой размеров всех объектов с определением def_{Ξ}^1 и def_{Ξ}^2 .

Соответственно, имеем $N_{\Xi}^1 = mk$ и $N_{\Xi}^2 = \alpha \sum_1^{m+1} n_i$. Тогда коэффициент эффективности организации в номинальной системе Ξ по сравнению с номинальной системой Ω равен:

$$\beta = \frac{N_{\Omega}}{N_{\Xi}} = \frac{(\alpha + \delta(k)) \sum_{j=1}^m \sum_j^{j+k-1} n_i}{\alpha \sum_1^{m+1} n_i + mk}, \quad (2.10)$$

В том случае, когда переменная n_i для всех объектов одна и та же - $\forall i(n_i = n)$, получаем формулу (2.8).

Рассмотрим теперь, возможные операции с коэффициентом эффективности организации номинальных систем. Пусть существует

реальная система RS , в результате её формализации получается номинальная система NS_0 без организации, состоящая из номинальных объектов n типов (рис. 2.26). Информационный размер номинальных объектов каждого типа определяется значениями W_1, W_2, W_n . Соответственно общий размер номинальной системы является суммой: $W = \sum_n W_i$. Введя безразмерные коэффициенты относительного размера $\delta_i = W_i / W$, имеем $\delta = \sum_n \delta_i = 1$.

Далее, пусть с помощью другой формализации можно получить номинальную систему NS_k , которая состоит из n пар номинальных объектов различного типа. Каждая пара номинальных объектов системы NS_k соответствует одному из объектов в номинальной системе NS_0 . Соответствие это выражается таким образом, что пара объектов из системы NS_k является некоторым сложным образом части реальной системы, а объект из NS_0 – простым образом той же части реальной системы.

Таким образом можно записать соотношение информационных размеров для i -ой части системы $W^k = W_i^0 / \beta_i$. Тогда суммарный размер номинальной системы NS_k составит:

$$W^k = \sum_n W_i^k = \sum_n \frac{W_i^0}{\beta_i} = W^0 \sum_n \frac{\delta_i}{\beta_i} \quad (2.11).$$

С учетом, что $W^k = W^0 / \beta$, из выражения (2.11) можно найти общий коэффициент эффективности организации информации для всей номинальной системы NS_k , по сравнению с номинальной системой без организации - NS_0 :

$$\beta = \frac{1}{\sum_n \frac{\delta_i}{\beta_i}} \quad (2.12).$$

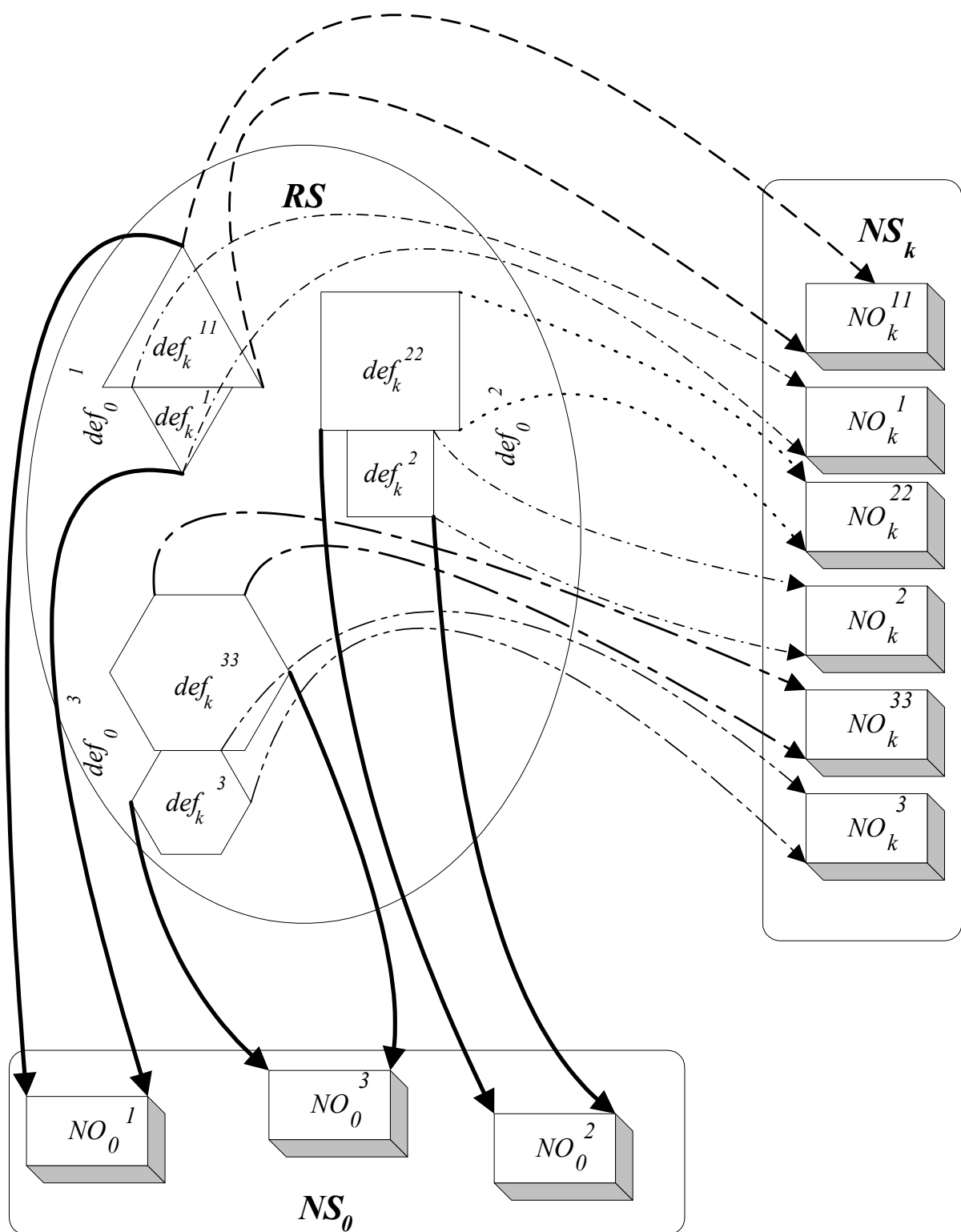


Рис. 2.26.

Два варианта формализации реальной системы RS , соответственно в номинальную систему NS_0 и в номинальную систему NS_k .

Рассмотрим простой случай. Пусть размеры образов различных номинальных объектов в номинальной системе NS_0 одинаковы. То есть, $\delta_1 = \delta_2 = \dots = \delta_n = 1/n$, тогда выражение (2.12) примет вид:

$$\beta = \frac{n}{\sum_n \frac{1}{\beta_i}} = n\bar{\beta}, \text{ где } \bar{\beta} - \text{гармоническое среднее всех коэффициентов } \beta_i.$$

2.10 Динамическая оценка информационных образований номинальных систем.

Геологическая информация по угольным предприятиям характеризуется большой разнообразностью представления, огромным числом геологических и горных объектов, связи между которыми сложны и запутаны. Отношения подчиненности определяются многоуровневостью и разноплановостью. Описание совокупностей геологических объектов можно представлять в виде нерегулярных фрактальных образований.

Триадная кривая Коха – один из наглядных геометрических примеров для исследования фракталов. Построение кривой Коха начинается с прямолинейного отрезка единичной длины. Этот исходный отрезок можно назвать кривой Коха 0-го поколения. На первом шаге весь отрезок заменяется четырьмя отрезками длиной в $1/3$ от исходного, так получается кривая Коха 1-го поколения (это соответствует кривой с $n=1$ на рис. 2.27). Далее, операция повторяется с каждым вновь полученным отрезком. Получается кривая Коха 2-го порядка. Применяя описанную процедуру 3, 4, 5 и более раз получаем кривые Коха разной детальности и соответствующие 3-му, 4-му, 5-му и так далее поколениям кривой.

Вопрос, на который первоначально хотелось бы получить ответ: конечен ли размер фрактального образования или нет? В случае с кривой Коха - конечна ли ее длина при $n \rightarrow \infty$ или нет? (Легко видеть, что длина триадной кривой Коха определяется формулой $L = (4/3)^n$ и стремится к бесконечности.) Ответ на поставленный вопрос дает значение размерности

Хаусдорфа - Безиковича с учетом конечно топологической размерности фрактального образования. При регулярном структуроформирующем правиле размерность Хаусдорфа - Безиковича определяется соотношением: $D = \ln k / \ln l$ (k - число элементов, l - относительный размер элементов).

К сожалению, регулярные структуроформирующие правила редко встречаются в жизни. Попытаемся получить формулу вычисления размерности Хаусдорфа – Безиковича, когда число элементов во фрактальном образовании переменное. Начнем все с той же геометрической интерпретации. Пусть элементы кривой (это, конечно, будет уже не триадная кривая Коха) в первом поколении ($n=1$) делятся на три элемента, во втором на четыре, в третьем на пять, в четвертом снова на три и так далее, а правило определяющее размер элементов остается тем же, что и для кривой Коха.

В самом начале процесса длина кривой $L = k\delta = 1$; $k = 1$ - число элементов, $\delta = 1$ - длина элемента. На первом шаге ($n=1$ рис. 2.28) длина кривой и её форма не меняются $L = k\delta = 3 \cdot 1/3$, ($k = 3, \delta = 1/3$). Запишем число элементов кривой и длины элементов для нескольких поколений. Так для

$$n=2, \quad k = 3, \quad \delta = (1/3)^2$$

$$n=3, \quad k = 3 \cdot 4, \quad \delta = (1/3)^3$$

$$n=4, \quad k = 3 \cdot 4 \cdot 5, \quad \delta = (1/3)^4$$

$$n=5, \quad k = 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 3, \quad \delta = (1/3)^5$$

$$n=6, \quad k = 3 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 4, \quad \delta = (1/3)^6$$

и соответственно для произвольного значения n :

$$n, \quad k = (3 \cdot 4 \cdot 5)^{n/3}, \quad \delta = (1/3)^n.$$

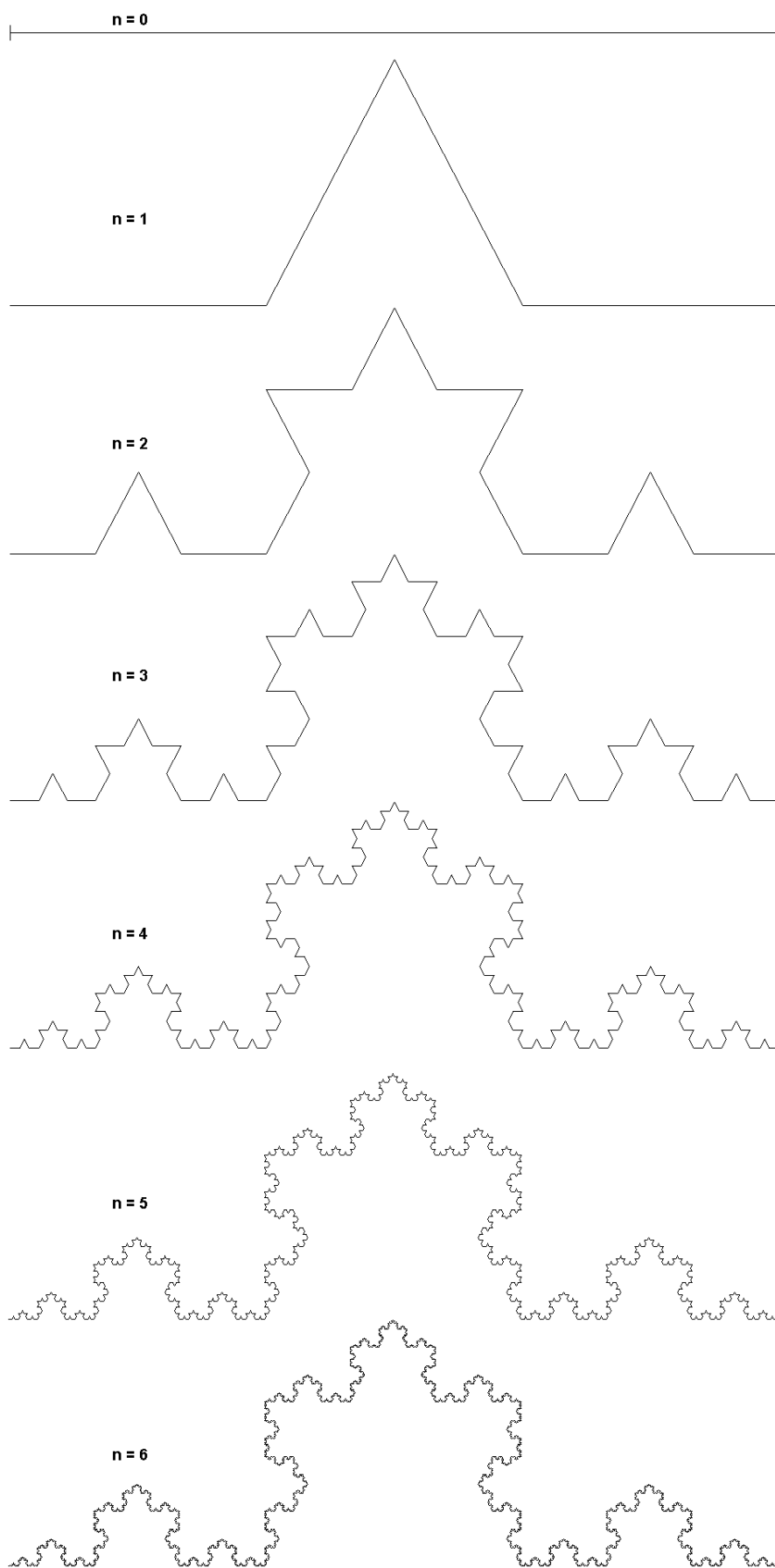


Рис. 2.27.

Построение триадной кривой Коха.

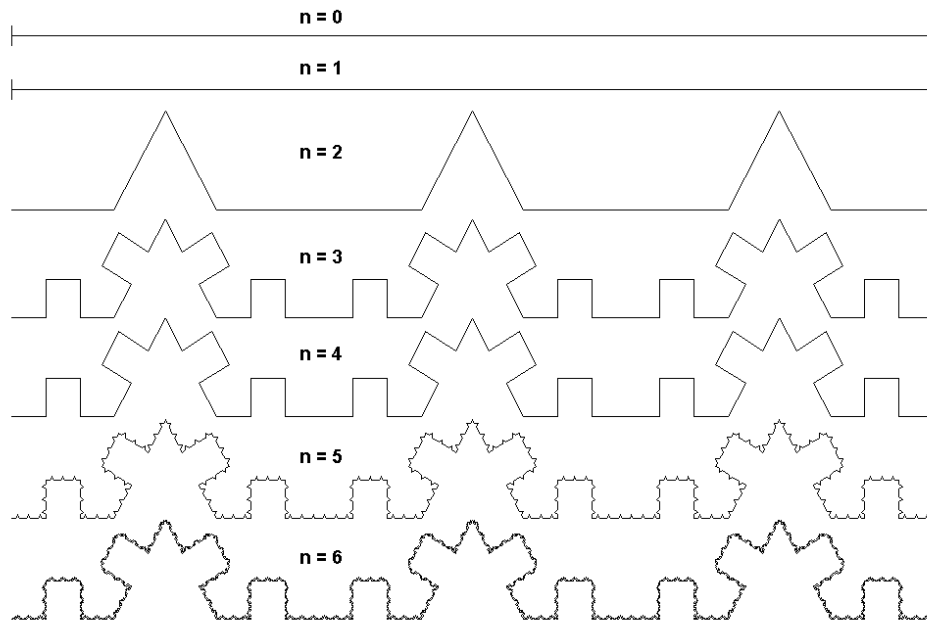


Рис. 2.28.

Построение модифицированной кривой на базе кривой Коха.

Тогда длина кривой равна $L = k\delta = \left(\frac{3 \cdot 4 \cdot 5}{3^3}\right)^{n/3}$.

Выражая n через длину элемента ($n = -\ln \delta / \ln 3$) и применяя прямую и обратную операции логарифмирования имеем:

$$L = \exp\left[-\frac{\ln \delta (\ln 3 + \ln 4 + \ln 5 - 3 \ln 3)}{3 \ln 3}\right] = \exp\left[\ln \delta \left(1 - \frac{\ln 3 + \ln 4 + \ln 5}{3 \ln 3}\right)\right] = \delta^{1-D}$$

где: $D = \frac{\ln 3 + \ln 4 + \ln 5}{3 \ln 3} \approx 1,2423$ и есть искомая размерность Хаусдорфа

- Безиковича для рассматриваемого случая. По сравнению с кривой Коха ($D = \ln 4 / \ln 3 \approx 1.2619$) у данной кривой размерность Хаусдорфа - Безиковича меньше, но длина ее все еще не конечна. Обобщая полученный результат на произвольное число структур, запишем формулу для определения размерности Хаусдорфа - Безиковича при нерегулярном структуроформирующем правиле:

$$D = \frac{\sum m_i \ln k_i}{\ln l \sum m_i},$$

здесь: $\sum m_i$ - число различных структур;

k_i - число элементов в i структуре;

m_i - число повторений i структуры.

Аналогичные рассуждения относительно правила, определяющего размер структур, дают:

$$D = \frac{\sum m_i \ln k_i}{\sum m_i \ln l_i}.$$

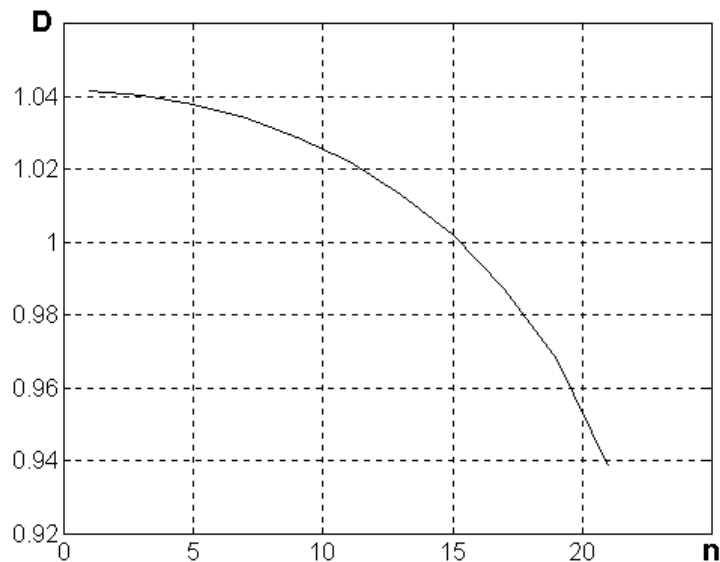


Рис. 2.29.

Влияние на размерность Хаусдорфа - Безиковича числа структур с различным количеством элементов ($l = 1/10$).

В точке $n=1$ $k=11$.

Особый интерес представляет влияние на размерность Хаусдорфа - Безиковича числа структур, участвующих в формировании фрактального образования. Пусть имеются несколько фрактальных образований. Первое строилось с помощью одной структуры, состоящей из j элементов. Второе – с помощью трех структур, состоящих соответственно из $j-1$, j и $j+1$ элементов. Третье – с помощью пяти структур, состоящих соответственно

из $j-2, j-1, j, j+1$ и $j+2$ элементов. И так далее. Построен график (рис. 2.29) зависимости размерности Хаусдорфа - Безиковича от числа структур. Из него видно, чем больше разнообразность структур, тем меньше размерность D . Рис. 2.30 иллюстрирует влияние на размерность Хаусдорфа - Безиковича разнообразность размеров элементов в структуре. Как видно с увеличением количества размеров элементов, растет размерность D .

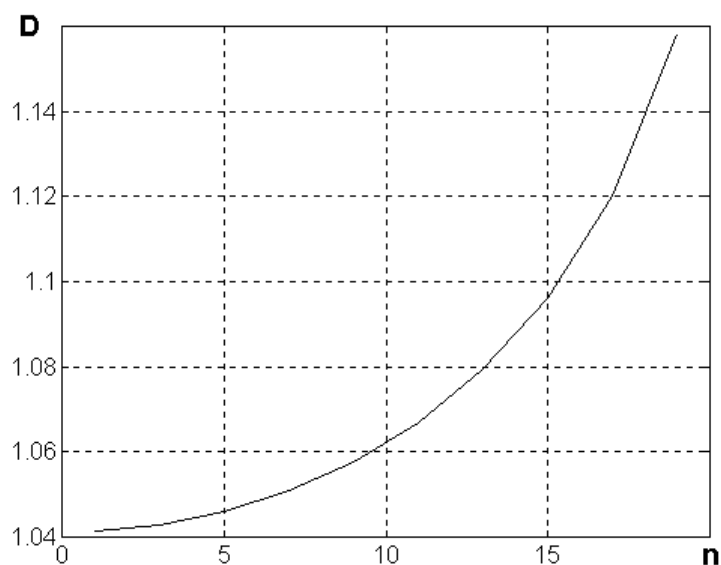


Рис. 2.30.

Влияние на размерность Хаусдорфа - Безиковича числа различных элементов в структуре ($k = 11$).

В точке $n=1$ $l = 10$.

2.11 Определение границ возникновения хаоса в иерархических структурах информационных образований номинальных систем.

Значительное распространение в последнее время получили иерархически организованные базы данных [176]. Они обладают рядом преимуществ. Наглядны (большая степень наглядности достигается скрыванием второстепенных деталей за главными объектами), удобны в использовании, ближе человеческому пониманию и так далее. Однако,

есть и недостатки. Например, нельзя сформулировать SQL запрос потому, что не известны все объекты, которые надо просмотреть [7]. Список этих объектов определяется только в ходе выполнения запроса. Соответственно необходимо разрабатывать программу, осуществляющую процедуру иерархического запроса.

Рассмотрим основные этапы действия такой программы. Их будет три: определение объекта, непосредственно выбор информации и проверка условия останова. На первом этапе в начале выполнения программы определяется объект, по которому ищется требуемая информация. Далее, с помощью запроса выбирается, во-первых, состав объекта, то есть список объектов, входящих в рассматриваемый. И, во-вторых, искомая информация, если она имеется. Условием окончания является пустой список состава рассматриваемого объекта. Описанный алгоритм является рекурсивным. Путь, пройденный программой, по объектам базы данных можно представить в виде дерева.

Этот же вопрос можно решать способом распараллеливания вычислений. Тогда программа должна быть реентерабельной и выглядеть иначе. Начальное условие – объект, по которому ищется информация, определяется извне и передается как входной параметр. Этапы работы программы следующие. Во-первых, выбор искомой информации и списка подчиненных объектов (входящих в рассматриваемый). Во-вторых, запуск новых задач (если список подчиненных объектов не пуст), выполняющих копию программы для всех подчиненных объектов, и останов программы. В рассмотренном случае, мы имеем дело с фрактально-подобным процессом. Описанные действия можно определить как фрактальный алгоритм поиска информации на пространстве иерархических структур.

Предположим в первом приближении, что время выполнения задач одинаковое - t_p . Далее, будем считать, что вычисления выполняются в идеальной многозадачной среде, такой, что если момент начала выполнения двух одинаковых задач совпадает, то совпадает и момент

окончания их выполнения. Тогда время, необходимое на выполнение задачи, прямо пропорционально числу одновременно выполняющихся задач $t_i = nt_p$. Каждой вершине дерева (рис. 2.31) соответствует одна задача. В период времени $T_1 = 0 \div t_1$ выполняется задача А, в период времени $T_2 = t_1 \div t_2$ четыре задачи В1, В2, В3 и В4, в период времени $T_3 = t_2 \div t_3$ шесть задач C_i и так далее. Число задач на этапе $n + 1$ можно определить с помощью выражения $x_{n+1} = r_n x_n$, где r_n - среднее число объектов, входящих в объекты уровня n . Если глубина иерархии большая, то число одновременно выполняемых задач будет стремиться к бесконечности. На самом же деле вычислительные ресурсы конечны.

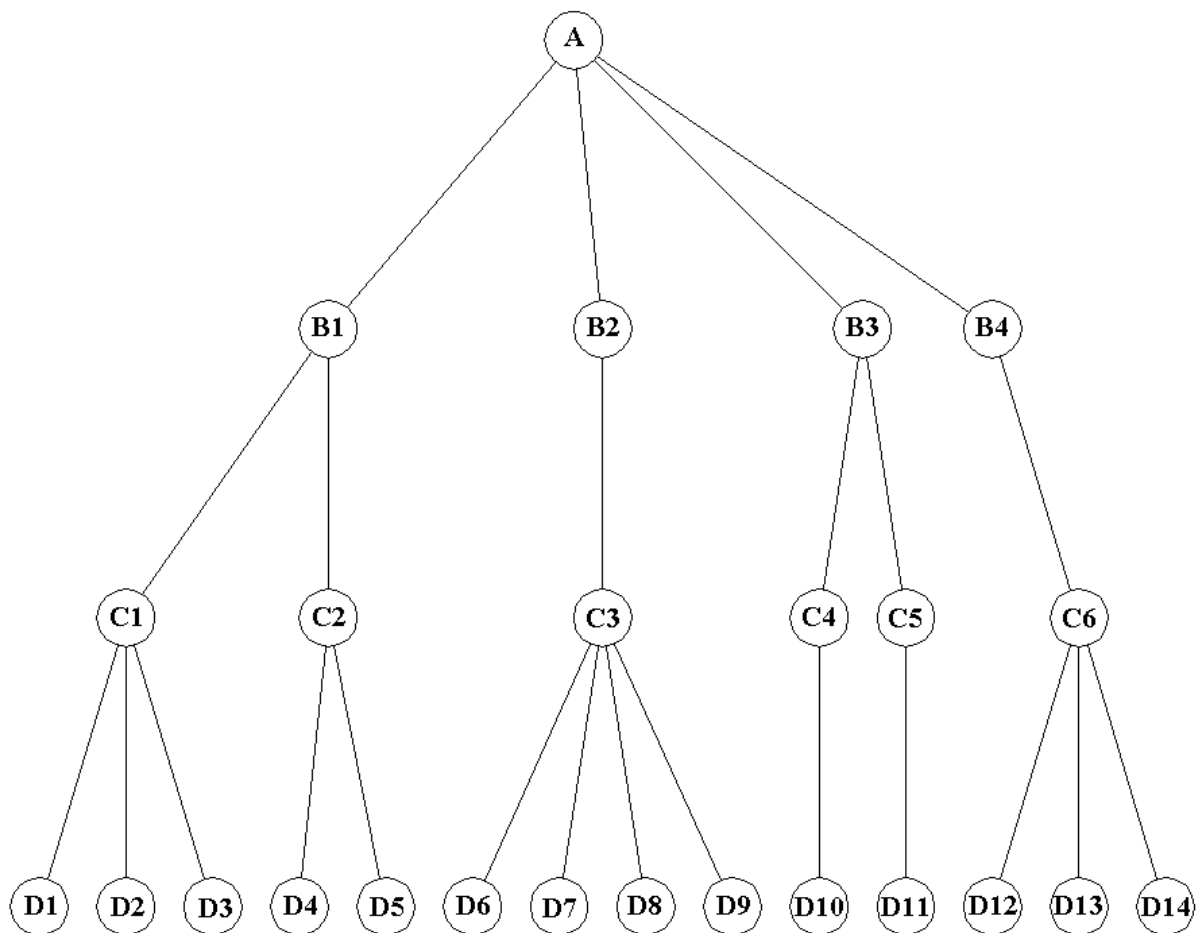


Рис. 2.31.

Описанная модель подобна модели, используемой в биологии для описания численности популяции. Для учета влияния ограниченности среды обитания П. Ф. Ферхюльст в 1845 сформулировал закон ограничения роста численности особей. Относительная (нормированная) численность популяции x_{n+1} в $n+1$ -й год пропорциональна численности особей в предыдущем n -ом году, а также свободной части $(1-x_n)$ жизненного пространства. Тогда численность популяции определяется логистическим отображением $x_{n+1} = rx_n(1-x_n)$ (коэффициент r считается постоянным). Граничные условия означают, что если $x_n = 1$, то все жизненное пространство полностью занято, а если $x_n = 0$, то – популяция вымерла и все жизненное пространство свободно.

Казалось бы, что численность популяции (в нашем случае численность вычислительных процессов), благодаря механизму обратной связи, будет стремиться к некоторому фиксированному значению. Однако, как показали S. Grossmann, S. Tomaе [190], M. J. Feigenbaum [189], это справедливо только при небольших значениях r . Так, при значении $r = 1.4$ (рис. 2.32) численность популяции сходится к значению приблизительно 0.28, при значении $r = 3$ численность популяции совершает колебания, с ростом r амплитуда колебаний увеличивается, а затем приобретает более сложный характер $r = 3.5$. При дальнейшем увеличении коэффициента r процесс приобретает хаотический характер.

Представление обо всех возможных типах поведения дает бифуркационная диаграмма, отображающая зависимость динамики процесса от параметра r . Чтобы ее получить необходимо вычислить значения x_{n+1} для каждого значения r . Причем, первые итерации (не менее 200) должны быть пропущены. Это делается для того, чтобы процесс вошел в свой аттрактор, который характеризует только асимптотическое поведение и при этом исключить влияние переходного периода.

Последующие итерации выносятся на диаграмму, чтобы показать природу каждого аттрактора (рис. 2.33).

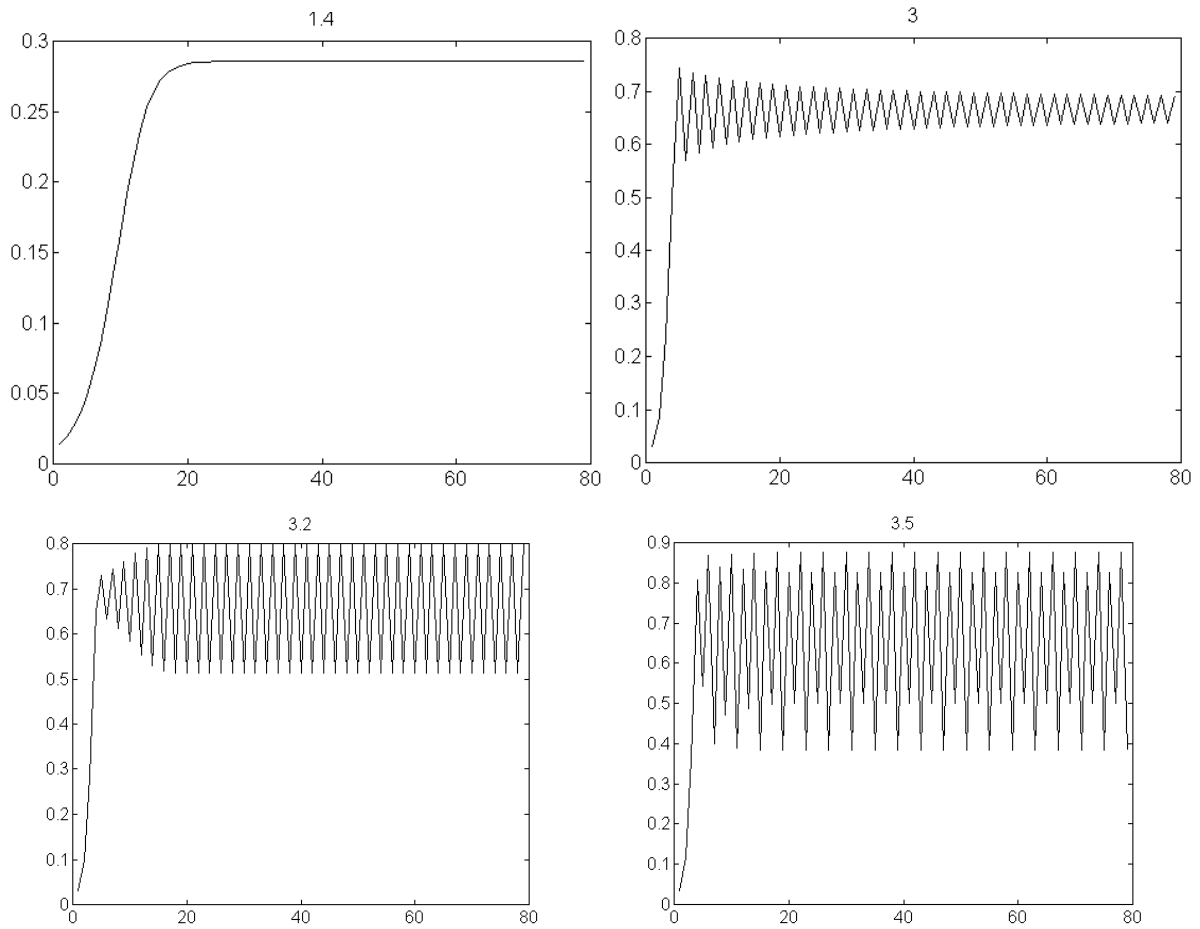


Рис. 2.32

Пусть r_k - коэффициент роста соответствует k -й бифуркации (т.е., моменту, когда колебания периода 2^k теряют устойчивость и устойчивыми становятся колебания большего периода - 2^{k+1}). Тогда оказывается, что отношение $(r_k - r_{k-1}) / (r_{k+1} - r_k)$ с возрастанием k имеет предел 4.6692016... Эту величину называют универсальной константой Фейгенбаума. Последовательность r_k для процесса $x_{n+1} = r_k x_n (1 - x_n)$, при которой происходит бифуркация, имеет предел $R = 3.569\dots$. При этом значении коэффициента r точки x_{n+1} заполняют весь интервал (возникает полный хаос).

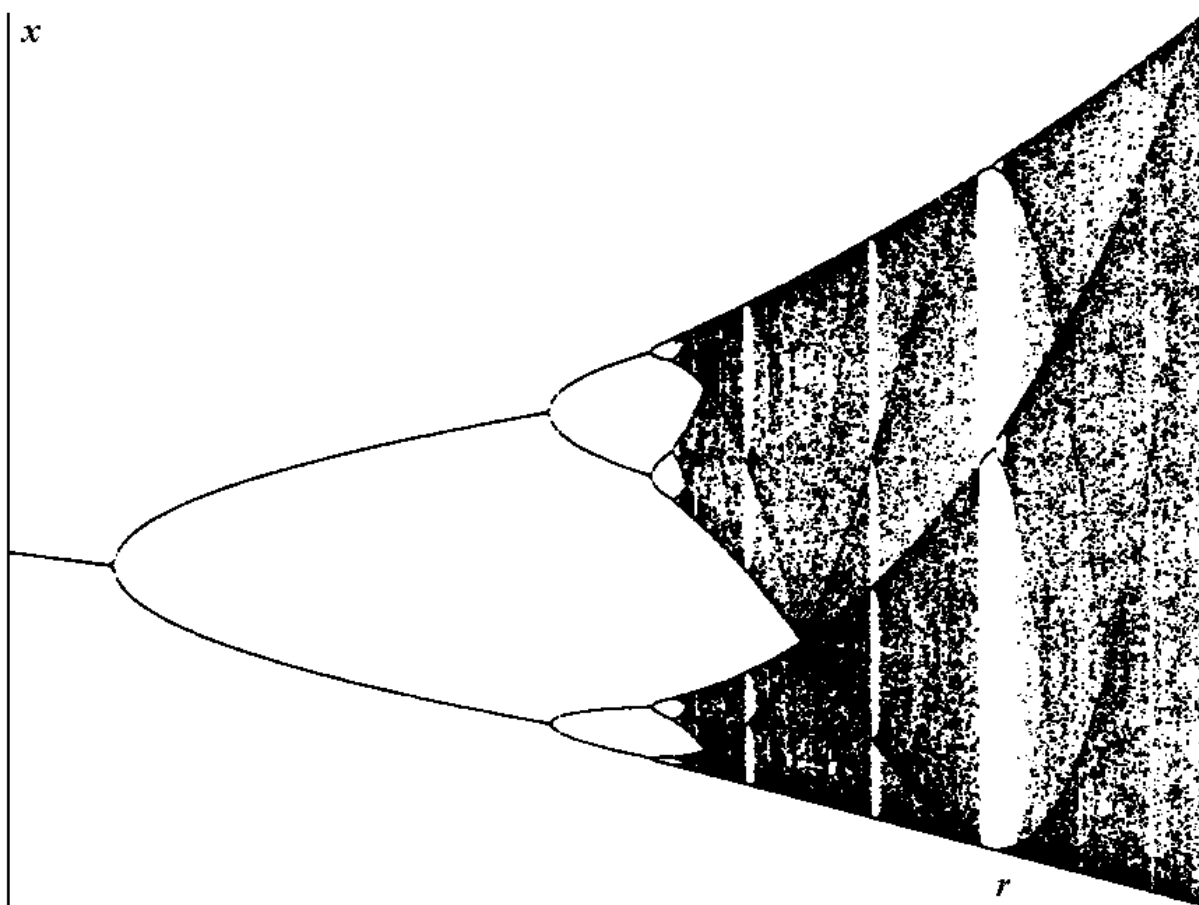


Рис. 2.33.

Зависимость числа вновь запускаемых процессов от доступных вычислительных ресурсов конечно, что не описывается выражением $(1 - x_n)$. Скорее всего здесь имеет место зависимость $(1 - x_n)^p$, где $0 < p < 1$ или $(1 - x_n^p)$, где $p > 0$.

Универсальность константы Фейгенбаума состоит в том, что для любой функции $F(x)$, “похожей” на $f_r(x)$ тем, что $F(0) = F(1) = 0$ и максимум $F(x)$ - единственный на отрезке $\{0,1\}$, она одна и та же [1,2]. Это позволяет оценить значения R для произвольных (“похожих” на $f_r(x)$) функций. Зная r_1 и r_2 : $R = r_1 + (r_2 - r_1)(1 + h + h^2 + \dots) = r_1 + h(r_2 - r_1)$, здесь $h = 1.272\dots$ - величина обратная константе Фейгенбаума.

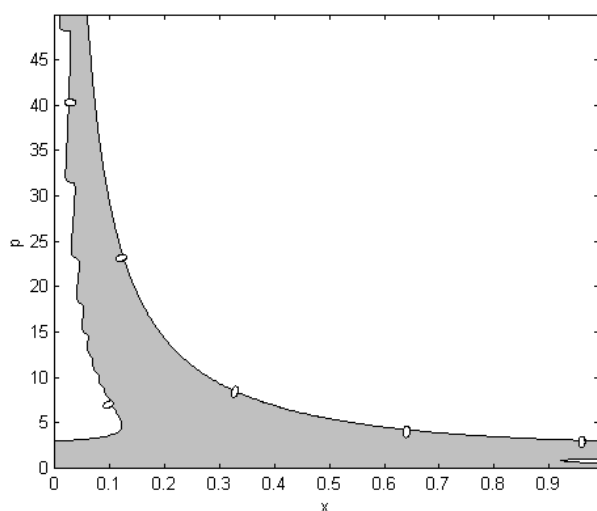
Необходимым условием возникновения хаоса с помощью удвоения периода для отображений является отрицательность производной Шварца.

$$S[f(x)] = \frac{f'''(x)}{f'(x)} - \frac{3}{2} \left[\frac{f''(x)}{f'(x)} \right]^2.$$

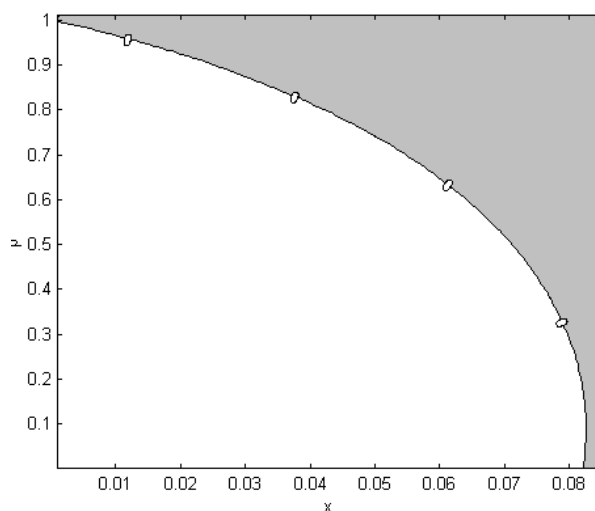
Зависимость числа вновь запускаемых процессов от доступных вычислительных ресурсов, конечно, не описывается выражением $1 - x_n$. Здесь имеют место зависимости либо вида $(1 - x_n)^p$, либо вида $1 - x_n^p$, где параметр $p > 0$. Ниже даются значения выражений, входящих в шварцман для рассматриваемых моделей:

$f(x) = r(1 - x_n)^p x,$	$f(x) = r(1 - x_n^p)x,$
$f'(x) = r(1 - x)^{p-1}[1 - (1 + p)x],$	$f'(x) = r - r(p + 1)x^p,$
$f''(x) = -rp(1 - x)^{p-2}[2 - (1 + p)x],$	$f''(x) = -rp(p + 1)x^{p-1},$
$f'''(x) = rp(p - 1)(1 - x)^{p-3}[3 - (1 + p)x],$	$f'''(x) = -rp(p^2 - 1)x^{p-2}.$

На рис. 2.34 темной заливкой выделены области возможного образования хаотических явлений.



Модель $f(x) = r(1 - x_n)^p x$.



Модель $f(x) = r(1 - x_n^p)x$.

Рис. 2.34.

Область возможного возникновения хаотических явлений.

Достаточные условия возникновения хаотических явлений определяет бифуркационная диаграмма. С целью установления характеристик r_1 , r_2 и R для процессов $x_{n+1} = r_k x_n (1 - x_n)^p$ и $x_{n+1} = r_k x_n (1 - x_n^p)$ были проведены вычислительные эксперименты. За начало процесса принимались значения r_1 и x , при которых $F(x) = x$ (стационарная точка) и $dF/dx = -1$ (момент потери устойчивости). Это дает два уравнения соответственно для зависимости:

$$x_{n+1} = r_k x_n (1 - x_n)^p \quad x = 1 / \left(1 + \frac{p}{2} \right) \quad r_1 = 1 / (1 - x)^p$$

и для зависимости:

$$x_{n+1} = r_k x_n (1 - x_n^p) \quad r_1 = 1 + \frac{2}{p} \quad x = \left(1 - \frac{1}{r} \right)^{1/p}$$

Параметры области зарождения и развития хаоса [128, 182] определялись с помощью специально написанного программного инструментария, осуществляющего итерационное построение бифуркационной диаграммы. Постепенно наращивая значения r , программа улавливает момент удвоения периода колебаний. Во время вычисления производится постоянный контроль за предельными точками процесса с помощью адаптируемого допустимого диапазона на величину x_{n+1} . Полученные параметры r_1 , r_2 и R в зависимости от p сведены в табл. 2.7 и 2.8.

На рис. 2.35 нанесены параметры бифуркационных диаграмм для различных значений показателя p . Границы хаоса процессов определяются линиями R . Зависимости размера области с бифуркационными явлениями $(R - r_1)$ в логарифмических координатах $(\ln(R - r_1) = \varphi\{\ln(p)\})$ представлены на рисунке 6 и являются линейными. Небольшие отклонения являются результатом округлений при вычислениях. Отчетливо видно, что размер бифуркационной диаграммы

сокращается с уменьшением степени p для процесса $x_{n+1} = r_k x_n (1 - x_n)^p$.

При значениях p , стремящемся к нулю, $R - r_1$ тоже стремится к нулю.

Противоположная картина наблюдается у процесса $x_{n+1} = r_k x_n (1 - x_n)^p$.

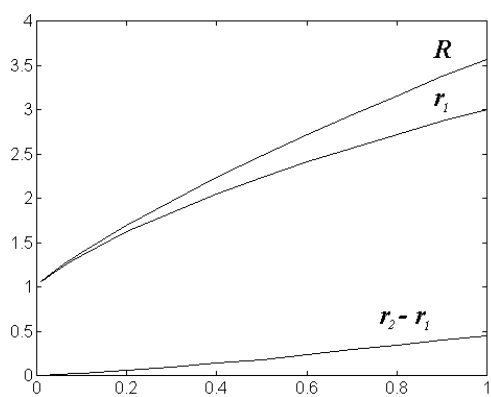
Размер бифуркационной диаграммы в этом случае обратно пропорционален параметру p и стремится к нулю тогда, когда $p \rightarrow \infty$.

Табл. 2.7.

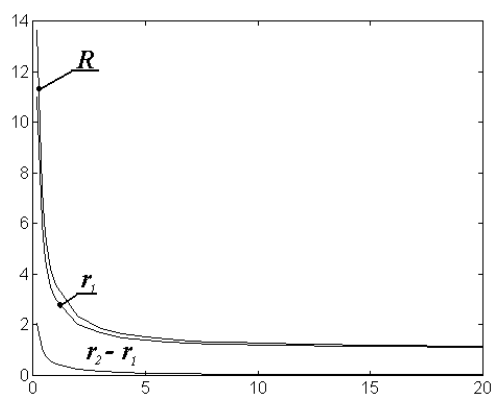
$x_{n+1} = r_k x_n (1 - x_n)^p$			
p	r_1	r_2	R
0.01	1.054	1.056	1.0567
0.02	1.097	1.101	1.102
0.04	1.170	1.178	1.181
0.06	1.236	1.249	1.253
0.08	1.298	1.316	1.322
0.1	1.356	1.382	1.388
0.2	1.62	1.68	1.70
0.3	1.84	1.94	1.97
0.4	2.05	2.19	2.23
0.5	2.24	2.42	2.48
0.6	2.41	2.65	2.72
0.7	2.57	2.86	2.94
0.8	2.72	3.06	3.15
0.9	2.87	3.27	3.38
1.0	3.00	3.45	3.57

Табл. 2.8.

$x_{n+1} = r_k x_n (1 - x_n)^p$			
p	r_1	r_2	R
0.2	11	13.07	13.63
0.4	6	7.06	7.35
0.5	5	5.86	6.09
0.6	4.33	5.06	5.26
0.8	3.5	4.06	4.21
2	2	2.24	2.36
3	1.67	1.883	1.87
4	1.5	1.62	1.65
5	1.4	1.5	1.53
6	1.33	1.41	1.43
7	1.28	1.35	1.37
8	1.25	1.31	1.33
9	1.22	1.276	1.295
10	1.20	1.25	1.263
15	1.13	1.16	1.178
20	1.10	1.13	1.134

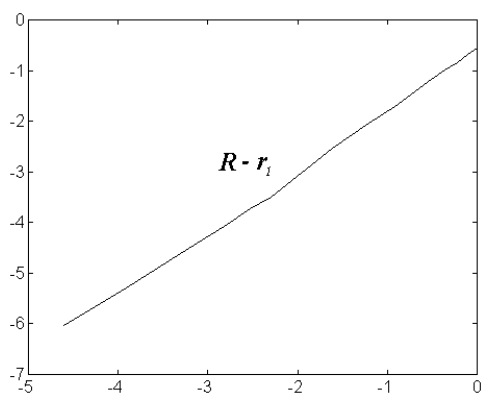


$$x_{n+1} = r_k x_n (1 - x_n)^p$$

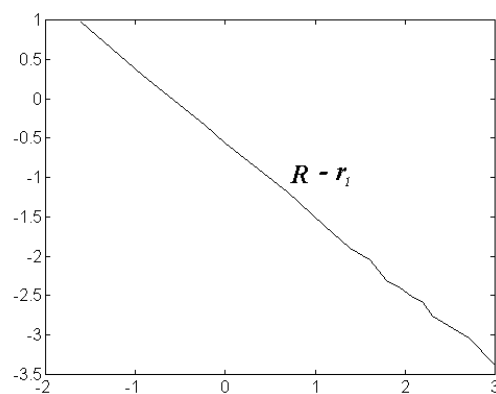


$$x_{n+1} = r_k x_n (1 - x_n)^p$$

Рис. 2.35.



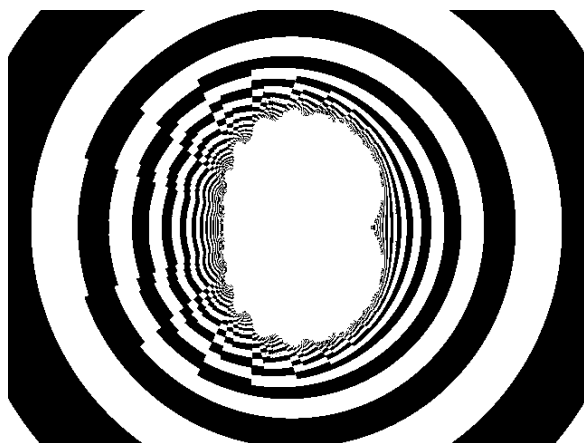
$$x_{n+1} = r_k x_n (1 - x_n)^p$$



$$x_{n+1} = r_k x_n (1 - x_n)^p$$

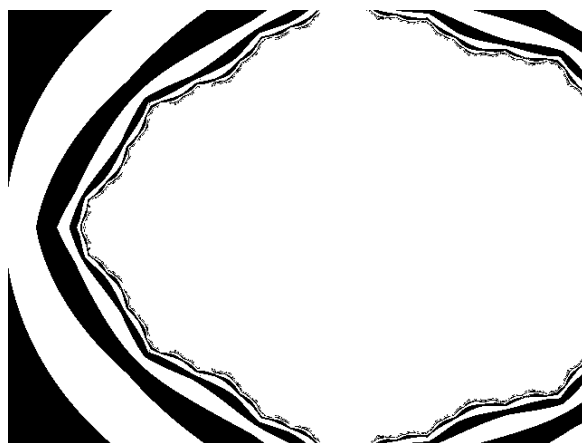
Рис. 1.1.

Если представить параметр модели комплексным числом, том области, характеризующие аттракторы решений определяются множествами Жюлиа [193, 194]. Закономерность, указывающая какой вид должно иметь множество Жюлиа в зависимости от параметра, отображается в виде множества Мандельброта (рис. 1.2).



Модель $x_{n+1} = r_k x_n (1 - x_n)^p$

при $p = 0,2$.



Модель $x_{n+1} = r_k x_n (1 - x_n)^p$

при $p = 0,8$.

Рис. 1.2.

Множество Мандельброта.

2.12 Выводы по второй главе.

1. Проведенный гносеологический анализ горно-геологической информации позволил выявить особенности информационного представления горно-геологических понятий, объектов и процессов, протекающих на угледобывающем предприятии, на основании которых были определены понятия реальной и номинальной систем, реального и номинального объектов.

2. На базе анализа отношений, существующих между реальными объектами в горном деле, введены понятия, характеризующие номинальный объект. Определен перечень типовых свойств, описываемых унарными отношениями, и перечень связей, описываемых бинарными отношениями, присущий номинальным объектам. На основании полученных перечней построена структурная схема образа номинального объекта, которая позволяет создавать информационные образы, описывающие горно-геологические понятия, объекты и процессы различной сложности, устроенные по единому принципу, которые могут эволюционировать не только на стадии разработки аналитической системы, но и на стадии её эксплуатации.

3. Введена система аксиом, описывающих соотношения, существующие в номинальных системах, между номинальными объектами и понятиями, включенными в описание номинальных объектов.

4. Теоретически получено оптимальное распределение номинальных объектов по степени сложности в номинальной системе, обеспечивающее эффективное функционирование информационно-аналитической системы. Полученное решение из-за использования полной формулы Стирлинга вычисления факториала уменьшает ошибку до нескольких долей процента по сравнению с решением, полученным Шрейдером Ю.А. и Шаровым А.А., имеющим ошибку более семидесяти процентов.

5. Разработаны методы оценки организации номинальных объектов для различных вариантов формализации номинальных систем. Введено понятие коэффициент эффективности использования организации в номинальной системе, что позволяет сравнивать организационные структуры номинальных систем и определять оценку эффективности информационного представления. Приведены формулы и зависимости, позволяющие вычислить коэффициент эффективности использования организации в номинальных системах. Проанализировано поведение коэффициента эффективности использования организации в номинальных системах, определены факторы, влияющие на его значение. Найдены предельные значения коэффициента эффективности использования организации в номинальных системах. Определена операция синтеза, позволяющая вычислить коэффициент эффективности использования организации номинальной системы, при её композиции из нескольких номинальных систем.

6. Предложен принципиально новый алгоритм, в отличие от существующих, основанный на фрактальных свойствах распределения информации в номинальной системе, позволяющий получать

промежуточные результаты на любом этапе поиска и обработки информации.

7. Введена оценка динамических свойств внутренних связей номинальных объектов и номинальной системы, основанная на определении дробной размерности Хаусдорфа - Безиковича пространства структур. Выведена формула вычисления дробной размерности Хаусдорфа – Безиковича в регулярных и нерегулярных структурах. Определено влияние параметров структур на дробную размерность Хаусдорфа – Безиковича. Вычислена дробная размерность вычислительных процессов в информационных структурах номинальных систем.

8. Проанализированы процессы информационного поиска и обработки информации в номинальных системах. Выявлены границы образования хаотических явлений. Вычислены параметры бифуркационных диаграмм для возможных условий вычислительного процесса. Определены области надежной работы информационно-аналитической системы.

3 Определение списка математических моделей необходимых для функционирования информационно-аналитической системы оптимальной отработки шахтных полей и месторождений.

3.1 Анализ существующих моделей.

К главным факторам освоения недр с целью добычи полезных ископаемых принадлежат горно-геологические, дающие ответы на вопросы о наличии полезного ископаемого требуемого качества и о целесообразности его добычи. Они же являются основополагающими при выборе способа разработки месторождения, схем вскрытия и подготовки к очистной выемке, в значительной степени определяют параметры систем разработки, видов механизации подготовительных и очистных работ, необходимых мероприятий, обеспечивающих безопасное ведение горных работ. Это в свою очередь определяет технико-экономические показатели угледобывающих предприятий, величины потерь запасов полезного ископаемого.

Горно-геологические показатели по физической природе тех свойств объектов, которые они характеризуют, принято делить на четыре группы:

- пространственно-морфологические,
- объемно-качественные,
- гидрогеологические,
- инженерно-геологические.

Математические модели, оперирующие показателями первых двух групп, отражают структурное положение, условия залегания, формы, размеры, внутреннее строение угольных пластов, породных слоев, тектонических нарушений и вещественный состав геологической толщи в размерах шахтного поля (участка), а также в целом по месторождению. Математические модели, описывающие гидрогеологическую и инженерно-геологическую обстановку объектов промышленного освоения угольных

месторождений, оперируют показателями третьей и четвертой групп соответственно.

Возможность повысить точность, учесть как можно больше факторов, снизить трудоемкость проектных работ, предопределило использование вычислительной техники при выполнении проектов очистных работ. Для этого строится модель геологической толщи, включающая разрабатываемый пласт. Одним из важнейших этапов при выемке запасов, является проект по очистным работам. Чем детальнее и точнее будет модель, тем точнее и качественнее будет проект очистных работ, что, в конечном счете, ведет к снижению себестоимости угля и повышению его качественных показателей.

Для того, что бы проект очистных работ максимально соответствовал наблюдаемым горно-геологическим условиям, необходимо более точно определить морфологию и горно-геологические условия залегания разрабатываемого пласта, окружающих и вмещающих его породных слоев и тектонических нарушений. Это дает возможность 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, улучшатся условия работы оборудования очистного забоя, что приведет к снижению себестоимости полезного ископаемого.

Одна из основных задач геологической службы состоит в том, чтобы на основе геологических наблюдений, произведенных в горных выработках и в разведочных скважинах (пробуренных с дневной поверхности и из горных выработок), вскрыть пространственные закономерности выемочного столба. Далее, изобразить эти закономерности на плане (вертикальной проекции) проекта выемочных работ. На основе полученного плана (вертикальной проекции) службы

угледобывающего предприятия решают разнообразные технологические и производственные задачи и разрабатывают мероприятия, направленные на уменьшение присечек, выбора крепи, режимов работы оборудования, направления фронта очистных работ и т.д., что в конечном итоге позволит улучшить качество добываемого полезного ископаемого и снизить себестоимости выемки угля.

Рассмотрим процесс построения модели геологической толщи с системных позиций. Первоначально модель геологической толщи создается по данным разведки. На основе произведенных замеров инклинометрии рассчитывается геометрия скважины. По данным глубины подсечки слоев и геометрии оси скважины определяются координаты всех геологических наблюдаемых породных слоев, пластов и (если встретились) тектонических нарушений. Далее, производится идентификация геологических отложений и их взаимоувязка между собой. Производится определение границ выклинивания и расслоения угольных пластов. Выявляются основные тектонические нарушения, производится их трассировка. При проведении всех этих операций производится частичная геометризация геологической толщи. Строятся геологические разрезы, планы угольных пластов в изолинии, проверяется согласность залегания слоев с учетом тектонических нарушений и т.д. Все эти действия производятся в основном геологом вручную и повторяются по несколько раз (рис. 3.1). В результате получается модель геологической толщи шахтного поля с увязанными угольными пластами и несколькими определяющими породными слоями.

При проведении разработки месторождения на угледобывающем предприятии часто производится доразведка, бурятся дополнительные разведочные скважины. При подготовке запасов к выемке производятся геологические наблюдения в горных (капитальных и подготовительных) выработках, бурятся разведочные и технологические скважины их подземных выработок. В ходе разработки проекта выемочных работ

большее внимание уделяется близлежащим породным слоям, окружающих разрабатываемый угольный пласт. Таким образом, детализируется модель геологической толщи в месте выемки запасов, которую условно можно назвать локальной моделью. Кроме этого, при выемке запасов в очистных выработках так же производят геологические наблюдения, которые используются для корректировки проекта выемочных работ (рис. 3.1).

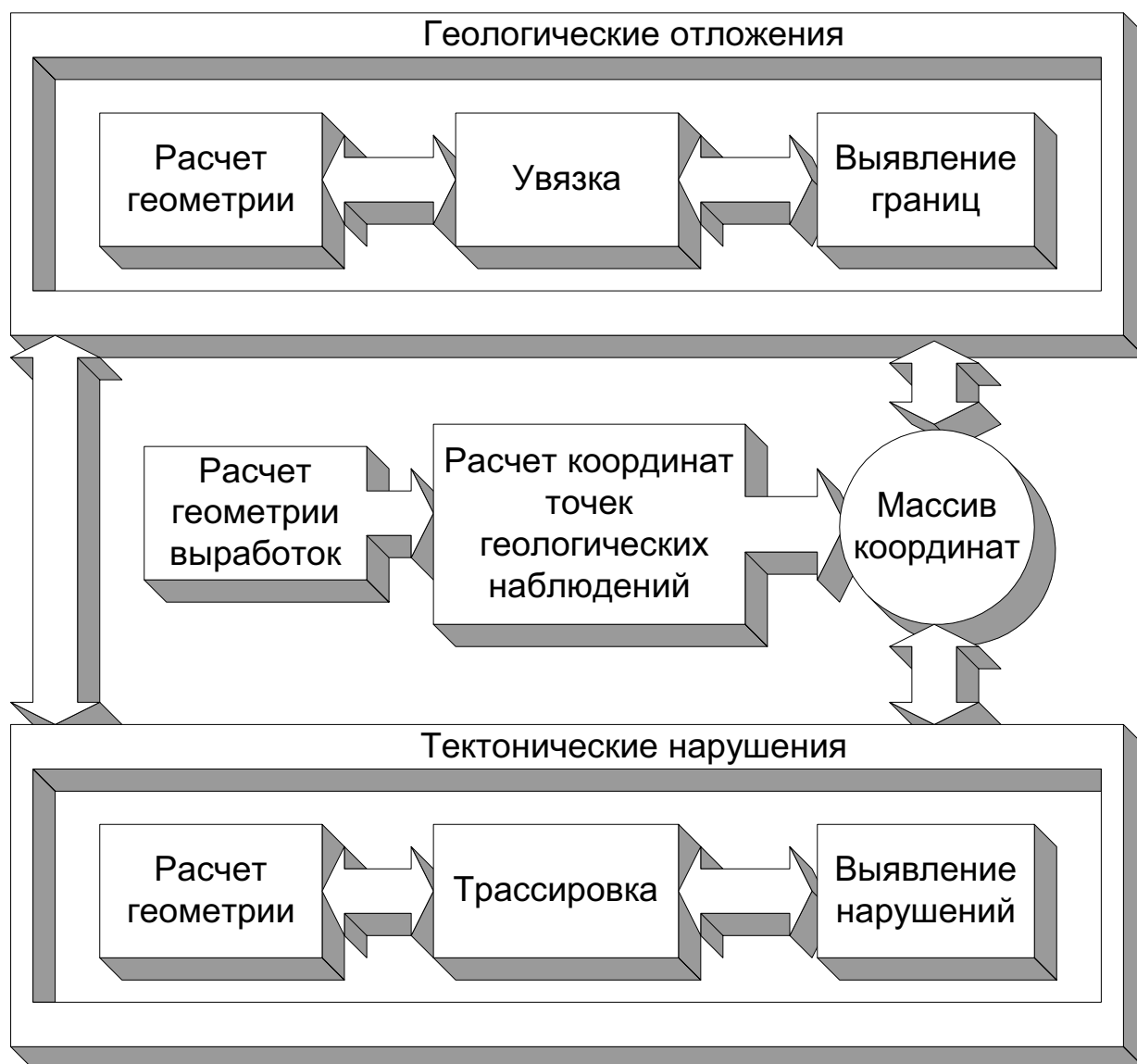


Рис. 3.1.

Основные этапы построения модели геологической толщи месторождения.

Легко видеть, что все данные, собираемые геологической службой угледобывающего предприятия, используются для создания и совершенствования модели геологической толщи. Причем, при появлении новых данных зачастую приходится повторять все основные операции, а иногда и полностью перестраивать модель геологической толщи угольного месторождения. Анализ показал, что для создания адекватной модели геологической толщи месторождения требуется обработать большой объем информации и решить ряд математических задач, результаты которых должны согласовываться между собой по различным параметрам. Таким образом, модель геологической толщи месторождения представляет собой результат анализа и синтеза геологических данных и задач. Схематически это показано на рис. 3.1.

Итак, модель геологической толщи, которую используют на угледобывающих предприятиях, характеризуется следующими условиями:

- различной степенью детализации;
- разнородностью данных;
- различной степенью точности измерений исходных данных;
- связностью элементов.

Существуют несколько частных подходов, позволяющие решать локальные задачи по определению границ выклинивания или расслоения угольных пластов. На сегодняшний день отсутствует специально разработанная математическая модель идентификации геологических отложений, позволяющая автоматизировать процесс создания модели геологической толщи шахтного поля и месторождения.

Одним из важнейших этапов решения задачи построения модели геологической толщи является задача геометризации геологической поверхности почвы (кровли) пласта, геологического слоя или тектонического нарушения. Основой для расчета координат геологических наблюдений является геометрия горных выработок, которая определяется по маркшейдерским съемкам. Каждое геологическое наблюдение

привязывается к точке (пикету) маркшейдерской съемки и с помощью этой привязки определяются координаты точек подсечки геологических отложений, встречи тектонических нарушений, места отбора проб и образцов. Точность определения координат зависит от вида горной выработки, где производились геологические наблюдения (табл. 3.1). Здесь условно можно выделить три группы. К первой, с ошибкой в определении координат не более 1-2 см, относятся геологические наблюдения, произведенные в капитальных и подготовительных выработках. Эти наблюдения привязаны к маркшейдерским точкам и пикетам, точность определения которых 1 мм. Ко второй группе относятся геологические наблюдения, произведенные в очистных выработках. Они в основном привязаны к секциям механизированных комплексов. Замер вертикальных углов выполняется с помощью висячей буссоли. Таким образом, точность измерений подробностей забоя с учетом того, что длина лавы достигает до 200 - 250 метров, существенно меньше (на порядок) точности съемки, произведенной на основе теодолитного хода, используемого в капитальных и в подготовительных выработках. К третьей группе относятся геологические наблюдения, произведенные в скважинах. Здесь точность измерения сильно зависит от глубины скважины, вернее, глубины подсеченного слоя в скважине. Чем глубина больше, тем точность меньше. Это связано с тем, что в процессе бурения по ряду геологических и технических причин ось скважины искривляется. Общеизвестно, что даже вертикально заданные скважины на глубинах более 70 м отклонялись от вертикали на 15 и более метров, а при больших глубинах бурения (более километра) отклонения превышали 200 м. Соответственно, чтобы учесть искривление оси скважины производят инклинометрическую съемку, в ходе которой измеряют углы и азимуты направления буровой трассы. Причем это характерно не только для скважин, пробуренных с дневной поверхности, но и для скважин, пробуренных из горных выработок. Однако, в отличие от разведочных скважин, в скважинах, пробуренных из

горных выработок, замер искривления оси скважины (инклинометрическую съемку) не производят. С учетом того, что глубина скважины может достигать 30-40 метров, ошибка в определении координат забоя может доходить до десяти метров.

Табл. 3.1.

Точность определения координат геологических наблюдений

№	Место проведения геологического наблюдения	Точность определения координат
1	Капитальные и подготовительные выработки	от 1 до 2 см
2	Очистные выработки	от 1 до 20 см
3	Скважины	от 0,1 до > 10 м

Одной из важнейших решаемых задач при создании модели геологической толщи шахтного поля и месторождения является определение координат точек подсечки кровли и подошвы геологического слоя по данным скважин. Если в скважине замер искривления буровой трассы не производился, то предполагается, что ось скважины прямолинейна и расчет координат i -го геологического наблюдения производят по формулам:

$$\begin{aligned}
 x_i &= x_0 + l \sin U \cos A, \\
 y_i &= y_0 + l \sin U \sin A, \\
 z_i &= z_0 - l \cos U,
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

где x_0 , y_0 и z_0 - координаты устья скважины;

l - глубина геологического наблюдения (подсечки слоя);

U - зенитный угол скважины. Значение, изменяется от -90° (для скважин, пробуренных в кровле горных выработок вертикально вверх) до 90° (для скважин, пробуренных с дневной поверхности или в почве горных выработок вертикально вниз);

A - азимут направления скважины.

Для пространственно искривленной скважины проекции точек подсечек на три координатные оси OX , OY и OZ рассчитывают по приращениям координат Δx , Δy и Δz , вычисляемых по формулам (3.1). Причем измеренные углы искривления скважины распространяются на весь интервал между точками замеров, либо берут средние значения на интервале между точками замеров, либо распространяют измеренный зенитный угол на половину интервала от точки замера [151]. Ось скважины, во всех описанных случаях, получается изломанной, а в действительности это не наблюдается. Искривление буровой трассы разведочной скважины происходит постепенно и без скачков. Соответственно, координаты точек подсечек слоев и пластов, полученные по традиционным методам, содержат ошибку, которая искажает модель геологической толщи шахтного поля или месторождения.

Основополагающая теоретическая работа по геометризации месторождений была произведена профессором П. К. Соболевским [123124] в статье «Современная горная геометрия», опубликованной в 1932 г. в журнале «Социалистическая реконструкция и наука». Он ввел понятие *топографической поверхности*. К топографическим поверхностям [13] относят поверхности, обладающие свойствами рельефа местности. Эта поверхность должна удовлетворять условиям конечности, однозначности, непрерывности и плавности.

Рассмотрим с точки зрения теоретико-информационного анализа создание и использование математической модели геологической поверхности. Поверхность почвы (кровли) геологического слоя фиксируется в точках геологических наблюдений. Эти точки в трехмерном пространстве задаются тремя координатами (свойствами) x , y , z . В общем случае эти свойства однородны. Однако, с учетом условия, что согласно определению геологическая поверхность должна обладать условием однозначности (т.е. координата топографической поверхности в точке с координатами x и y может иметь только одно значение

аппликаты) координаты (свойства) точки геологической поверхности не равнозначны. Следовательно, их необходимо разделить на два множества. Первое множество XU , состоящее из n элементов (n -число точек), представленных в виде пары координат x, y . Второе множество Z состоит из n элементов соответствующим аппликатам точек. Эти два множества конечны, элементы одного множества взаимно однозначно отображаются в элементы другого множества.

При использовании математической модели геологической поверхности теоретико-множественное описание задачи претерпевает существенное изменение. Вместо конечных множеств XU и Z , математическая модель оперирует множествами с бесконечным числом элементов, соответственно \overline{XU} и \overline{Z} . Это можно представить в виде диаграммы.

$$\begin{array}{ccc} XU & \leftrightarrow & Z \\ \downarrow & & \downarrow \\ \overline{XU} & \xrightarrow{f(x,y)} & \overline{Z} \end{array}$$

Где $f(x, y)$ является математической моделью геологической поверхности. При этом, строго говоря, должны выполняться следующие соотношения: $XU \subset \overline{XU}$, $Z \subset \overline{Z}$ или $z_i = f(x_i, y_i)$ для всех $i = 1 \div n$.

В период использования математической модели геологической поверхности между элементами множеств \overline{XU} и \overline{Z} появляется причинно-следственная связь, которой нет между элементами множеств XU и Z .

Проанализируем данные, используемые для создания модели геологической поверхности (рис. 3.2). Исходными данными для построения математической модели геологической поверхности являются данные, получаемые из геологических наблюдений. По числу наблюдаемых свойств точек подсечки подошвы (кровли) пласта или геологического слоя геологические наблюдения делятся на наблюдения, произведенные в горных выработках и наблюдения, произведенные в

скважинах (разведочных и пробуренных из горных выработок) (табл. 3.2). Так, в горных выработках производится измерение элементов слоя (угол U и азимут A падения) и координат (x , y , z). По данным геологических наблюдений, произведенных в скважинах, можно получить только координаты точки подсечки и угол падения пласта (геологического слоя). Азимут падения определить в скважине невозможно.



Рис. 3.2.

Построение математической модели геологической поверхности.

Табл. 3.2.

Соотношение вариантов свойств геологической поверхности

№	Наличие математических моделей	Координаты почвы (кровли) слоя			Элементы залегания слоя	
		X	Y	Z	Угол падения	Азимут падения
1	✓	✓	✓	✓		
2	<i>нет</i>	✓	✓	✓	✓	
3	<i>нет</i>	✓	✓	✓	✓	✓

Кроме этого, погрешность в определении свойств (координат) точек подсечки, как отмечалось выше, в горных выработках и в разведочных скважинах различна. На сегодняшний день разработано большое число математических моделей построения геологической поверхности, основанных на различном математическом аппарате (кригинг, линейная триангуляция, сплайн интерполяция, метод Шепарда, ближайшего соседа и

т.д.). Все эти методы оперируют только координатами точек подсечки, а элементы залегания слоя не учитываются.

Рассмотрим существующие математические модели представления показателей качества угля. Для решения задач, связанных с оценкой экономической эффективности выемки запасов и определения конкурентной способности углей, содержание полезных (вредных) компонентов представляют в виде планов в изолиниях. На сегодня качественные характеристики углей представляются топографическими поверхностями, которые по определению, данному П. К. Соболевским, обладают свойствами конечности, однозначности, непрерывности и плавности.

Поверхность, отображающая пространственное распределение компонентов по данным опробования в точках геологических наблюдений, представляет собой, как принято называть, «мелкосопочный рельеф». Визуальный анализ такой поверхности в виде плана с изолиниями затруднен. Поэтому, для получения топографической поверхности исходные данные обрабатывают с помощью метода сглаживания - «статистического окна». Основная идея этого метода заключается в том, что на план накладывается лист с вырезанным небольшим отверстием (окном). Данные, которые попадают в это окно, усредняются и относятся к центру этого окна. Плавно перемещая (откуда и пошло название метода) окно по плану, обрабатывается весь пласт. В результате получается сглаженная топографическая поверхность пространственного распределения качественных показателей угля. Очевидно, что такое решение содержит ошибку метода. Так, даже в тех точках, где производились геологические наблюдения значения, концентрация примесей полезных (вредных) компонент в угле, получаемых с помощью математической модели топографической поверхности, не совпадают с данными опробования.

Следовательно, использование топографической поверхности 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.

Если отказаться от сглаживания поверхности пространственного распределения показателя качества угля, то специалисту визуально производить анализ полученной поверхности будет затруднительно. Обычно же при определении экономической эффективности выемки запасов необходимо учитывать несколько показателей качества рассматриваемых углей. Комплексный анализ нескольких полученных поверхностей распределения веществ, присутствующих в угле и его технологических характеристик, будет, по всей видимости, не только затруднителен, но и не возможен. Соответственно, для решения задачи синтеза качественных и технологических показателей угля с целью определения экономической эффективности выемки запасов необходимо разработать математический метод, позволяющий синтезировать результат моделирования показателей качества угля и выявляющий блоки (зоны) с запасами, обладающими конкурентно-способными углями, с учетом принятой технологии выемки на угольном предприятии.

Итак, проведенный анализ существующих математических моделей выявил, что для решения проблемы оптимальной отработки с точки зрения конкурентной способности углей, необходимо разработать целый ряд математических методов, необходимых для построения модели геологической толщи шахтного поля. Для того чтобы определить список математических моделей, необходимых для функционирования информационно-аналитических систем разработки проектов очистных

работ и оценки запасов углей, рассмотрим проблему выбора математической модели с позиций системного подхода.

3.2 Исследование списка моделей системы.

Рассмотрим вопросы, связанные с выбором моделей, необходимых для функционирования информационно-аналитических систем разработки проектов очистных работ и оценки запасов, с помощью которых можно произвести оптимизацию отработки угольных пластов, шахтных полей и месторождений с точки зрения конкурентной способности углей и, следовательно, повысить экономическую эффективность работы угледобывающего предприятия в современных рыночных условиях.

При разработке горно-геологических информационно-аналитических систем возникают многочисленные задачи, требующие знания количественных и качественных закономерностей, прослеживаемых в геологической толще. Особенно большое значение приобретают системные вопросы, позволяющие выявить и определить список основных математических моделей проектируемых систем. Классические методы прикладной математики зачастую оказываются бессильны при исследовании систем.

В основе изучения геологической толщи шахтного поля и месторождения лежат исходные данные наблюдений и некоторые логические построения. Процесс изучения закономерностей угольного месторождения можно представить в виде взаимодействия трех объектов: исследователь-геолог, объект изучения – шахтное поле (месторождение) и информационно-аналитическая система, включающая, как основу математическую модель геологической толщи. Центральной фигурой в этом процессе является исследователь-геолог, который взаимодействует с информационно-аналитической системой и с внешней средой.

Обычно в системном анализе разделяют два вида моделей: статические и динамические модели. По всей видимости, математическая

модель геологической толщи шахтного поля или месторождения относится к статическим моделям. Кроме того, исходя из особенностей геологических отложений, изучаемая модель относится к классу непрерывных. Отметим детерминированный характер геологической толщи шахтного поля или месторождения. Поэтому, использование моделей представления показателей месторождения, базирующихся на стохастических методах, должно быть ограничено. В дальнейшем, при определении математической модели шахтного поля или месторождения будем использовать определение, введенное Н. П. Бусленко [16]. Под математической моделью будем понимать совокупность соотношений (формул, уравнений, неравенств, логических условий и т.д.), определяющих характеристики состояния горно-геологической системы.

Попытки построить единую математическую модель для информационно-аналитических систем разработки проектов очистных работ и оценки запасов только в виде функциональных зависимостей или уравнений остались в прошлом. Это связано с большой степенью сложности и неопределенности геологической толщи. Нельзя только с помощью функциональной зависимости учесть огромное число факторов, существенно влияющих на горно-геологические и технологические процессы, протекающие на угледобывающем предприятии. Введение в математическую модель понятия состояния системы позволит обеспечить причинно-следственную связь между исходными данными и оценочными параметрами системы.

Математическая модель описания процесса первоначально появляется при его формализации. Формализации предшествует изучение структуры составляющих реальной системы, в результате которой формируется содержательное описание прикладной задачи. Далее, производится формализация и разработка математической модели. В основном, препятствием при исследовании реальных систем является трудность построения математической модели рассматриваемого процесса.

Однако при построении математической модели геологической толщи возникают совсем другие сложности. Как уже отмечалось в предыдущей главе, в геологии разработано множество математических моделей, необходимых для построения информационно-аналитических систем. Поэтому перед системным интегратором встает вопрос, какие из этих моделей необходимо включать в информационно-аналитические системы, а какими можно пренебречь?

Следовательно, при построении сложных горно-геологических информационно-аналитических систем встает вопрос об определении числа необходимых математических моделей. Если математических моделей несколько, то необходимо как-то их сравнить между собой для выбора тех, которые необходимы. Особенно это актуально для горно-геологических систем, где число моделей, решающих одну и ту же задачу, исчисляется десятками. Следующий и один из главнейших шагов после сравнения математических моделей между собой - это определение необходимого списка моделей, описывающих как поведение, так и свойства реальной системы. Для выбора необходимых математических моделей требуется разработать критерий, на основании которого можно производить их сравнение и отбраковку.

В литературе по системному анализу рассмотрено множество разнообразных математических моделей и методов их построения [12, 55, 82, 87, 96, 97, 103, 105, 121, 181], описаны вопросы проверки адекватности моделей. В книгах [40, 50] вопросы выбора математических моделей рассмотрены только для моделей логики высказываний, абелевых и булевых групп, нормированных полей. Таким образом, вопросы, связанные с выбором математических моделей, необходимых для функционирования информационно-аналитических систем, с условием, что таких моделей может быть множество, и все они адекватно описывают процессы системы, не рассматривались. Кроме этого, нет описания

процесса сравнения и выбора различных математических моделей даже на уровне эвристических методов.

Таким образом, ставится системная задача по формулировке принципов и способов, позволяющих на своей основе разработать метод формального выявления списка математических моделей, необходимых для функционирования информационно-аналитических систем разработки проектов очистных работ и оценки запасов, решающих проблему оптимизации отработки угольных пластов, шахтных полей и месторождений с точки зрения конкурентной способности углей.

Очевидно, что невозможно с помощью только одной модели описать свойства всей системы и её поведение. Даже беглый перечень условий, которые необходимо учитывать, займет несколько страниц. В этом случае построение единой модели, учитывающей все особенности проблемы, представляет практически неразрешимую проблему. В конце концов, даже, если такая модель может быть построена, так сказать, некоторым «демоном Декарта», всегда найдутся такие свойства системы, которые либо не включены в модель, либо моделируются неточно или некорректно. Соответственно, и поведение информационно-аналитической системы в таких условиях будет ошибочно или даже непредсказуемо. Для разрешения описанной проблемы воспользуемся знаменитой идеей Нильса Бора, сформулированной им как принцип дополнительности.

Постулируя тезис о невозможности существования больших, одно-модельных систем сформулируем принцип дополнительности для моделей информационно-аналитических систем в следующей постановке. Во-первых, никакая большая реальная система не может быть описана с помощью только одной модели [53]. Во-вторых, для описания реальной системы необходимо использовать несколько взаимно дополняющих друг друга моделей.

Процесс выявления перечня математических моделей, необходимых для информационно-аналитических систем, можно назвать исследованием

множества моделей системы. В начале необходимо определить список классификационных признаков моделей, по значениям которых возможно выполнять те или иные формализованные действия, операции. Как известно, исследование включает в себя методы анализа и синтеза. Определим цели и задачи анализа множества моделей системы. Целью анализа будем считать получение множества математических моделей, решающих поставленные в рамках информационно-аналитической системы прикладные задачи. Соответственно, целью научного исследования по построению методов анализа является, во-первых, определение всего множества возможных моделей, во-вторых, определение формальных оценок для сравнения различных моделей между собой и, в-третьих, построение формальных процедур для проведения анализа множества моделей системы.

Как уже отмечалось выше, процессы, определяющие основные закономерности моделирования геологической толщи являются статическими, следовательно, в дальнейшем рассматриваются только статические математические модели. Определим квалификационные признаки, по значению которых можно сравнивать или отличать модели друг от друга. Во-первых, модели отличаются множествами свойств системы, которыми они оперируют. То есть, модели отличаются друг от друга областями исходных данных, которые им необходимы. Другими словами, можно сказать, что в этом случае модели отличаются друг от друга степенью полноты описания свойств реальной системы. Во-вторых, модели отличаются тем множеством вопросов о системе и ее функционировании, на которые они дают ответ, точнее будет сказать - контекстом рассматриваемой в данный момент задачи. Соответственно, сравнивать между собой математические модели, решающие разные задачи, нет никакого смысла. В информационно-аналитической системе должны быть представлены математические модели, решающие все поставленные задачи. Поэтому, необходимо производить анализ только

для моделей, решающих одни и те же задачи. В-третьих, модели отличаются математическими методами, используемыми при их разработке, т.е. тем или иным математическим аппаратом, с помощью которого они созданы. Соответственно, эта особенность моделей влияет на область их работоспособности, условия сходимости решений, области устойчивых решений и так далее.

При построении информационно-аналитической системы цели и задачи, как правило, определены на этапе спецификации системы. Следовательно, при правильно выбранной цели для системы или ее компонентов, как уже отмечалось выше, модели не могут отличаться друг от друга по задаче, которые они моделируют. Действительно, нет необходимости сравнивать между собой модели, решающие разные задачи. Адекватность математической модели, рассматриваемому процессу, условия сходимости решений, работоспособность и т.д. зависят не только от модели, но и от входных данных. При каких-то данных лучше один математический метод, при других - другой. Поэтому задача сравнения математических моделей между собой по используемому математическому аппарату является некорректной математической задачей. Таким образом, математические модели можно сравнивать между собой только по полноте использования свойств информационно-аналитических систем разработки проектов очистных работ и оценки запасов.

3.3 Анализ списка моделей, входящих в систему, по степени соответствия исходным данным.

В реальном мире, при функционировании информационно-аналитической системы, чаще всего исходные данные, описывающие реальную систему, представлены не в полном объеме. Кроме того, во время использования системы полнота исходных данных все время меняется, причем эти изменения чаще всего определяются не какими-то

ошибками, недоработками или плохой организацией при эксплуатации, а особенностями реальной системы. Поэтому, при обработке такой информации возможны следующие варианты:

- свойства реальной системы, на которые рассчитана математическая модель, определены не все, кроме того, определены свойства, на которые математическая модель не рассчитана (рис. 3.3);
- свойства реальной системы, на которые рассчитана математическая модель, определены все, кроме того, определены свойства, на которые математическая модель не рассчитана (рис. 3.4);
- свойства реальной системы, на которые рассчитана математическая модель, определены не все, свойства, на которые математическая модель не рассчитана, не определены (рис. 3.5);
- свойства реальной системы, на которые рассчитана математическая модель, определены все, свойства, на которые математическая модель не рассчитана, не определены (рис. 3.6);
- свойства реальной системы, на которые рассчитана математическая модель, не определены, свойства, на которые математическая модель не рассчитана, определены (рис. 3.7), в данном варианте модель полностью не работоспособна.

Анализ третьего варианта говорит о том, что использование математических моделей, основанных только на методах, учитывающих наиболее полный набор данных, снижает эксплуатационные качества системы. Математическая модель, оперирующая большим объемом информации, требует больше вычислительных ресурсов. Так же неприемлем противоположный случай, представленный на рис. 3.4. Он определяет вариант использования, так сказать, «приближенных» моделей, то есть моделей, оперирующих не всей доступной информацией, что ведет к необоснованному загроблению получаемых результатов.

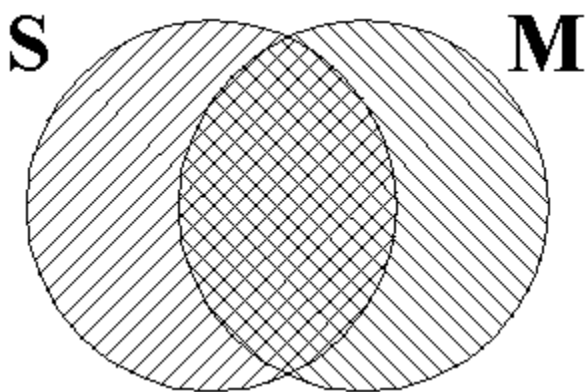


Рис. 3.3.

Множество текущих свойств
системы:

- а) не обеспечивает полноту
свойств модели;
- б) не все свойства системы
модель может использовать.

$$M \cap S \subseteq M \text{ и } M \cap S \subseteq S$$

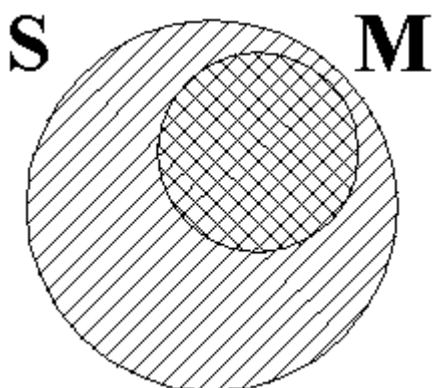


Рис. 3.4.

Множество текущих свойств
системы:

- а) полностью обеспечивает
полноту свойств модели;
- б) не все свойства системы
модель может использовать.

$$M \cap S = M$$

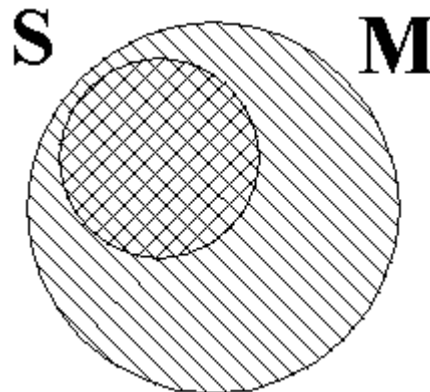


Рис. 3.5.

Множество текущих свойств
системы:

- а) не обеспечивает полноту
свойств модели;
- б) не все свойства системы
модель может использовать.

$$M \cap S = S$$

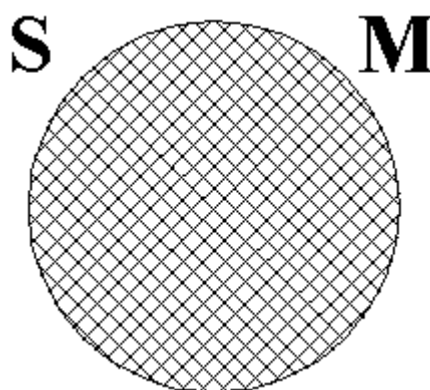


Рис. 3.6.

Множество текущих свойств
системы:

- а) обеспечивает полноту
свойств модели;
- б) все свойства системы модель
использует.

$$M = S$$

Первый вариант характеризует комбинацию второго и третьего вариантов. В этом случае математическая модель с одной стороны не полная, а с другой избыточная для рассматриваемого случая. Идеальный вариант при построении системы проиллюстрирован на рис. 3.6, который, к сожалению, редко встречается в жизни. Конечно, можно сказать, что использование универсальных моделей может ликвидировать возникающие в этом случае трудности. Но это не так, общеизвестно, что универсальная модель может быть на порядок сложнее специальных моделей для конкретного случая.

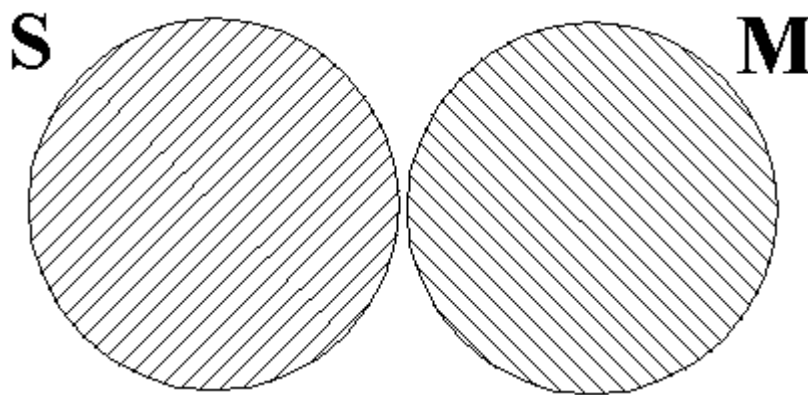


Рис. 3.7.

Множество текущих свойств системы:

- а) не обеспечивает ни одного свойства, заложенного в модели (модель не работоспособна).

$$M \cap S = \emptyset$$

В общем случае можно сказать, что математические модели функционируют в условиях не полной определенности данных. Соответственно, различные по полноте учета свойств реальной системы математические модели должны образовывать некоторый необходимый перечень моделей для информационно-аналитических систем разработки проектов очистных работ и оценки запасов. Математические модели, использующие различный математический аппарат, но решающие одну и ту же задачу, как уже отмечалось выше, должны также дополнять друг

друга. Это позволит избежать появления отказов системы в различных частных случаях, в которых работоспособность той или иной математической модели не возможна по объективным причинам.

Таким образом, появляется возможность строго сформулировать принцип дополнительности. *Для описания реальной системы в информационно-аналитической системе необходимо использовать несколько взаимно дополняющих друг друга математических моделей, отличающихся друг от друга полнотой учета свойств реальной системы.*

Рассмотрим сравнение моделей по полноте учета свойств реальной системы. На первом этапе анализа необходимо определить перечень всех свойств реальной системы, от которых зависит решение задачи. Результат этого этапа дает список всех возможных математических моделей в зависимости от полноты используемой информации. Используя полученный список, необходимо выявить область допустимых (по реально существующим комбинациям свойств) математических моделей для рассматриваемой информационно-аналитической системы, определить существующие на данный момент времени математические модели. А также, если это имеет место и согласуется с действительностью, выделить модели, которые не существуют для рассматриваемой системы и требуют новой разработки. Далее, для несуществующих математических моделей информационно-аналитической системы выполнить постановку задачи и, по мере сил, построить искомые модели.

На втором этапе анализа требуется сравнить между собой различные математические модели (по полноте используемых свойств информационно-аналитической системы) и, задаваясь некоторым уровнем введенной оценки, определить необходимое множество моделей для системы. И, наконец, необходимо разработать метод синтеза оценок различных математических моделей в единую оценку, характеризующую математическую модель геологической толщи шахтного поля или

месторождения. Для этого надо создать процедуры, позволяющие произвести этот синтез.

Для проведения такого анализа необходимо произвести «модельную» декомпозицию системы на основные, решаемые ей задачи, т.е. выделить основные этапы работы математической модели информационно-аналитической системы. Предположим, что декомпозиция произведена, и мы рассматриваем некоторую задачу, в ходе решения которой определяются некоторые свойства или поведение системы. Далее, известно, что для решения этой задачи существует некоторое множество математических моделей. Первоначально необходимо выявить все возможные элементы множества математических моделей, решающих рассматриваемую задачу, отличающихся между собой полнотой учета свойств реальной системы. Если свойства информационно-аналитической системы, в рамках которой решается задача, заданы некоторым множеством свойств - P , легко видеть, что это множество P конечно и, соответственно, содержит N элементов. Очевидно, что число свойств реальной системы, которые учитывает математическая модель, решающая рассматриваемую задачу, не должно превышать мощность множества P . В противном случае операция определения свойств информационно-аналитической системы или задачи, которую решает математическая модель, произведена неверно и её следует повторить.

Удобно представить признак использования (определенности) некоторого исходного свойства p_i системы в виде некоторой δ_i - функции, принимающей два значения. Единица – если данное свойство используется в расчете, то есть это свойство определено для рассматриваемой математической модели и ноль, когда это свойство в математической модели не используется. Это можно записать в следующем виде:
$$\delta_i = \begin{cases} 0 & \text{свойство не определено} \\ 1 & \text{свойство определено} \end{cases} .$$

Введем новое понятие «*определенности*» свойства информационно-аналитической системы. В дальнейшем под *определенностью* некоторого свойства информационно-аналитической системы для рассматриваемой математической модели будем подразумевать учет этого свойства в данной модели.

Отметим, что вновь введенный термин никак не связан с понятием «нечеткости», которым оперируют в теории нечетких множествах. Хотя, по языковой семантике оба термина являются антиподами. В рассматриваемой ситуации отсутствует всякая нечеткость в задании входной информации. Наоборот, информация задана вполне четко и конкретно. Термин *определенность* характеризует не особенности информации, а особенности математической модели информационно-аналитической системы, такие как способность модели учитывать различные наблюдаемые свойства системы. Другими словами, *определенность* характеризует возможности модели учесть свойства реальной системы, необходимые для решения рассматриваемой задачи.

По всей видимости, свойство может состоять из одного или нескольких компонент. Число компонент свойства n_i будем называть размерностью базиса рассматриваемого свойства. К примеру, свойство системы – «местоположение» точки существует в трехмерном пространстве ($n_i = 3$). С учетом сказанного и из определения *определенности* свойства вытекает, что значения *определенности* свойства для конкретной модели может принимать не только граничные значения: полная определенность ($\delta_i = 1$) и полная неопределенность ($\delta_i = 0$), но и промежуточные значения ($0 < \delta_i < 1$), что соответствует частичной *определенности* свойства. Так, для приведенного примера, задания только двух координат, например, x и y для свойства «местоположение», иллюстрирует частичную *определенность* этого свойства в математической модели.

3.4 Морфологический анализ свойств моделей системы.

Для нахождения полного списка моделей системы воспользуемся идеями морфологического анализа. Термин «морфология» введен в 1796 году И. В. Гёте. Основная идея морфологического метода – систематически находить наибольшее число, а в пределе все возможные пути решения поставленной проблемы путем комбинации основных структурных признаков решения [99]. Основные положения морфологических исследований восходят к Аристотелю и Платону. Возможности комбинирования для получения новых вариантов модели были известны еще Аристотелю. Процедура систематического комбинирования была введена в труде «Ars magna» известным испанским средневековым логиком и философом Раймундом Луллием, автором известной «логической машины». Морфология систем - это одна из наук о системах, занимающаяся исследованием (анализом и синтезом), а также проектированием внутренних структур системы и изучением их эволюции. Термин «морфология систем» не тождественный применяемому термину «теория систем», если употреблять последний корректно, не забывая, что теория есть дедуктивное построение.

В морфологии систем под морфологическим анализом будем понимать методы многоаспектного исследования структур любых систем, при которых изучаемая система многократно разбивается на части, и изучаются последние.

Термин «морфологический анализ» для обозначения приемов анализа проблем был предложен Фрицем Цвикки [197, 198]. Им же были предложены методы морфологического анализа. Такие, как метод систематического покрытия поля на основе опорных пунктов знания, метод отрицания и конструирования, метод морфологического ящика, метод экстремальных ситуаций, метод сопоставления совершенного с дефектным и метод обобщения. Основным достоинством морфологических методов является постановка интересных проблем,

генерирование плодотворных идей и получение некоторых важных результатов исследования структуры технических и научных систем. Чаще всего метод морфологического ящика используется для генерации альтернатив в системном анализе, для создания множества, из которого можно было бы выбирать наилучшую альтернативу методами теории принятия решений.

Основные шаги применения метода морфологического ящика, сформулированные Цвикки, заключаются в следующем:

- построение точной формулировки проблемы;
- выделение параметров, от которых зависит решение;
- разложение параметров на их значения;
- оценка вариантов решения проблемы;
- выбор наилучшего, приемлемого варианта.

В нашем случае параметрами будут выступать функции *определенности* свойств системы. Тогда третий шаг – разложение параметров на их значения определяет три возможных значения свойства: свойство полностью определено, свойство полностью не определено и свойство определено частично. На этом этапе необходимо построить морфологическую таблицу. Каждой полученной ячейке необходимо сопоставить название той математической модели, которая позволяет учесть при решении задачи рассматриваемые свойства информационно-аналитической системы. Очевидно, нет гарантии того, что для всех ячеек найдутся математические модели. При некоторых соотношениях свойств информационно-аналитических систем возможен такой случай, что построить математическую модель, отвечающую заданным целям, принципиально нельзя или такое соотношение свойств в реальной системе в действительности не встречается. Кроме этого, нельзя исключить возможность, что этот случай просто не исследовался. Таким образом, кроме формальных операций по сравнению и анализу списка математических моделей, мы получаем постановку для проведения

научных исследований по разработке новых математических моделей, необходимых для функционирования информационно-аналитической системы, что само по себе является результатом.

Кроме этого, необходимо для каждого свойства реальной системы произвести тест на проверку условия: может ли быть такой случай, что рассматриваемое свойство определено только частично? При получении положительного результата теста необходимо разложить свойство по его базису и к каждому компоненту этого базиса повторно применить указанный тест. Применим описанные процедуры для определения полноты списка математических моделей, необходимых для функционирования информационно-аналитических систем разработки проектов очистных работ и оценки запасов.

3.5 Разработка морфологического метода вычисления степени определенности моделей системы.

Пусть, в рамках информационно-аналитической системы для решения некоторой задачи существует конечное множество свойств $S = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_n\}$. В текущий момент из всего множества свойств системы доступно некоторое подмножество этих свойств $S_d \subseteq S$. Для решения рассматриваемой задачи существует конечное множество моделей $M = \{m_1, m_2, m_3, \dots, m_k\}$. Каждая математическая модель оперирует некоторым подмножеством свойств информационно-аналитической системы $S_i^m \subseteq S$, таким образом, каждой математической модели m_i сопоставимо некоторое подмножество свойств системы S_i^m . Для всех элементов множества M должны выполняться следующие соотношения. Множество свойства, которые математическая модель учитывает при решении задачи, должно быть подмножеством свойств информационно-аналитической системы $\forall i (S_i^m \subseteq S)$. Множество свойств, учитывающих i -й математической моделью должно быть уникальным

$\forall i \forall j (i \neq j (S_i^m \neq S_j^m))$. Таким образом, необходимо определить число математических моделей, необходимых для функционирования информационно-аналитической системы (мощность n множества M) и выявить перечень этих моделей (определить все элементы множества M).

Количество математических моделей, решающих одну и ту же задачу и различающиеся между собой полнотой учета свойств информационно-аналитической системы, определяется числом возможных комбинаций свойств системы. С учетом того, что функция *определенности* свойства δ может принимать только два значения, то возможное число математических моделей равно $N = 2^n$ (здесь n - общее число свойств информационно-аналитической системы, вовлекаемых в решение рассматриваемой задачи). В случае составных свойств системы $n = \sum l_i$ (l_i - число компонент i -го свойства). Кроме этого общее число математических моделей, отличающихся друг от друга свойствами информационно-аналитической системы, учитываемыми моделью, можно вычислить в виде суммы биномиальных коэффициентов $N = \sum_{i=1}^n C_n^i$. С помощью приведенного выражения, кроме общей численности математических моделей, можно определить число математических моделей $N_i = C_n^i$, учитывающих i свойств системы.

С ростом мощности множества свойств информационно-аналитической системы S , задействованных в решении рассматриваемой задачи, число необходимых математических моделей растет экспоненциально. Если представить свойства информационно-аналитической системы в виде ортонормированного базиса, отложив по осям координат возможные значения функции *определенности* свойства δ , то в n -м пространстве свойств информационно-аналитической системы получаем регулярную решетку, узлы которой соответствуют некоторому классу математических моделей (рис. 3.8), которые оперируют равным

числом, но различными компонентами одного и того же свойства. Число таких классов математических моделей определяется произведением функций *определенности* свойства в системе, увеличенных на единицу $\prod(\delta_i + 1)$. Количество классов математических моделей, в зависимости от числа свойств (с учетом их компонент) информационно-аналитической системы, тоже растет довольно быстро.

Таким образом, крайне важно разработать оценку, позволяющую сравнивать между собой математические модели информационно-аналитической системы и выработать процедуру, с помощью которой можно сузить множество всех математических моделей M до подмножества работоспособных моделей $\overline{M} \subseteq M$. Далее, разработать критерий, на основе которого выбрать подмножество математических моделей $M_{def} \subseteq M$, необходимых для эффективного функционирования информационно-аналитических систем разработки проектов очистных работ и оценки перспектив отработки запасов с точки зрения конкурентной способности углей.

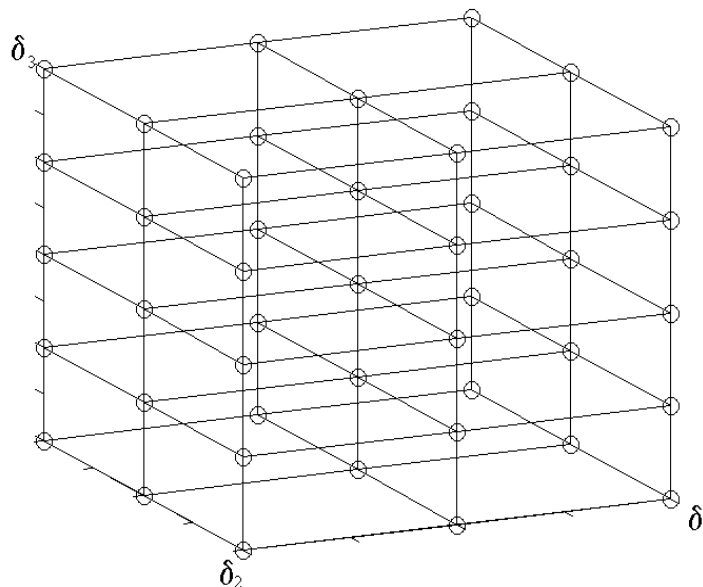


Рис. 3.8.

Пространство свойств информационно-аналитической системы,
содержащее классы моделей.

Определим полный список возможных моделей, необходимых для функционирования рассматриваемой системы. Для нахождения этого списка воспользуемся методом морфологической таблицы [197, 198]. В результате мы получаем N элементов множества математических моделей M . Таким образом, каждой математической модели сопоставимо подмножество свойств информационно-аналитической системы, причем условия $\forall i(S_i^m \subseteq S)$ и $\forall i \forall j(i \neq j(S_i^m \neq S_j^m))$ выполняются для всех моделей.

В одном классе, математические модели оперируют одним и тем же числом свойств (компонент свойств) системы. Соответственно, способность этих математических моделей учитывать свойства системы будет одинакова. Легко видеть, что вектор, соединяющий начало координат и узел решетки, которому соответствует некоторый класс математических моделей, характеризует *определенность* моделей этого класса. В дальнейшем под *определенностью* модели будем понимать метрику n -го пространства свойств информационно-аналитической системы, вычисляемую по формуле $\delta_m = \sqrt{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}$.

Значение введенной метрики будет наибольшей для математической модели, учитывающей все свойства информационно-аналитической системы. Для сравнения математических моделей между собой удобнее пользоваться относительными оценками. Если принять за эталон математическую модель, учитывающую все свойства информационно-аналитической системы, тогда все остальные математические модели, в сравнении с эталоном, получают относительные оценки $\bar{\delta}_m = \frac{\delta_m}{\delta_{\text{Эталон}}}$.

Согласно требованиям рассматриваемой задачи и информационно-аналитической системы выбирается критерий, определяющий минимальное значение *определенности* математической модели, и с

помощью этого критерия отбираются только те модели, которые соответствуют этому критерию (рис. 3.9).

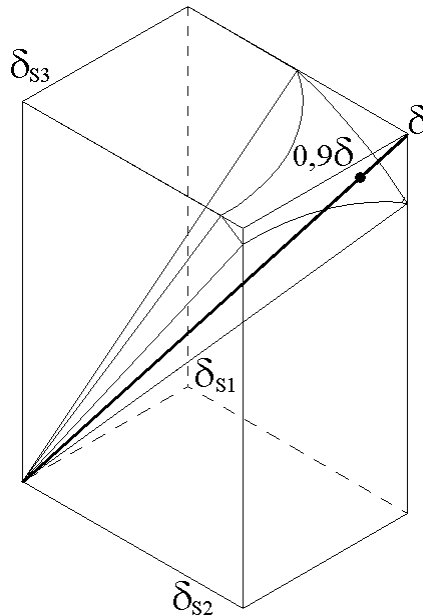


Рис. 3.9.

Выбор математических моделей в пространстве свойств информационно-аналитической системы с помощью критерия *определенности*.

Общее число математических моделей, необходимых для функционирования информационно-аналитической системы (рис. 3.9) вычисляется с помощью выражения:

$$N = \prod (\delta_{Si} + 1) \left(1 - \frac{\Omega - 2 \sum C_i}{2^n \prod \delta_{Si}} \right) + n, \quad (3.2)$$

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

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

$\delta_{Si} \langle \text{или} - \delta_{Si}^j \rangle$; $\delta_{Si} = \sum_j \delta_{Si}^j$ - *определенность* свойств

информационно-аналитической системы.

Искомые математические модели относятся к классам моделей, расположенных в узлах, которые находятся вне сферы, радиус которой соответствует критерию отбора (рис. 3.10). Таким образом, формируется список математических моделей, необходимых для функционирования

информационно-аналитической системы. Их число, вычисленное с помощью выражения (3.2), значительно меньше суммы биномиальных коэффициентов. На следующем шаге производится проверка принципиальной возможности существования математической модели, решающей рассматриваемую задачу в предметной области, с соотношениями свойств, соответствующими сформированному списку математических моделей. Так, на рис. 3.10 условным обозначением \bigcirc показаны классы математических моделей, которые в предметном контексте рассматриваемой задачи принципиально не возможны.

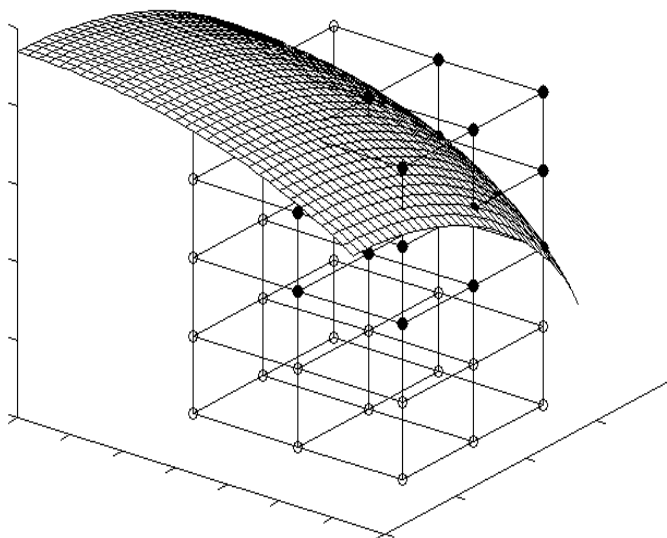


Рис. 3.10.

Проверка на принципиальную возможность существования математических моделей с учетом предметной специфики задачи.

Таким образом, окончательно корректируется список математических моделей, решающих рассматриваемую задачу, для информационно-аналитической системы. В ходе анализа списка выявляются математические модели, требующие новой разработки. Если выявлены такие математические модели, то производится постановка задачи и попытка разработки такой математической модели, отсутствующей на сегодняшний день.

Создание перечня математических моделей необходимых для решения задач информационно аналитических систем разработки проектов очистных работ и оценки запасов

Проиллюстрируем на примерах работоспособность разработанного метода выбора списка моделей. Рассмотрим задачу расчета геометрии (рис. 3.1). поверхности почвы (кровли) геологического отложения. Для моделирования морфологии слоя в геометризации недр используется объект, называемый топографической поверхностью [13]. По определению топографическая поверхность задается гладкой функцией двух переменных. Соответственно, математическая модель, которая осуществляет пространственное построение топографической поверхности, в том или ином виде оперирует двумя свойствами этого объекта: «местоположением» точки и «элементами залегания слоя» в точке геологического наблюдения. Соответственно свойство «местоположение» является многокомпонентным и состоит из трех координат (в любой координатной системе прямоугольной, полярной, цилиндрической, косоугольной и т. д.). Элементы залегания слоя представляются в виде двухкомпонентного свойства (угол и азимут падения слоя). В математической постановке элементам залегания слоя соответствует градиент поверхности.

Общее число математических моделей топографической поверхности равно 32 ($2^{2+3} = 32$). Классов математических моделей по числу учитываемых свойств информационно-аналитической системы будет пять (численность каждого класса представлена в табл. 3.3). Построим диаграмму классов математических моделей в пространстве свойств («местоположение» - x , y , z и «элементов залегания» – азимут и угол падения слоя) информационно-аналитической системы (рис. 3.11).

Табл. 3.3.

Количество возможных моделей
топографической поверхности

«элементы залегания»	«местоположение»				
	Число компо- нент	0	1	2	3
	0	1	3	3	1
	1	2	6	6	2
	2	1	3	3	1

Табл. 3.4.

Оценка моделей топографической
поверхности в процентах

«элементы залегания»	«местоположение»				
	Число компо- нент	0	1	2	3
	0	0	28	55	83
	1	28	39	62	88
	2	55	62	78	100

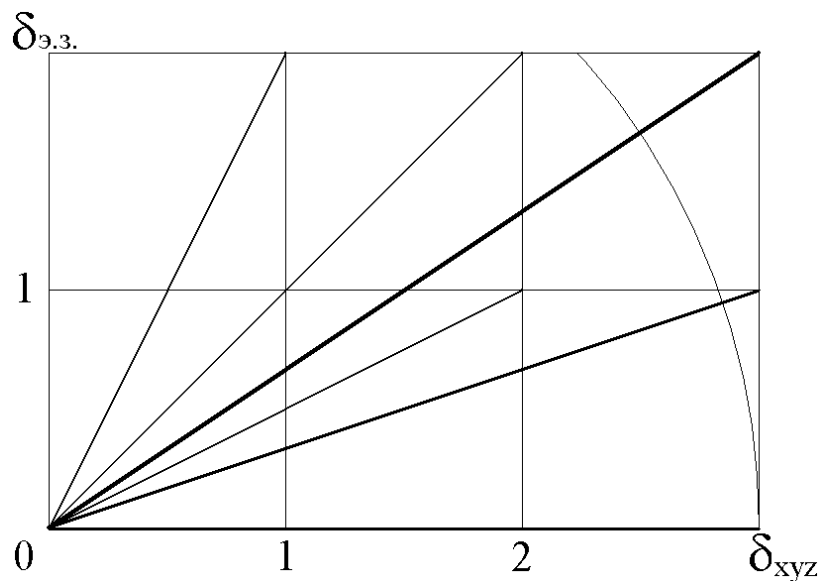


Рис. 3.11.

Классы математических моделей геометризации геологической
поверхности.

За эталон примем математическую модель геологической поверхности, учитывающую координаты точек геологических наблюдений и элементы залегания слоя, измеренные в этих точках. Вычислим метрики для всех математических моделей и определим относительные оценки для каждой модели (табл. 3.4).

Критерий, по которому будут отбираться математические модели построения геологической поверхности для информационно-аналитических систем разработки проектов очистных работ и оценки качества запасов угля, соответствует метрике математической модели, в которой учитываются координаты точек подсечки подошвы (кровли) геологического отложения (рис. 3.11). Математические модели с меньшими метриками в горном деле не используются. Таким образом, получаем список из четырех математических моделей, необходимых для функционирования рассматриваемых информационно-аналитических систем (описание этих математических моделей приведены в табл. 3.5).

Тест на возможность существования математических моделей геологической поверхности, учитывающей соотношения свойств информационно-аналитической системы (табл. 3.5), дал следующий результат:

- 1) построение геологической поверхности по координатам точек подсечки подошвы (кровли) слоя наиболее распространенная математическая модель в геологии;
- 2) при построении геологической поверхности по данным разведочных скважин известны отметки подсечки подошвы (кровли) слоя и углы падения этого слоя. Азимуты падения слоя по данным геологических наблюдений в разведочной скважине установить невозможно;
- 3) условие, когда известны координаты подсечек слоя и азимуты падения в точках наблюдений при разработке угольных месторождений не встречается;
- 4) при построении геологической поверхности по данным наблюдений, произведенным в горных выработках, кроме координат подсечек почвы (кровли) известны элементы залегания слоя (угол и азимут падения).

Обзор специализированной литературы [13, 39, 151, 170, 188] показал, что наиболее полно и подробно разработаны математические

модели, производящие построение геологической поверхности, для случая, когда в точках геологических наблюдений заданны координаты x , y и z . Эти математические модели базируются на разнообразном математическом аппарате - триангуляция в комплексе с линейной интерполяцией, сплайн интерполяция, тензорные методы, кригинг, метод Шепарда, ближайшего соседа и т.д.

Табл. 3.5.

Математические модели построения геологической поверхности.

Входные данные	Оценка модели	Комментарий	Математические модели
X, Y, Z	83%	Построение поверхности только по отметкам	Линейная триангуляция, кригинг, сплайн интерполяция, 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

Полностью отсутствуют математические модели, учитывающие элементы залегания геологического отложения (угол и азимут падения). Соответственно, в литературе не было обнаружено ни метода построения геометрии геологической поверхности, позволяющего учесть кроме координат подсечек данные об элементах залегания слоя, представленные углом падения, ни метода расчета геометрии поверхности, когда известны

все данные в точках наблюдения. Кроме того, нет универсального метода, который допускал бы расчет геометрии геологической поверхности с различными условиями: в одних точках заданы только координаты, в других координаты и углы падения, а в остальных координаты, углы и азимуты падения.

На основе проведенного анализа математических моделей геологических поверхностей ставятся следующие задачи:

- 1) разработать математическую модель расчета геометрии поверхности с учетом координат точек подсечек и элементов залегания породного слоя (угольного пласта);
- 2) разработать математическую модель расчета геометрии поверхности с учетом координат точек подсечек и углов падения;
- 3) разработать метод оценки результатов построения геологических поверхностей для сравнения математических моделей между собой;
- 4) разработать универсальный алгоритм, позволяющий учитывать в точках геологических наблюдений те свойства поверхности, которые измерены. То есть в точках кроме координат могут быть заданы элементы залегания слоя или углы падения, или информация об элементах залегания геологического отложения будет отсутствовать.

Рассмотрим теперь задачу построения полей геологических показателей качества угля. В общем случае, трехмерная задача представления показателей качества угля с помощью замены координаты z на значение показателя сводится к задаче построения геологической поверхности, что само по себе не совсем корректно. Это справедливо только для пластов с мощностью до 2-3 метров, когда изменением качества в толще пласта можно пренебречь. Моделирование таких полей на сегодняшний день осуществляют так же с помощью топографической поверхности [13]. При этом поля геологических показателей получаются гладкими, так как топографическая поверхность по определению является гладкой функцией двух переменных. 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.

Следовательно, математические модели, осуществляющие пространственное представление показателей качества угля, оперируют двумя свойствами: «местоположение» точки (с тремя компонентами - x , y и z или с двумя x и y для пластов с небольшой мощностью) и «показатель качества» (с двумя компонентами – значение p и ошибка его измерения Δp). Анализ математических моделей проведем для общего случая, а потом проинтерпретируем его на вариант пластов с небольшой мощностью. Классы математических моделей будут представлены аналогично (рис. 3.11). Общее число возможных математических моделей – 32. Содержание табл. 3.3 и 3.4 не изменится. Единственное отличие от ранее рассмотренного случая выбора математических моделей геологической поверхности заключается в выборе критерия. В этом случае критерий отбраковки математических моделей соответствует метрике математической модели с полностью определенным свойством «местоположение» и, как минимум, одной компонентой свойства «показатель качества». Таким образом, список математических моделей для дальнейшего анализа включает три модели (табл. 3.6). В табл. 3.6 приведены оценки математических моделей для мощных пластов и в скобках для пластов с небольшой мощностью.

На основании проведенного анализа математических моделей представления показателей качества угля ставятся следующие задачи:

- 5) разработать математическую модель представления показателей качества угля с учетом координат точек геологических наблюдений и значений показателя качества угля и ошибки его измерения;

- 6) разработать математическую модель представления показателей качества угля с учетом координат точек геологических наблюдений и значений показателя качества угля;
- 7) разработать универсальный алгоритм, позволяющий учитывать в точках геологических наблюдений те свойства «показателя качества», которые были измерены.

Табл. 3.6.

Математические модели представления показателей качества угля.

Входные данные	Оценка модели	Комментарий	Математические модели
$X, Y, Z, \Delta p$	88% (79%)	В геологии не встречаются	Моделей нет
X, Y, Z, p	88% (79%)	Пространственное представление показателей качества угля	Моделей нет (2-х мерный аналог – топографическая поверхность)
$X, Y, Z, p, \Delta p$	100%	Пространственное представление показателей качества угля с учетом ошибок измерений	Моделей нет

Рассмотрим задачу расчета геометрии оси разведочной скважины. Эта задача выбрана из всех задач расчета геометрии горных выработок на основании анализа точности вычисления координат точек геологических наблюдений (табл. 3.1). Точность получаемых координат не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к данным, необходимым для математической модели геологической толщи шахтного поля или месторождения. Математические модели, рассчитывающие траекторию буровой трассы разведочной скважины, оперируют двумя свойствами –

«местоположение» точки измерения искривления (глубина l) и само «измерение искривления» оси скважины (зенитный угол наклона скважины θ и направление скважины A).

Общее число математических моделей расчета геометрии оси разведочной скважины равно $2^3=8$. Классы математических моделей в пространстве свойств «местоположение» и «измерение искривления» информационно-аналитической системы представлены в виде решетки с двумя ячейками. Критерий, с помощью которого выбираются математические модели, соответствует метрике математической модели с свойством «местоположение» и с одним компонентом свойства «измерение искривления» оси скважины. Таким образом, для дальнейшего анализа отобраны четыре математические модели расчета геометрии оси разведочной скважины (табл. 3.7).

Табл. 3.7

Математические модели расчета геометрии оси разведочной скважины.

Входные данные	Оценка модели	Комментарий	Математические модели
θ, A	89%	В геологии не встречается	Моделей нет
l, θ	63%	Ось скважины искривляется только в вертикальной плоскости	Есть модели
l, A	63%	Скважина забурена с постоянным углом. Азимут направления изменяется	Есть модели
l, θ и A	100%	Произвольно искривленная скважина	Есть модели

На основе проведенного анализа существующих математических моделей [13, 151, 170] расчета геометрии оси разведочной скважины выявлено, что во всех математических моделях считается, что данные

замера искривления оси скважины распространяются до следующей точки проведения замера, или на отрезке между замерами используются осредненные значения. Буровая трасса разведочной скважины во всех случаях получается изломанной, что в действительности не наблюдается. Искривление оси разведочной скважины происходит постепенно и без скачков. Соответственно, координаты точек подсечек слоев и пластов, полученные по существующим математическим моделям, содержат ошибку, которая присутствует в оценке запасов и в проекте их выемки. Таким образом, ставится задача - разработать математическую модель расчета координат подсечек слоев в разведочной скважине, позволяющую представлять геометрию скважины в виде гладкой непрерывной кривой в зависимости от глубины скважины.

Оценка математических моделей с учетом организации информации

Математическое моделирование горно-геологических объектов чаще всего связано с представлением рассматриваемого объекта в виде некоторой геометрической фигуры. В общем случае геометрические фигуры имеют множество видов особенностей [78, 107]: изолированная точка, точка излома, точка разрыва, внешняя и внутренняя граница, линия разрыва и т.д. Соответственно, математические модели, необходимые для функционирования информационно-аналитических систем разработки проектов очистных работ и оценки запасов, должны учитывать особенности, встречающиеся у моделируемых горных объектов.

Для представления особенностей горно-геологических объектов требуется совершенствование организации информационного описания рассматриваемого объекта в системе. Число возможных особенностей горно-геологических объектов определяется размерностью пространства, в котором производится моделирование, размерностью геометрического образования, с помощью которого производится моделирование и типом

этого объекта. Так при построении геологических поверхностей используется массив точек с координатами. Это множество точек может не иметь никакой организации. Другими словами, кроме самого множества, никакой дополнительной организации и правил использования этих точек нет. Но чаще всего при построении геологической поверхности известны дополнительные геометрические особенности поверхности, такие как внешняя и внутренние границы, безизломные линии, которые соответствуют линиям разрыва первого рода и т.д.

При выборе математических моделей, необходимых для функционирования информационно-аналитических систем надо учитывать возможность той или иной математической модели обрабатывать описанные особенности. По всей видимости, полученные оценки в главе «Вычисление степени определенности моделей системы» необходимо скорректировать. *Определенность* математической модели и оценка, учитывающая способность математической модели обрабатывать особенности, являются независимыми. Поэтому, итоговая оценка математической модели будет состоять из двух компонент.

Рассмотрим некоторую геологическую фигуру, с помощью которой осуществляется моделирование горно-геологического объекта в n -м пространстве. Информационное представление особенностей осуществляется с помощью ввода дополнительной организации информации, представляющейся в виде выделения некоторых подмножеств, описывающих эти особенности. Каждый вид такого подмножества не зависит от другого подмножества. Следовательно, возможность учета каждого вида особенности математической моделью можно представить в виде ортонормированного базиса. Размерность пространства этого базиса на единицу больше числа видов особенностей, присущих горно-геологическому объекту. Введем оценку учета математической моделью информационно-аналитической системы особенностей горно-геологических объектов. Под оценкой возможности

учета математической моделью особенностей горно-геологического объекта будем понимать вектор n -го пространства, построенный на ортах,

соответствующим особенностям, учитываемых этой моделью: $\chi = \sqrt{\sum_1^i 1}$

(где $i = m + 1$, m - число учитываемых математической моделью особенностей горно-геологического объекта).

Проиллюстрируем работоспособность введенной оценки на примере математической модели построения геологической поверхности. Список особенностей, которые необходимо учитывать при построении геологической поверхности и пространственном представлении показателей качества угля приведены в табл. 3.8, 3.9, соответственно.

Табл. 3.8.

Оценка способности математической модели учитывать особенности геологической поверхности.

№	Организационные описания объекта	Оценка			
1	Массив точек поверхности	1 (50%)	1,4 (71%)	1,7 (87%)	2 (100%)
2	Внешняя граница	-			
3	Внутренняя граница	-	-		
4	Линии излома поверхности	-	-	-	

Таким образом, например, математическая модель построения геологической поверхности по координатам точек подсечек подошвы (кровли) слоя, позволяющая учесть внешнюю и внутренние границы, которыми ограничена рассматриваемая поверхность геологического отложения (размывы, выклинивание и т.д.) будет в итоге иметь оценку: [78%, 87%].

Оценка способности математической модели учитывать особенности пространственного представления показателей качества угля.

№	Организационные описания объекта	Оценка		
		1 (58%)	1,4 (83%)	1,7 (100%)
1	Массив точек поверхности			
2	Внешняя граница	-		
3	Внутренняя граница	-	-	

Выводы по третьей главе

- 1) Сформулирован и определен принцип дополнительности, которым следует пользоваться при создании необходимых моделей номинальной системы.
- 2) Разработан морфологический метод выявления моделей для номинальной системы. Введено понятие «определенность» модели, используемой в номинальной системе. Разработан метод вычисления определенности моделей.
- 3) Выявлен перечень необходимых для функционирования информационно-аналитических систем оптимизации отработки шахтных полей и месторождений математических моделей.
- 4) Анализ полученного списка необходимых математических моделей, для функционирования информационно-аналитической системы оптимизации отработки шахтных полей и месторождений выявил модели, требующие новой разработки. В связи с этим ставятся следующие задачи:
 - разработать математическую модель расчета геометрии поверхности с учетом координат точек подсечек и элементов залегания породного слоя (угольного пласта);

- разработать математическую модель расчета геометрии поверхности с учетом координат точек подсечек и углов падения;
- разработать метод оценки результатов построения геологических поверхностей для сравнения математических моделей между собой;
- разработать универсальный алгоритм, позволяющий учитывать в точках геологических наблюдений те свойства поверхности, которые измерены. То есть в точках кроме координат могут быть заданы элементы залегания слоя или углы падения, или информация об элементах залегания геологического отложения будет отсутствовать;
- разработать математическую модель представления показателей качества угля с учетом координат точек геологических наблюдений и значений показателя качества угля и ошибки его измерения;
- разработать математическую модель представления показателей качества угля с учетом координат точек геологических наблюдений и значений показателя качества угля;
- разработать универсальный алгоритм, позволяющий учитывать в точках геологических наблюдений те свойства «показателя качества», которые были измерены;
- разработать математическую модель расчета координат подсечек слоев в разведочной скважине, позволяющую представлять геометрию скважины в виде гладкой непрерывной кривой в зависимости от глубины скважины.

**Новые математические модели и методы необходимые для
информационно аналитических системы оптимальной обработки
шахтных полей и месторождений**

**Разработка математической модели расчета координат подсечек
слоев в разведочной скважине**

На основе анализа, проведенного в разделе, посвященном формированию перечня математических моделей, необходимых для функционирования информационно-аналитических систем по разработке проектов очистных работ и оценке запасов угля, было выявлено, что необходимо разработать математическую модель, представляющую траекторию буровой трассы в виде гладкой кривой трехмерной линии.

При обработке геологоразведочных данных и прогнозе горно-геологических условий разработки угольных пластов на угольных предприятиях возникает необходимость в уточнении геологического строения участка. С этой целью выполняются построения геологических разрезов по данным разведочных скважин и горных работ, уточняется гипсометрия угольных пластов и запасы угля. В ходе этих построений необходимо использовать расчетные координаты многих поверхностей, вскрытых в скважине.

Разведочные скважины с глубиной более 300 метров, как правило, искривляются и на глубине 700 и более метров их углы искривления достигают 20-30 градусов, а отклонение оси от вертикальной линии до 100 метров. В материалах по таким разведочным скважинам, передаваемых на предприятие геологоразведочной организацией, содержатся данные о замерах искривления (угол и азимут искривления оси), измеренные через 20 метров по глубине скважины. По данным инклинометрии рассчитаны координаты точек замеров и точек подсечек скважиной поверхностей целевых угольных пластов.

Обычно геометрию скважины строят из предположения, что скважина состоит из отрезков прямых, направленных по значениям замеренных углов в конечной точке, или пар отрезков равной длины (отрезок между замерами делится пополам), направленных по значениям углов в прилегающих к отрезку точках [108, 151]. Траектория буровой трассы скважины во всех описанных случаях получается изломанной, в действительности это не наблюдается. Искривление оси разведочной скважины происходит постепенно и без скачков. Соответственно, координаты точек подсечек слоев и пластов, полученные по существующим методам, содержат ошибку, которая присутствует в оценке запасов и в проекте по их выемке. Если представлять геометрию скважины в виде гладкой непрерывной кривой с линейной зависимостью внутри интервала угла искривления и азимута от глубины скважины [60], то в этом случае проекции на координатные оси рассчитываются по формулам:

$$\text{на ось } z: \Delta h = \Delta l \cdot \int_{l_n}^{l_{n+1}} \cos \theta(l) dl ;$$

$$\text{на ось } x: \Delta x = \Delta l \cdot \int_{l_n}^{l_{n+1}} \sin \theta(l) \cdot \cos A(l) dl ;$$

$$\text{на ось } y: \Delta y = \Delta l \cdot \int_{l_n}^{l_{n+1}} \sin \theta(l) \cdot \sin A(l) dl ,$$

где $\theta(l)$ - измеренный зенитный угол искривления оси скважины;

$A(l)$ - измеренный азимут оси скважины.

Запишем зависимости зенитного угла искривления $\theta(l)$ и азимута направления скважины $A(l)$ от глубины на интервале в виде функций

$$\theta(l) = \theta_n + \frac{\Delta \theta}{\Delta l} \cdot (l - l_n) \quad \text{и} \quad A(l) = A_n + \frac{\Delta A}{\Delta l} \cdot (l - l_n) \quad \text{соответственно.}$$

Заменяя произведения тригонометрических функций их суммой, и беря интегралы, получаем расчетные формулы для определения приращений:

по оси z: $\Delta h = -\frac{\Delta l(\sin \theta_{n+1} - \sin \theta_n)}{\Delta \theta}$,

по оси x:

$$\Delta x = -\frac{\Delta l(\cos(\theta_{n+1} + A_{n+1}) - \cos(\theta_n + A_n))}{2(\Delta \theta + \Delta A)} - \frac{\Delta l(\cos(\theta_{n+1} - A_{n+1}) - \cos(\theta_n - A_n))}{2(\Delta \theta - \Delta A)},$$

по оси y:

$$\Delta y = -\frac{\Delta l(\sin(\theta_{n+1} + A_{n+1}) - \sin(\theta_n + A_n))}{2(\Delta \theta + \Delta A)} + \frac{\Delta l(\sin(\theta_{n+1} - A_{n+1}) - \sin(\theta_n - A_n))}{2(\Delta \theta - \Delta A)},$$

на горизонтальную плоскость: $\Delta a = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$.

Координаты точек подсечек подошвы всех слоев и проб в скважине могут быть рассчитаны по соотношениям:

$$z_n = z_0 - \sum_{i=1}^n h_i \quad x_n = x_0 + \sum_{i=1}^n \Delta x_i \quad y_n = y_0 + \sum_{i=1}^n \Delta y_i$$

где x_0, y_0, z_0 - координаты устья скважины.

Отметим одну небольшую, но важную особенность, которую необходимо учитывать, при реализации разработанной математической модели. В полученных выражениях присутствуют дроби, знаменатели которых при некоторых значениях исходных данных могут обращаться в ноль одновременно с числителем. Для того, что бы избежать переполнения при «делении на ноль» (аварийной остановки) при вычислениях необходимо при малых значениях пользоваться выражениями, получаемыми по правилу Лопиталья, например:

$$\frac{\sin(\theta_{n+1} + A_{n+1}) - \sin(\theta_n + A_n)}{\Delta \theta + \Delta A} = \frac{\cos(\theta_n + A_n)}{\Delta \theta + \Delta A} = \cos(\theta_n + A_n)$$

при $|\Delta \alpha + \Delta \beta| \leq 0,001$.

На рис. 4.1 приведен пример расчета с помощью разработанной математической модели. Для сопоставления на чертеж вынесены траектории буровой трасы скважины, получаемые по существующим методам и составленные: из отрезков прямых, направленных по значениям

замеренных углов в конечной точке (линия показана точками), и из пар отрезков равной длины (отрезок между замерами делится пополам), направленных по значениям углов в прилегающих к отрезку точках (пунктирная линия). Легко видеть, что ошибка в определении координат точки подсечки пластов (точки 1, 2, 3) будет в горизонтальной и в вертикальной плоскостях и составит 2-3 м.

Не трудно видеть, что разработанную математическую модель легко трансформировать в универсальную модель, которая позволяет строить траекторию буровой трассы разведочной скважины в том случае, если в некоторых точках замера искривления скважины измерялись только зенитные углы наклона, в других только азимуты направления оси скважины, а в остальных зенитные углы наклона и азимуты направления.

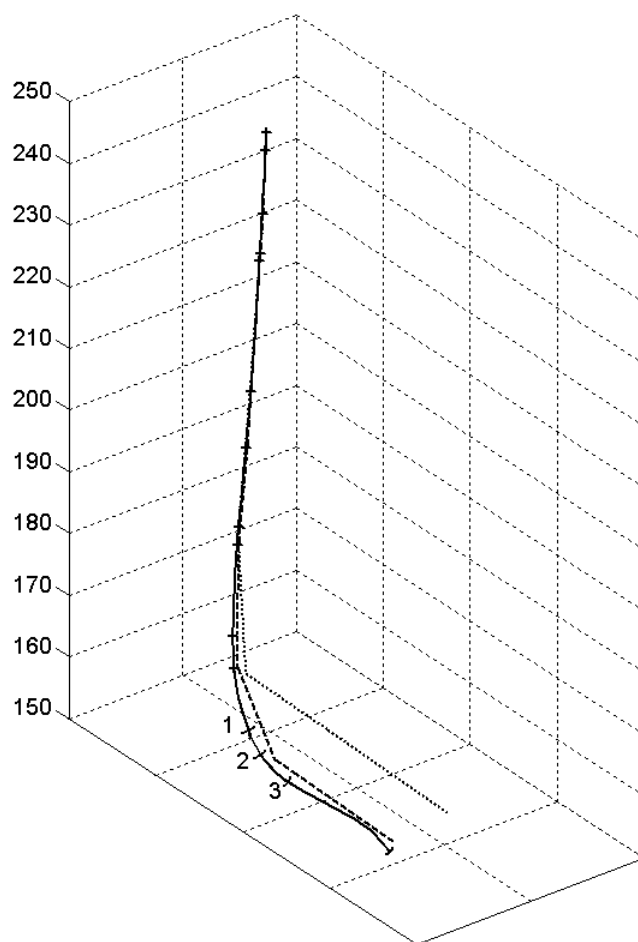


Рис. 4.1.

Расчет геометрии траектории буровой трассы разведочной скважины ПК
№ 5317 ш. Северная

Разработка математической модели геологической поверхности на базе нелинейной аппроксимация поверхности методом триангуляции

На основе ранее проведенного анализа была выявлена необходимость в разработке математической модели геологической поверхности, позволяющей учитывать элементы залегания слоя. Следовательно, необходимо разработать метод, на основе которого можно построить искомую математическую модель.

Построение поверхности геологического слоя по данным разведки или геологических наблюдений в горных выработках - наиболее часто решаемая задача в горном деле [13, 170]. В большинстве случаев, для ее решения с помощью компьютера используют метод триангуляции. При этом предполагается, что поверхность является топографической (однозначно определенной). Другими словами, отвесная линия, проходящая через область определения поверхности, пересекает оную только в одной точке. Кроме того, топографическая поверхность обладает условиями конечности (значение отметки для точки с заданными координатами конечно), непрерывности и плавности (при малом изменении координат x и y координата z также изменяется незначительно, плавно и без скачков) [13].

Изображенная на рис. 4.2 изогнутая поверхность ABC (выделена по контуру жирной линией) является топографической на области определения A'B'C' (треугольник в плоскости xy). Отвесная линия NN' пересекает рассматриваемую поверхность только в одной точке N (как и все остальные отвесные линии, которые можно провести в пределах треугольника A'B'C'). Значения аппликат (координат z) конечны, и меняются непрерывно и плавно. Это наглядно иллюстрируют построения, произведенные у точек A, B и C. Изменения координат x и y на dx и dy вызывают изменение координаты z на конечное значение dz .

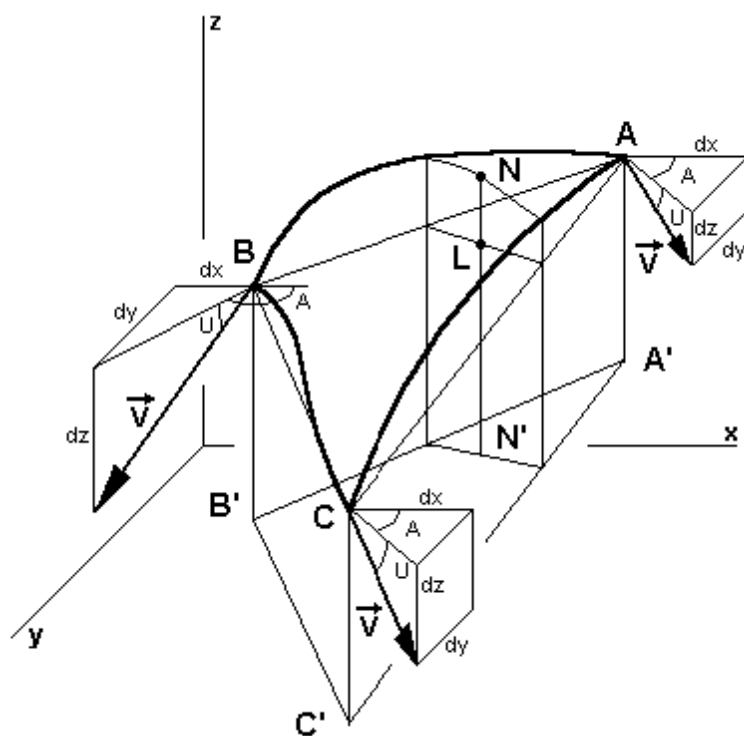


Рис. 4.2.

Геологическая поверхность почвы (кровли).

Исходными данными для триангуляции является массив точек подсечек слоя с координатами x , y , z . На рисунке - это координаты точек A, B и C. К большому сожалению, элементы залегания слоя (азимуты и углы падения) игнорируются, хотя они и несут важные сведения о характере залегания подошвы или кровли. Геологическая поверхность моделируется набором плоскостей (треугольник ABC). Вполне очевидно, что такой подход к построению геологической поверхности заведомо включает в себя погрешность метода. Это ведет к вычислению аппликат точек поверхности с ошибкой, к построению неверных геологических разрезов, а положение и конфигурация изолиний могут измениться неузнаваемо.

Описанный подход к моделированию поверхности в математике называется *прямолинейной* триангуляцией. Он заключается в

представлении (в рассматриваемом контексте) поверхности слоя в виде геометрического симплексного комплекса K . Комплекс должен состоять из замкнутых симплексов так, что каждые два симплекса либо не пересекаются, либо пересекаются (точнее соприкасаются) по их общей границе. Каждый симплекс (выпуклая оболочка) представляется треугольником.

Отметим еще одну особенность прямолинейной триангуляции. Она заключается в том, что линии, получаемые в результате сечения симплексного комплекса плоскостью, являются ломанными. Чаще всего это изолинии (горизонтальные плоскости), линии кровли и почвы на разрезах (вертикальные плоскости). Как правило, для улучшения вида, их сглаживают. Но это не устраняет погрешность метода, а иногда даже увеличивает ошибку.

Попытаемся разработать метод и на его базе математическую модель, которая позволит учитывать при построении поверхности геологического слоя, пласта, не только отметки, но углы и азимуты падения. Отметим сразу, что полученная в итоге расчетов модель поверхности, конечно, не будет в точности совпадать с действительной геологической поверхностью, но, очевидно, будет значительно ближе к искомой, чем набор плоскостей, получаемых в результате прямолинейной триангуляции.

Будем рассматривать *криволинейную* или *нелинейную* триангуляцию топологического пространства. Она представляется уже в виде пары: симплексного комплекса и гомеоморфизма (K, f) . Другими словами, на одном и том же симплексном комплексе с помощью замены 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 результатов вычисления координаты z точки и всех последующих

расчетов (построения изолиний, сечений, объемов и так далее). К тому же для получения поверхности методом нелинейной триангуляции, сопоставимой по детализации с поверхностью, полученной методом прямолинейной триангуляции, требуется меньшее число исходных точек. На рис. 4.2 отрезок LN характеризует меру различия линейной и нелинейной математических моделей геологических поверхностей.

Задача построения симплексного комплекса сама по себе не тривиальна. Подробное описание её решений с детальными расчетными схемами можно найти, например, в книге В.В. Ершова [39]. Очевидно, полученный симплексный комплекс инвариантен относительно вида (линейная, нелинейная) триангуляции. Поэтому задачу построения комплекса рассматривать не будем.

Для решения задачи нелинейной триангуляции необходимо найти вид функции $z(x, y)$ с учетом элементов залегания. Рассмотрим треугольник ABC (рис. 4.2). Вектора \vec{V} на рисунке являются векторами, определяющими направления и величину наибольшего ската поверхности. С горизонтальной плоскостью они образуют углы падения U .

Проекцией вектора \vec{V} на плоскость xu является вектор, равный по величине градиенту и направленный в противоположную сторону, образующий угол A с осью x , который является азимутом падения поверхности в рассматриваемой точке (градиент направлен в сторону увеличения координаты z). Здесь и далее используются геодезические координаты.

Пусть граничные условия в вершинах треугольника заданы значениями аппликат отметок, углов и азимутов падения. Отметим характерную особенность задачи. Граничные условия известны не по всей границе области определения, а только лишь в трех точках. В дальнейшем будем считать, что функция $z(x, y)$, моделирующая геологическую

поверхность, четырежды дифференцируема по переменным (координатам) x и y .

Градиент поверхности (градиент скалярной функции $z(x, y)$) в любой ее точке (в пределах области определения) задается линейным оператором Гамильтона (набла)

$$\text{grad}z(x, y) = \nabla z = \frac{\partial z}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial z}{\partial y} \vec{j},$$

лежит в горизонтальной плоскости и направлен, как уже отмечалось, в сторону увеличения значений функции. Найдем зависимость градиента поверхности от элементов залегания геологического слоя, азимута и угла падения (все это время и в дальнейшем под углом падения подразумевается только истинный угол падения).

Азимут падения A поверхности противоположен по направлению к градиенту и определяется, как арктангенс отношения проекции градиента на ось y к проекции на ось x (рис. 4.2), взятый с противоположным знаком

$$A = -\text{arctg}\left(\frac{dy}{dx}\right) = \text{arctg}\left(-\frac{\partial z}{\partial y} / \frac{\partial z}{\partial x}\right).$$

Угол падения поверхности в точке с координатами x_0 и y_0 определяется углом пересечения двух плоскостей. Первая является касательной плоскостью, построенной к рассматриваемой поверхности в точке x_0, y_0 и определяется уравнением $a(x - x_0) + b(y - y_0) + c(z - z_0) = 0$. Вторая – горизонтальная плоскость, определяемая тождеством $z = z_0$. Угол пересечения находится из соотношения

$$\cos U = \frac{c}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}.$$

Коэффициенты уравнения касательной плоскости есть частные производные искомой функции по соответствующей координате $a = \frac{\partial z}{\partial x}$, $b = \frac{\partial z}{\partial y}$, $c = 1$ и, следовательно, угол пересечения, он же угол падения равен

$$\cos U = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2 + 1}}.$$

Выражение градиента поверхности, заданной функцией $z(x, y)$, через углы и азимуты падения оной, находится с помощью решения системы двух уравнений

$$\begin{cases} \frac{\partial z}{\partial y} / \frac{\partial z}{\partial x} = -\operatorname{tg}(A), \\ \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2 = \operatorname{tg}^2(U), \end{cases} \quad (4.1)$$

Откуда, методом подстановки находим частные производные $\frac{\partial z}{\partial x} = \cos(A)\operatorname{tg}(U)$ и $\frac{\partial z}{\partial y} = -\sin(A)\operatorname{tg}(U)$ для определения градиента в произвольной точке, принадлежащей области определения и на границе (в угловых точках). Градиент с помощью элементов залегания слоя вычисляется по следующей формуле:

$$\nabla z = \operatorname{tg}(U) [\cos(A)\vec{i} + \sin(A)\vec{j}].$$

Наложим некоторые дополнительные условия на вид искомой функции $z(x, y)$. Функцию $z(x, y)$, моделирующую геологическую поверхность почвы (кровли) пласта или породного слоя будем искать в классе функций имеющих близость порядка больше чем второго. Для иллюстрации изложенного на рис. 4.3 представлены две поверхности близкие между собой в смысле близости нулевого порядка, но не близкие в

смысле близости ни первого и ни второго порядка, так как аппликаты у них близки, а направления градиентов не близки и не близки вектора описывающие изменения градиентов. Логично потребовать, чтобы 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 D (треугольник $A'B'C'$) была бы минимальной.

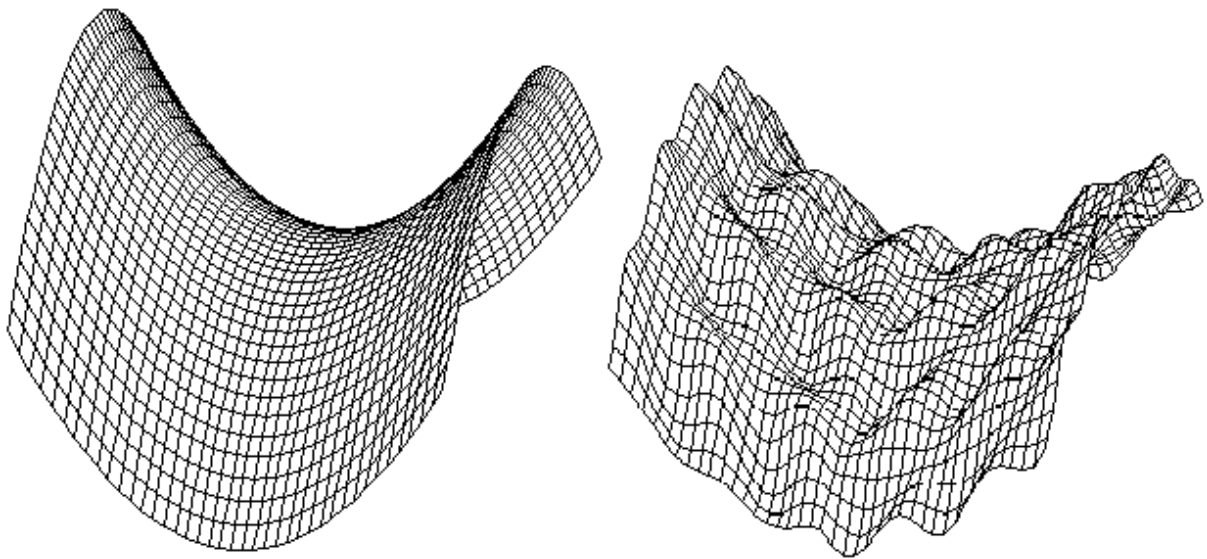


Рис. 4.3.

Близкие между собой поверхности по аппликатам.

Таким образом, задача свелась к вариационной задаче нахождения экстремума функционала, зависящего от вторых частных производных функции двух переменных:

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

Функция, реализующая экстремум рассматриваемого функционала, должна удовлетворять уравнению Эйлера – Пуассона вида

$$F_z - \frac{\partial}{\partial x} \{F_p\} - \frac{\partial}{\partial y} \{F_q\} + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \{F_r\} + \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \{F_s\} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \{F_t\} = 0.$$

Здесь функция F – подынтегральная функция функционала. Индексами z , p , r , s и t обозначены частные производные подынтегральной функции соответственно по

$$z \quad r = \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}, \quad t = \frac{\partial^2 z}{\partial y^2}, \quad s = \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y}, \quad q = \frac{\partial z}{\partial y}, \quad p = \frac{\partial z}{\partial x},$$

и равны:

$$F_z = 0, \quad F_t = 2 \frac{\partial^4 z}{\partial y^4}, \quad F_s = 4 \frac{\partial^4 z}{\partial x^2 \partial y^2}, \quad F_p = 0, \quad F_q = 0.$$

Соответственно, функция $z(x, y)$, реализующая экстремум, должна удовлетворять решению однородного дифференциального уравнения в частных производных четвертого порядка вида

$$\frac{\partial^4 z}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 z}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 z}{\partial y^4} = 0,$$

которое кратко записывается как $\Delta \Delta z = 0$.

Итак, нахождение функции $z(x, y)$, свелось, к решению однородного бигармонического уравнения с заданными краевыми условиями. Интересно отметить, что к аналогичному уравнению сводятся граничные задачи изгиба тонких пластинок. Следовательно, физическая суть решения бигармонического уравнения будет форма поверхности, смоделированная упругой пластинкой, подверженной действию распределенной нормальной нагрузки. Если ввести комплексную переменную p , то решением однородного бигармонического уравнения будет

$$z_0 = \operatorname{Re}(\bar{p}\Phi(p) + \Psi(p)),$$

где Φ и Ψ – произвольные аналитические функции, то есть функции, которые могут быть представлены степенным рядом, в области D ;

p и \bar{p} - сопряженные комплексные числа ($p = x + iy$ и $\bar{p} = x - iy$);

Re - действительная часть выражения.

Задача нахождения функций Φ и Ψ в явном виде не тривиальна. Известны её решения для некоторого вида областей, сводящиеся к интегралу Пуассона [54, 93, 132]. В случае произвольной области определения будем довольствоваться частными решениями в виде некоторой функции.

Очевидно, для бигармонического уравнения допустимы следующие частные решения. В виде экспоненциальной функции $z = e^{K_1 x + K_2 y}$ (K_1 и K_2 любые комплексные числа, удовлетворяющие условию $K_1^2(K_1^2 + 1) + K_2^2(K_2^2 + 1) = 0$). В виде кубического полинома третьей степени $z = \sum_{i=1}^{i=10} a_i x^\xi y^\zeta$, где $\xi + \zeta < 4$. И в виде их комбинации. В дальнейшем, для построения расчетных схем будем использовать частное решение бигармонического уравнения в виде кубического многочлена.

Для нахождения коэффициентов полинома воспользуемся граничными условиями в вершинах триангуляционного треугольника. Пусть в вершине 1 треугольника с координатами x_1, y_1, z_1 известны угол U_1 и азимут A_1 падения. Условие равенства искомой функции координате z в вершинах треугольника дает три линейных, относительно коэффициентов a_i алгебраических уравнения вида:

$$\sum_{i=1}^{i=3} a_i x_j^{4-i} + \sum_{i=4}^{i=6} a_i y_j^{7-i} + x_j y_j (a_7 x_j + a_8 y_j + a_9) + a_{10} - z_j = 0,$$

здесь индекс j является номером вершины треугольника. Первое уравнение системы (4.1) дает еще три соотношения

$$\left[\frac{\partial z}{\partial x} \right]_{x=x_j, y=y_j} \sin A_j + \left[\frac{\partial z}{\partial y} \right]_{x=x_j, y=y_j} \cos A_j = 0,$$

где:

$$\left. \frac{\partial z}{\partial x} \right|_{x=x_j, y=y_j} = \sum_{i=1}^{i=3} (4-i)a_i x_j^{3-i} + y_j (2a_7 x_j + a_8 y_j + a_9),$$

$$\left. \frac{\partial z}{\partial y} \right|_{x=x_j, y=y_j} = \sum_{i=4}^{i=6} (7-i)a_i y_j^{6-i} + x_j (a_7 x_j + 2a_8 y_j + a_9),$$

значения частных производных в вершинах треугольника. Но, с учетом периодичности тригонометрических функций тангенса, записанные соотношения дают один и тот же результат для противоположно направленных азимутов. Поэтому, лучше перейти к обратным функциям

$$\arctg \left(\left. \frac{\partial z}{\partial y} \right|_{x=x_j, y=y_j} / \left. \frac{\partial z}{\partial x} \right|_{x=x_j, y=y_j} \right) + A_j = 0,$$

и при программной реализации математической модели использовать функцию арктангенса с двумя параметрами. Второе условие, определяющее градиент функции $z(x, y)$, моделирующей геологическую поверхность, приводит к трем квадратным, относительно искомым коэффициентов полинома, уравнениям типа:

$$\left[\left. \frac{\partial z}{\partial x} \right|_{x=x_j, y=y_j} \right]^2 + \left[\left. \frac{\partial z}{\partial y} \right|_{x=x_j, y=y_j} \right]^2 = \operatorname{tg}^2 U_j.$$

Коэффициент a_9 можно найти из условия непрерывности геологической поверхности на границах смежных треугольников на завершающем этапе при увязке элементарных элементов полученных нелинейных поверхностей на всем симплексном комплексе. Таким образом, для нахождения в явном виде функции $z(x, y)$ необходимо решить систему из девяти алгебраических уравнений первой и второй степени.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^{i=3} a_i x_1^{4-i} + \sum_{i=4}^{i=6} a_i y_1^{7-i} + x_1 y_1 (a_7 x_1 + a_8 y_1) + a_{10} - z_1 = 0, \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ \arctg \left(\frac{\partial z}{\partial y} \Big|_{x=x_1, y=y_1} / \frac{\partial z}{\partial x} \Big|_{x=x_1, y=y_1} \right) + A_1 = 0, \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ \left[\frac{\partial z}{\partial x} \Big|_{x=x_1, y=y_1} \right]^2 + \left[\frac{\partial z}{\partial y} \Big|_{x=x_1, y=y_1} \right]^2 - tg^2 U_1 = 0, \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \end{array} \right. \quad (4.2)$$

Проиллюстрируем возможности разработанной математической модели нелинейной триангуляции на примерах. Пусть все три угла плоскостного симплекса находятся на одном уровне, то есть координаты z в вершинах треугольника одинаковы и равны нулю. Прямолинейная триангуляция в этом случае построила бы только горизонтальную плоскость. Углы падения для всех случаев приняты равными 45° градусам. Меняются только азимуты падения. Ниже на рисунках приведены аксонометрии восстановленных поверхностей и их планы в изолиниях. Для простоты и наглядности координаты отнормированы.

Первые три варианта (рис. 4.4, 4.5, 4.6) демонстрируют влияние постепенного изменения азимутов в вершинах противоположащих началу координат. Все три аксонометрические проекции построены таким образом, что плоскость xu наклонена на 50° и система координат повернута вокруг оси z на 45° . Заметить видоизменение общего вида поверхности очень сложно. Зато трансформация рельефа легко читается на планах в изолиниях (рис. 4.7, 4.8, 4.9). Происходит плавное перемещение вершины геологической поверхности в начало координат, с постепенным ее понижением и изменением формы холма. Одни изолинии не выходят за

пределы треугольника, другие выходят за границы и возвращаются. Это естественно и вполне объяснимо. Но такой эффект никак нельзя получить методом линейной триангуляции.

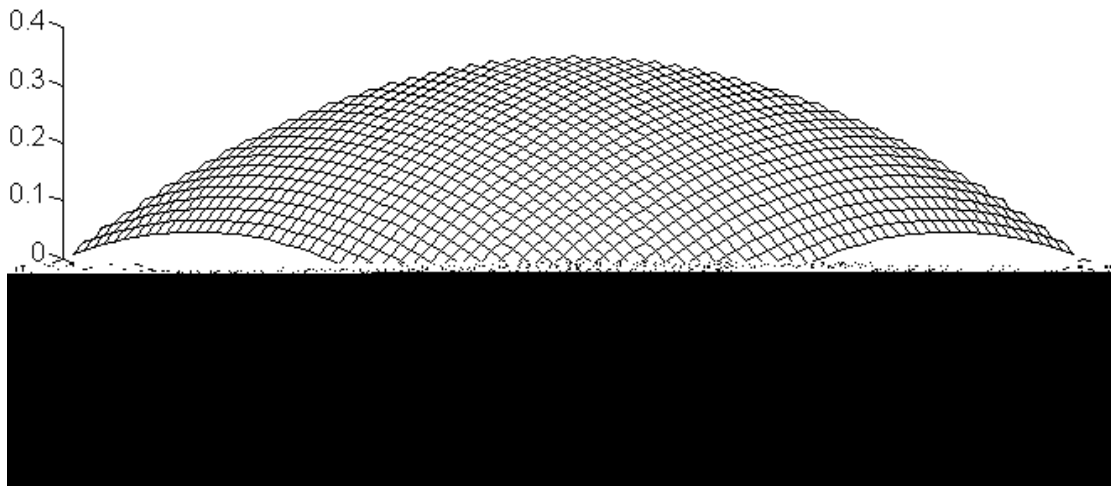


Рис. 4.4.

Азимуты в вершинах:

$$x=0, y=0, A=225^\circ; x=1, y=0, A=315^\circ; x=0, y=1, A=135^\circ;$$

уравнение поверхности: $z = -0,7x^2 + 0,7x - 0,7y^2 + 0,7y.$

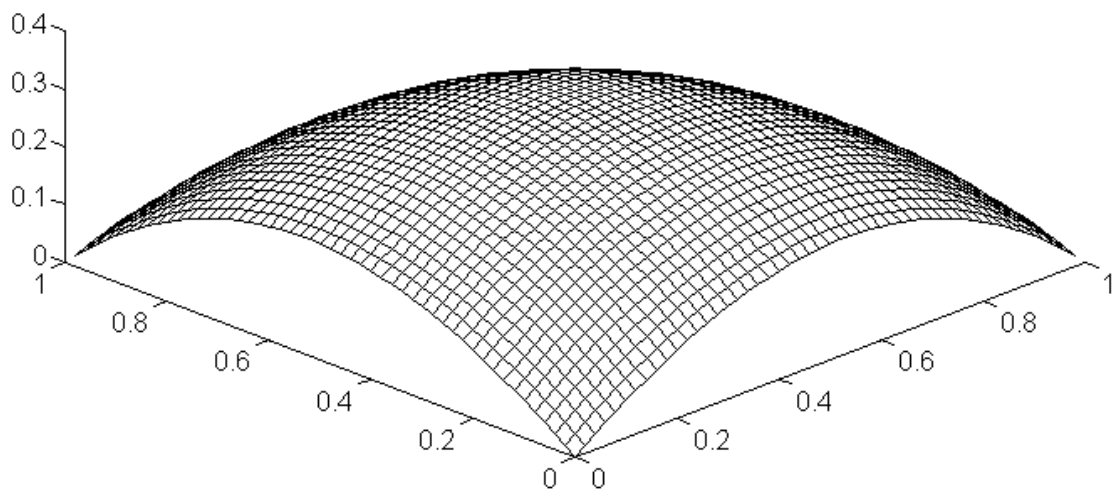


Рис. 4.5.

Азимуты в вершинах:

$$x=0, y=0, A=225^\circ; x=1, y=0, A=337,5^\circ; \quad x=0, y=1, A=112,5^\circ;$$

уравнение поверхности:

$$z = -0,2x^3 - 0,5x^2 + 0,7x - 0,2y^3 - 0,5y^2 + 0,7y - 0,3x^2y - 0,3xy^2.$$

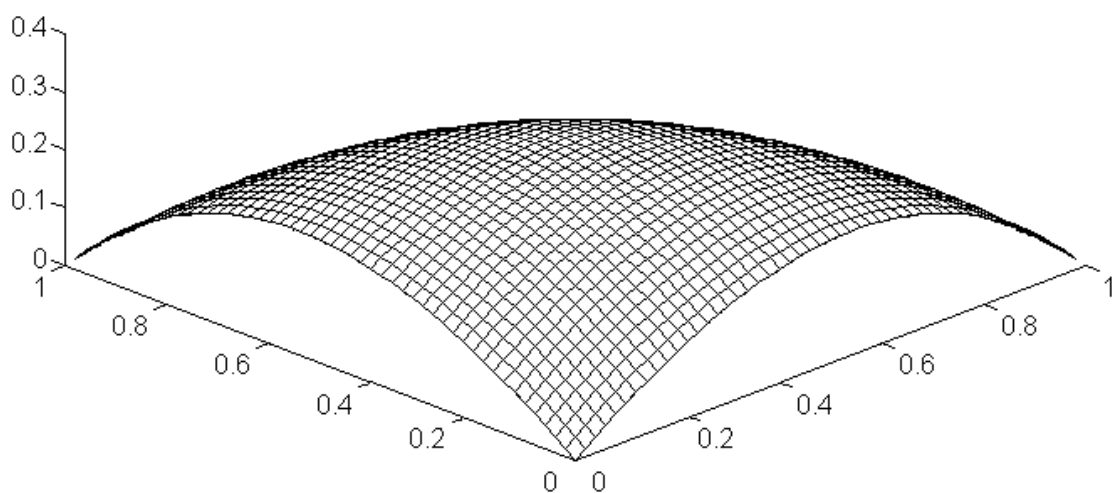


Рис. 4.6.

Азимуты в вершинах:

$$x=0, y=0, A=225^\circ; \quad x=1, y=0, A=0^\circ; \quad x=0, y=1, A=90^\circ;$$

уравнение поверхности:

$$z = -0,3x^3 - 0,4x^2 + 0,7x - 0,3y^3 - 0,4y^2 + 0,7y - 0,7x^2y - 0,7xy^2.$$

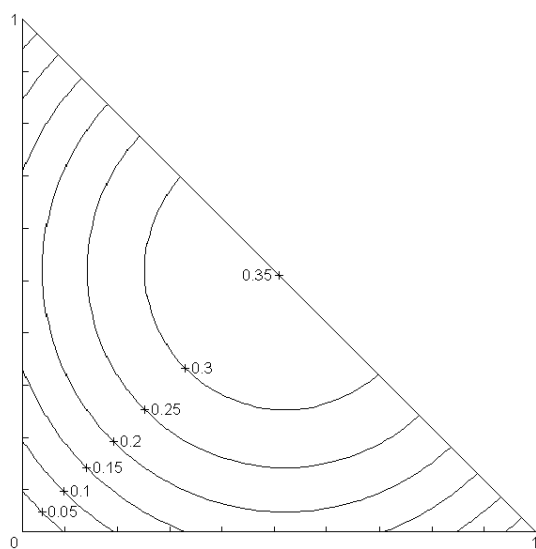


Рис. 4.7.

План поверхности (рис. 4.4)

в изолиниях.

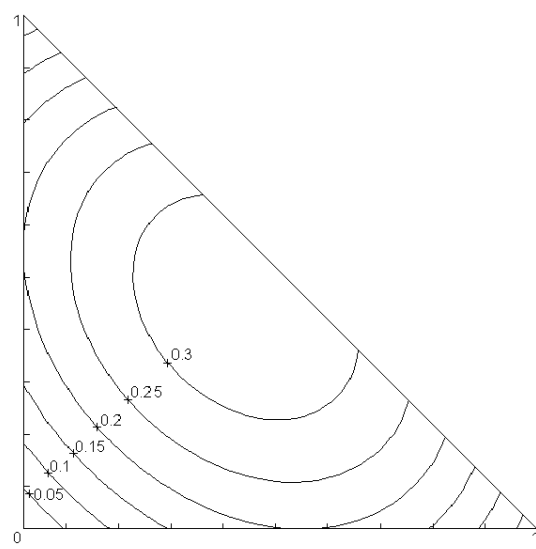


Рис. 4.8.

План поверхности (рис. 4.5)

в изолиниях.

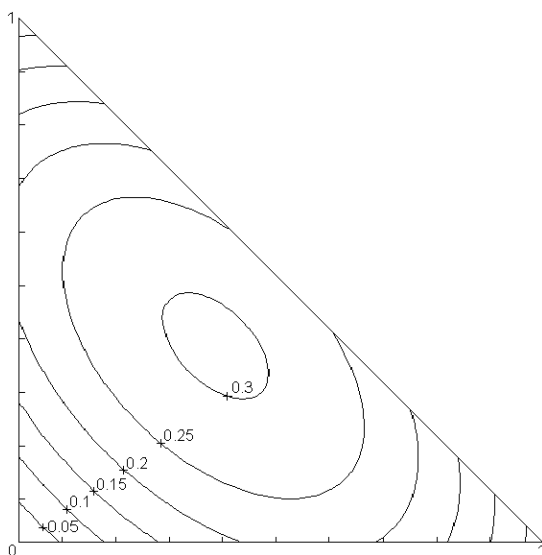


Рис. 4.9.

План поверхности (рис. 4.6)
в изолиниях.

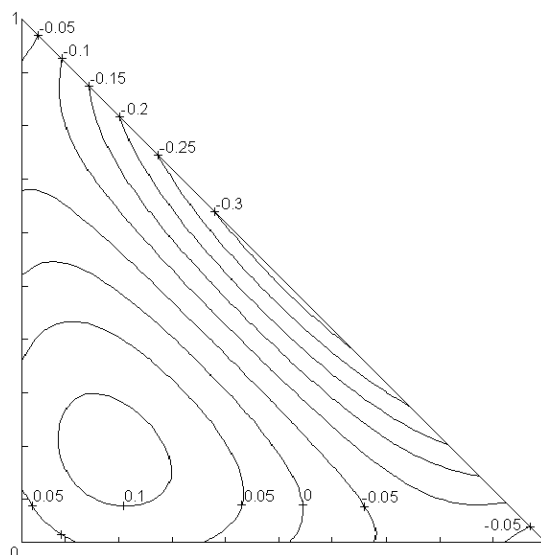


Рис. 4.10.

План поверхности (рис. 4.11)
в изолиниях.

Особый интерес представляет сравнение поверхностей, изображенных на рис. 4.6 и 4.11, отличающихся друг от друга почти противоположным направлением азимутов в вершинах треугольника у концов осей координат. Происходит качественное изменение поверхности: кроме явно выраженного глобального максимума появляются еще два локальных (в точках с координатами $\{x=0, y=1\}$ и $\{x=1, y=0\}$). Теперь через треугольник проходят три разные изолинии одного уровня (рис. 4.10 - изолинии с отметкой $-0,05$). При дальнейшем попарном изменении азимутов на два румба (рис. 4.12) у поверхности появляются две явно выраженные седловые точки. Дальнейшее изменение азимутов на четыре румба (во всех вершинах элементы залегания поверхности одинаковые) приводит к перемещению локальных максимумов за гипотенузу из треугольника, а седловых точек на гипотенузу треугольника. Хотя, проекции (рис. 4.11, 4.12 и 4.13) построены в различных ракурсах, но поверхность кажется одной и той же.

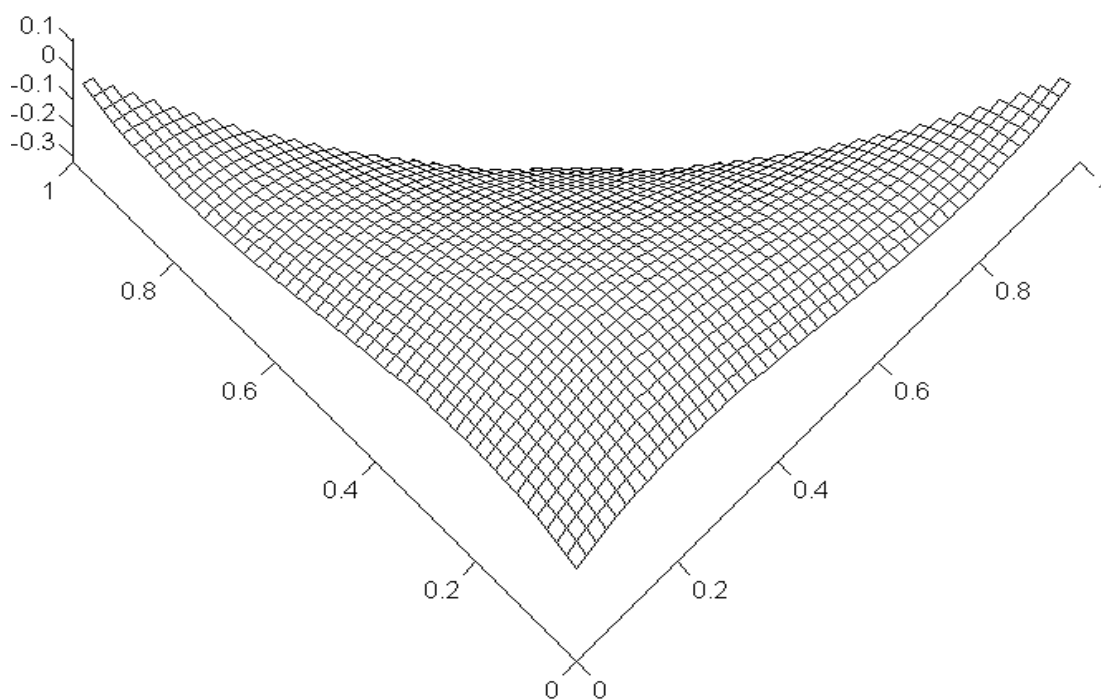


Рис. 4.11.

Азимуты в вершинах:

$$x=0, y=0, A=225^\circ; x=1, y=0, A=135^\circ; x=0, y=1, A=315^\circ;$$

уравнение поверхности:

$$z = 1,4x^3 - 2,1x^2 + 0,7x + 1,4y^3 - 2,1y^2 + 0,7y - 1,4x^2y - 1,4xy^2.$$

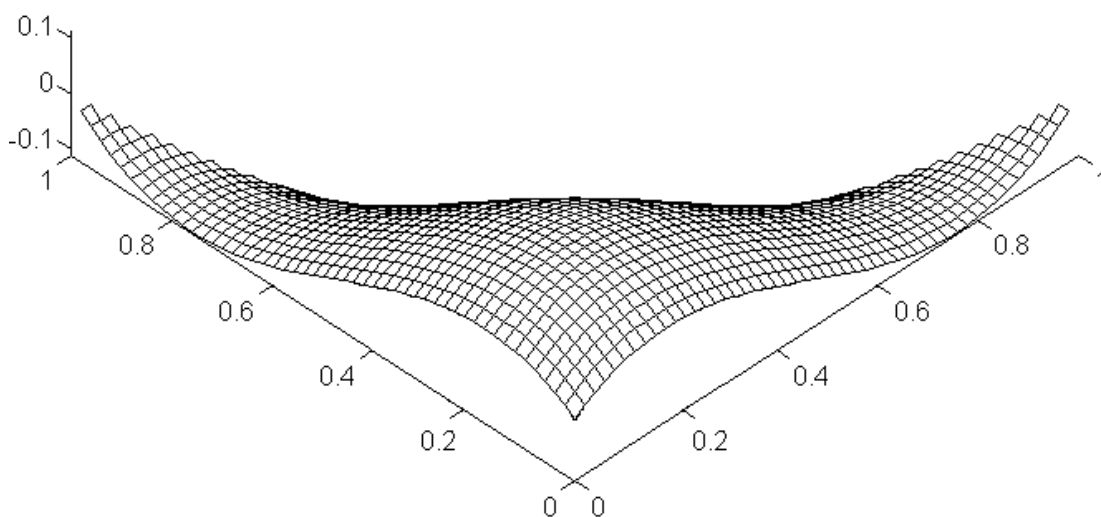


Рис. 4.12.

Азимуты в вершинах:

$$x=0, y=0, A=225^\circ; x=1, y=0, A=180^\circ; x=0, y=1, A=270^\circ;$$

уравнение поверхности:

$$z = 1,7x^3 - 2,4x^2 + 0,7x + 1,7y^3 - 2,4y^2 + 0,7y - 0,7x^2y - 0,7xy^2.$$

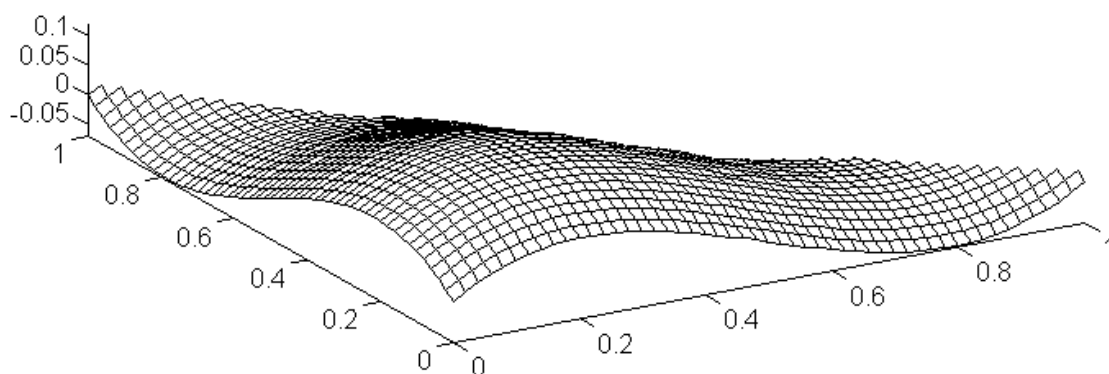


Рис. 4.13.

Азимуты в вершинах:

$x=0, y=0, A=225^\circ; x=1, y=0, A=225^\circ; x=0, y=1, A=225^\circ;$

уравнение поверхности:

$$z = 1,4x^3 - 2,1x^2 + 0,7x + 1,4y^3 - 2,1y^2 + 0,7y.$$

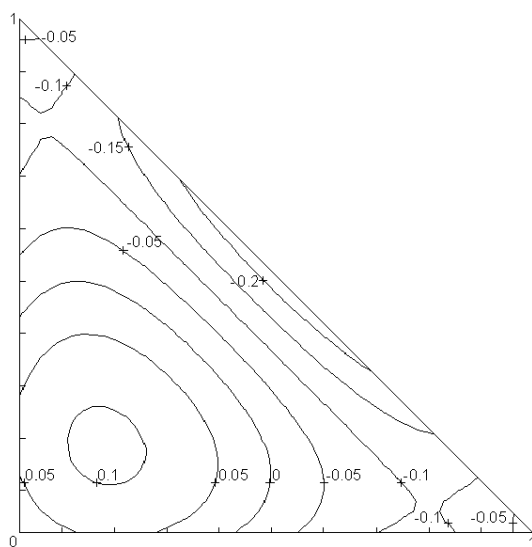


Рис. 4.14.

План поверхности (рис. 4.12)

в ИЗОЛИНИЯХ.

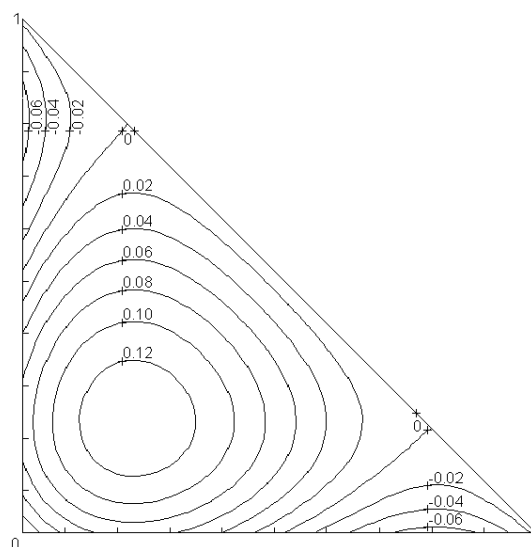


Рис. 4.15.

План поверхности (рис. 4.13)

в ИЗОЛИНИЯХ.

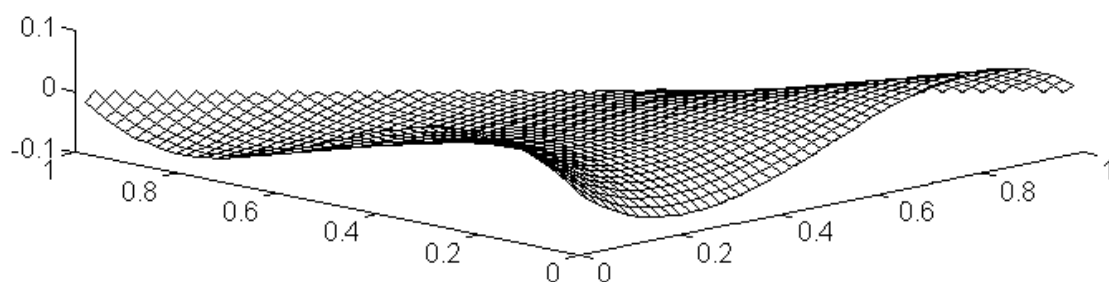


Рис. 4.16.

Азимуты в вершинах:

$$x=0, y=0, A=135^\circ; \quad x=1, y=0, A=225^\circ; \quad x=0, y=1, A=45^\circ;$$

уравнение поверхности:

$$z = 1,4x^3 - 2,1x^2 + 0,7x - 1,4y^3 + 2,1y^2 - 0,7y + 1,4x^2y - 1,4xy^2.$$

Определенный интерес представляет исследование «закрученных» поверхностей, градиенты которых лежат вдоль касательных (или близки к ним), проведенных к окружности, описанной вокруг триангуляционного треугольника (рис. 4.17 и 4.20). По планам в изолиниях (рис. 4.19 и 4.21) крайне сложно представить вид этих поверхностей. Вот один из случаев, когда необходима аксонометрия. Она дает общее наглядное представление о рельефе поверхности.

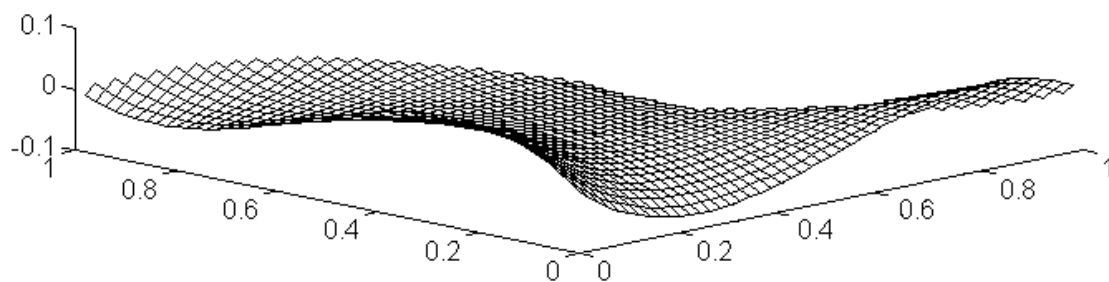


Рис. 4.17.

Азимуты в вершинах:

$$x=0, y=0, A=135^\circ; x=1, y=0, A=247,5^\circ; \quad x=0, y=1, A=22,5^\circ;$$

уравнение поверхности:

$$z = 1,1x^3 - 1,8x^2 + 0,7x - 1,1y^3 + 1,8y^2 - 0,7y + 1,6x^2y - 1,6xy^2.$$

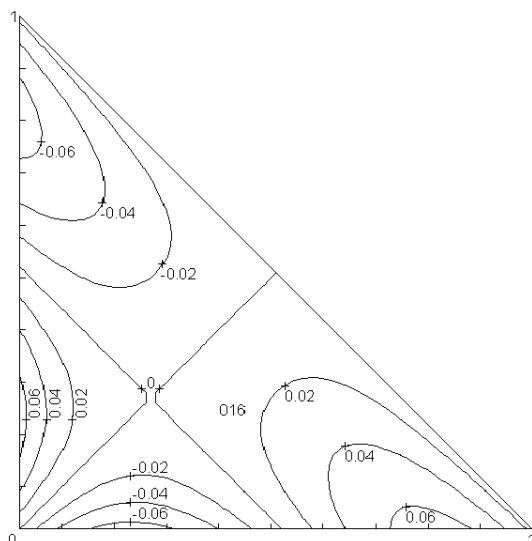


Рис. 4.18.

План поверхности (рис. 4.16)

в изолиниях.

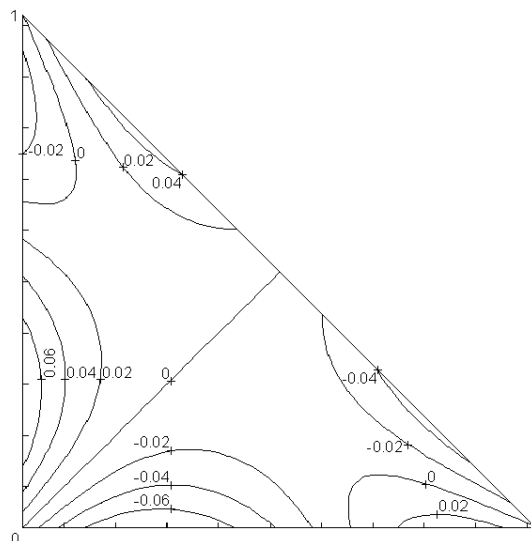


Рис. 4.19.

План поверхности (рис. 4.17)

в изолиниях.

Фигуры представленные на рис. 4.13, 4.21 и 4.22 образуют группу поверхностей, у которых азимуты падения слоя во всех трех точках одинаковы, соответственно 225, 135, и 180 градусов. В зависимости от азимута трансформируется и геометрия поверхности. Наблюдаются несколько форм изолиний: прямые линии, замкнутые и не замкнутые кривые, сочлененные линии. Рис. 4.15, 4.18 и 4.22 демонстрируют явление «деление хребта» (линия с отметкой 0). На плане это выглядит как «деления» изолинии.

В заключении можно сделать некоторые выводы. Во-первых, учет элементов залегания слоя с помощью нелинейной триангуляции (по сравнению с прямолинейной триангуляцией) качественно улучшает результаты моделирования геологических поверхностей. Во-вторых, линии пересечения поверхности с плоскостями (горизонтальными – изолинии, вертикальными – профили почвы и кровли слоев) естественно получаются гладкими. Точнее выбором шага точек по изолинии можно получить

требуемую гладкость. В третьих, методу нелинейной триангуляции для достижения сопоставимых результатов при восстановлении поверхности по сравнению с методом прямолинейной триангуляции требуется меньше точек.

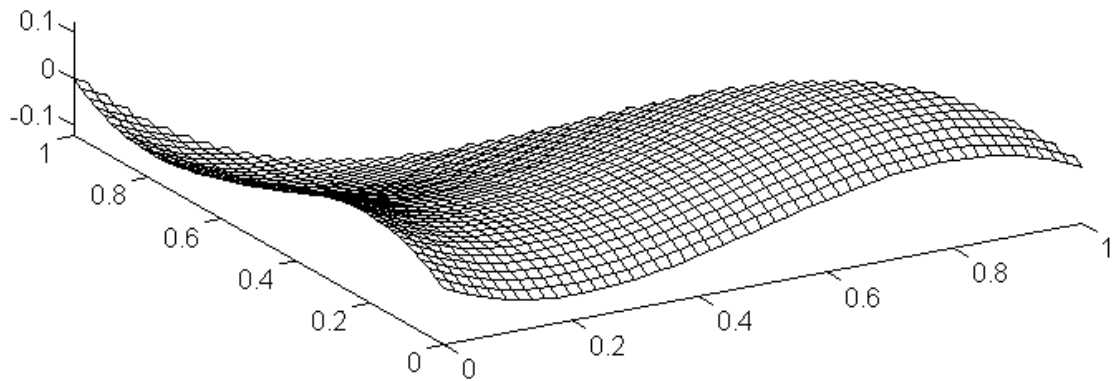


Рис. 4.20.

Азимуты в вершинах:

$x=0, y=0, A=135^\circ; x=1, y=0, A=135^\circ; x=0, y=1, A=135^\circ;$

уравнение поверхности:

$$z = 1,4x^3 - 2,1x^2 + 0,7x - 1,4y^3 + 2,1y^2 - 0,7y.$$

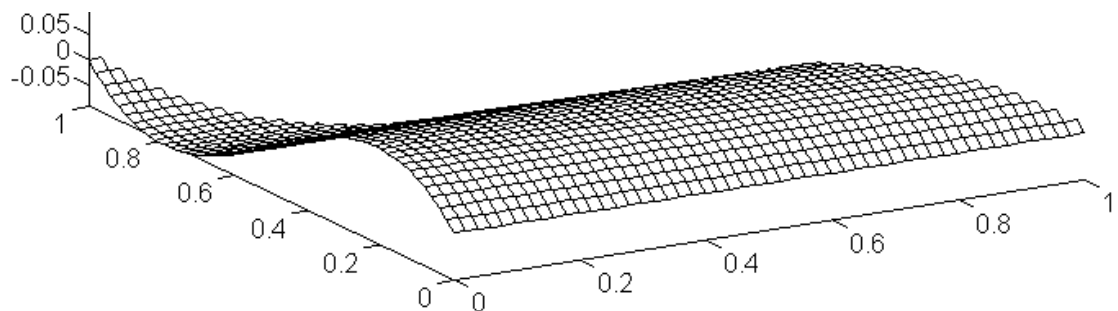


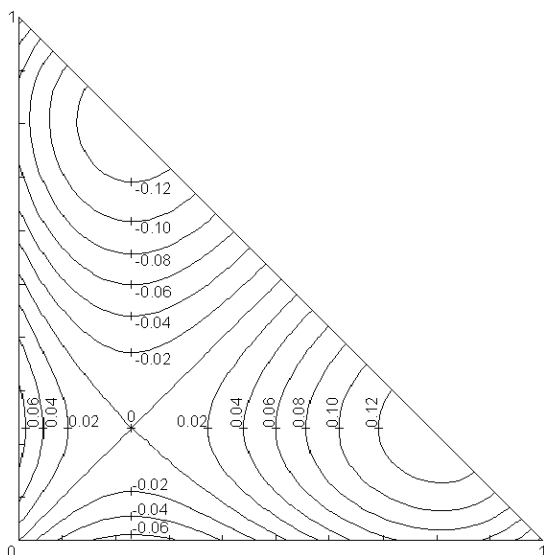
Рис. 4.21.

Азимуты в вершинах:

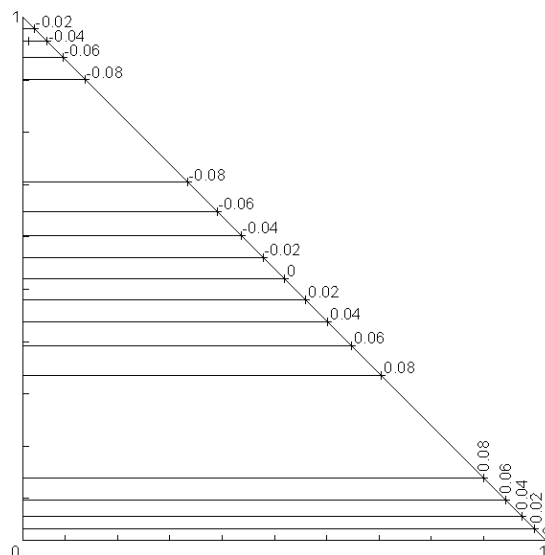
$x=0, y=0, A=180^\circ; x=1, y=0, A=180^\circ; x=0, y=1, A=180^\circ;$

уравнение поверхности:

$$z = 2x^3 - 3x^2 + x.$$



План поверхности (рис.4.20)
в изолиниях.



План поверхности (рис. 4.21)
в изолиниях.

Рис. 4.22.

Реализация математической модели нелинейного построения геологической поверхности с учетом элементов залегания слоя

Характерной особенностью задачи построения геологической поверхности с помощью триангуляции является то, что граничные условия известны не по всей границе области определения симплекса, а только лишь в трех точках – вершинах треугольника. Решение же должно быть таким, чтобы найденные поверхности для смежных треугольников симплексного комплекса совпадали на общей стороне. Скорректируем математическую модель так, чтобы она автоматически производила «склейку» криволинейной поверхности при ее построении по всей области определения.

Полная модель поверхности состоит из моделей всех треугольников симплексного комплекса K . Используя операцию объединения над элементами множествами, математическую модель геологической поверхности определим записью $\bigcup_{i \in K} z_i(x, y)$ (здесь индекс i определяет

номер треугольника в симплексном комплексе). Линейный подход к триангуляции в математическом контексте определяется заданием граничных условий значениями функции $z_{ij} = z_i(x_j, y_j)$, (где $j = 1, 2, 3$ - вершина i -го треугольника). Решение в этом случае сводится к определению системы плоскостей для каждого симплекса [39] и представляется в виде объединения этих плоскостей в одно множество по всей рассматриваемой поверхности. $\bigcup_{i \in K} [a_{i1}x + a_{i2}y + a_{i3}]$. При нелинейном подходе, в граничных условиях кроме значений функции (отметок) используются значения градиентов поверхности, то есть элементы залегания слоя азимуты и углы падения. Модель поверхности будет представлена в виде множества полиномов третьей степени [64, 65 и 59] с десятью коэффициентами:

$$\bigcup_{i=K} \left[\sum_{m=1}^{m=10} a_{im} x^{\xi} y^{\zeta} \right], \text{ где } \xi + \zeta \leq 4.$$

В предыдущем разделе показано, что частное решение $z = z(x, y)$ бигармонического $\Delta^2 z = 0$ уравнения в виде кубического многочлена при заданных краевых условиях в вершинах треугольника моделирует геологическую поверхность на нем.

Если при прямолинейной триангуляции «сшивки» элементарных поверхностей достигается автоматически (плоскости, проходящие через две точки? пересекаются всегда по одной прямой, проекция которой является стороной симплексного треугольника), то для нелинейной триангуляции все обстоит значительно сложнее. В этом случае граница пересечения двух поверхностей будет пространственной кривой. И вовсе не обязательно, чтоб ее проекция на горизонтальную плоскость была бы прямой и совпала бы со стороной триангуляционного треугольника. Это означает, что кроме решения системы нелинейных уравнений (4.2), полученных в работе [64] для определения коэффициентов нужно еще

предпринимать искусственные приемы, обеспечивающие это совпадение элементарных криволинейных поверхностей.

С учетом всего сказанного математическая модель для вычисления коэффициентов многочлена оказалась слишком громоздкой для ее практического использования в виде программы для ЭВМ. Предлагаемая здесь математическая модель упрощена, что позволило при практической её реализации создать компактную программу для вычисления отметок поверхности и решить проблему «склеивания». Упрощение основано на следующих соображениях: пусть известен набор коэффициентов a_{jm} (для j -го треугольника), задающий кубическое уравнение поверхности. Рассмотрим ее сечение произвольной вертикальной плоскостью $Ax + By + C = 0$. Полученный след пересечения представляет собой пространственную кубическую кривую, проекция которой на горизонтальную плоскость есть прямая. Следовательно, одна из переменных здесь может быть выражена через другую, и при подстановке ее в основное уравнение поверхности мы получаем кубическое уравнение от одной переменной, которое будет иметь всего 4 коэффициента. Таким образом, оказывается, задачу можно упростить сведением двухмерной функции к одномерной [59].

Исходя из этого, введены следующие допущения:

- на каждой прямой, проходящей через треугольник, функция, $z(x, y)$, моделирующая геологическую поверхность, является функцией $f(r)$ одной переменной r - текущей длины этой прямой;
- функция $f(r)$ – кубический многочлен, определяемый условиями на концах отрезка, являющимися вершиной и точкой на противоположной стороне треугольника (рис. 4.23). Это соответствует характеру поверхности и, как, оказывается, автоматически обеспечивает стыковку по общей стороне

симплексов, поскольку эта сторона с условиями на своих концах полностью определяет линию поверхности над ней;

- на каждой стороне треугольника градиент поверхности изменяется от вершины к вершине линейно. Это не противоречит вариационному требованию минимизации изменения градиента и позволяет для каждой точки на стороне вычислить характеристики падения, что нужно для вычисления значений отметок поверхности внутри треугольника по тем же правилам (задавая недостающие граничные условия на стороне треугольника).

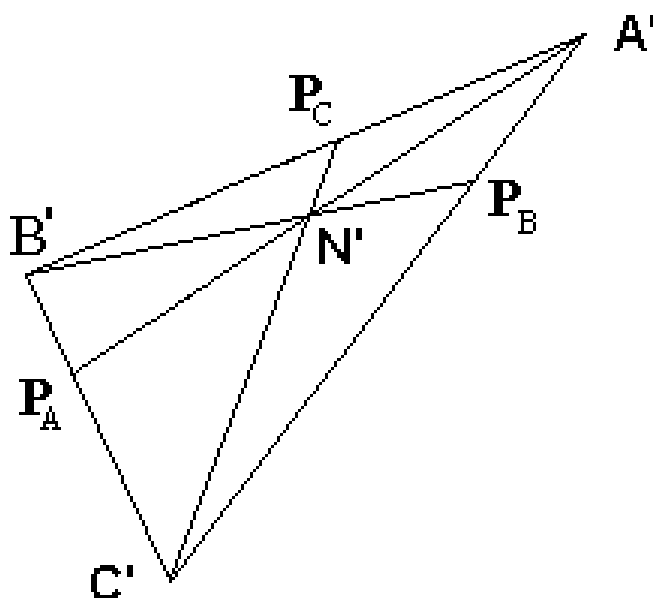


Рис. 4.23.

Вычисление аппликаты геологической поверхности в точке N' .

После всего сказанного, постановка задачи на разработку математической модели построения геологической поверхности с учетом элементов залегания слоя выглядит следующим образом. На триангуляционном треугольнике (рис. 4.2 и 4.23) с вершинами A, B, C заданы отметки z и элементы падения слоя (углом с горизонтальной плоскостью U и азимутом A).

Элементы падения слоя задают производные в крайних точках, если рассматривать сечение поверхности вертикальной плоскостью как функцию независимой переменной, меняющейся вдоль стороны треугольника. Для этой функции заданы ее значения z и производная по направлению dz/dr на концах отрезка, что позволяет найти четыре коэффициента аппроксимирующего многочлена третьей степени:

$$\begin{cases} b_1 r_0^3 + b_2 r_0^2 + b_3 r_0 + b_4 = z_0, \\ 3b_1 r_0^2 + 2b_2 r_0 + b_3 = \left. \frac{dz}{dr} \right|_{r_0}, \\ b_1 r_1^3 + b_2 r_1^2 + b_3 r_1 + b_4 = z_1, \\ 3b_1 r_1^2 + 2b_2 r_1 + b_3 = \left. \frac{dz}{dr} \right|_{r_1}, \end{cases}$$

Для большей наглядности, и чтоб r на стороне треугольника менялась от 0 до 1, проведем нормировку переменной $r = r/R$ (R - полная длина отрезка). Тогда, система четырех линейных алгебраических уравнений примет вид:

$$\begin{cases} b_4 = z_0, \\ b_3 = \left. \frac{dz}{dr} \right|_{r_0}, \\ b_1 + b_2 + b_3 + b_4 = z_1, \\ 3b_1 + 2b_2 + b_3 = \left. \frac{dz}{dr} \right|_{r_1}. \end{cases}$$

Можно непосредственно видеть, что решение этой системы существует при любых конечных значениях правых частей.

Величины $z(r)$ на концах отрезка заданы, значения $dz/dr = k \cdot \text{tgt}$ получаются проектированием элементов падения слоя на соответствующую вертикальную плоскость: $\text{tgt} = \text{tg}U \cdot \cos \alpha$ (α - угол между вертикальными плоскостями направления падения слоя и прямой, определяющей функцию z , а k - масштабный множитель, появившийся при переходе к отрезку единичной длины).

Таким образом, на каждой грани треугольника существует представление в виде многочлена третьей степени функции z (обозначенной дальше в математической модели как $z_{AB}(r)$, в зависимости от стороны треугольника) с заданными в крайних точках значениями $z_{AB}(0)$, $z_{AB}(1)$, $\left. \frac{dz_{AB}}{dr} \right|_0$ и $\left. \frac{dz_{AB}}{dr} \right|_1$. Значение z в произвольной точке треугольника N' находится таким же способом (рис. 4.23) из треугольника $A'B'P_A$, в котором значение z для точки P_A находится из функции z_{BC} , а элементы падения как линейно усредненные от значений в точках B' и C' . С теми же правами для точки N' , что и точка P_A в этом рассуждении, существуют и точки P_B и P_C . Каждая из них даст свое значение для z в точке N' : z_B и z_C . Естественно положить $z(N) = (z_A + z_B + z_C)/3$.

Последовательность построения геологической поверхности с помощью математической модели.

Пусть в вершинах триангуляционного треугольника (рис. 4.2 и 4.23) заданы координаты самих вершин, отметки поверхности, углы падения и азимуты падения:

вершина A : x_A, y_A, z_A, U_A, A_A ;

вершина B : x_B, y_B, z_B, U_B, A_B ;

вершина C : x_C, y_C, z_C, U_C, A_C .

Далее выполняется расчет для точек на гранях треугольника. Для этого строится кубический многочлен на стороне треугольника.

Для стороны AB :

$$z_{AB} = b_{1AB}r^3 + b_{2AB}r^2 + b_{3AB}r + b_{4AB},$$

$$r(x, y) = \sqrt{(x - x_A)^2 + (y - y_A)^2}, \quad \bar{r} = r/R_{AB}, \quad 0 \leq \bar{r} \leq 1,$$

$$R_{AB} = \sqrt{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2}.$$

Вычисляются коэффициенты кубического многочлена по формулам:

$$b_{1AB} = \frac{[tgU_B \cdot \cos(A_B - A_{AB}) + tgU_A \cdot \cos(A_A - A_{AB})]R_{AB} - 2(z_A - z_B)}{R_{AB}^3},$$

$$b_{2AB} = \frac{3(z_A - z_B) - R_{AB}[2tgU_B \cdot \cos(A_A - A_{AB}) + tgU_A \cdot \cos(A_B - A_{AB})]}{R_{AB}^2},$$

$$b_{3AB} = tgU_B \cdot \cos(A_B - A_{AB}),$$

$$b_{4AB} = z_B,$$

где A_{AB} - азимут стороны треугольника AB .

Аналогично (то есть по тем же формулам с использованием круговой замены индексов) находятся коэффициенты кубических многочленов для сторон BC и CA .

Расчет для внутренних точек треугольника осуществляется следующим образом. Пусть $N(x_N, y_N)$ – произвольная точка треугольника ABC . Точка P_B (рис. 4.23) определяется как точка пересечения стороны AC треугольника и прямой, проведенной через вершину B и точку N . Уравнения этих линий будут:

$$(x - x_N)(y_B - y_N) = (y - y_N)(x_B - x_N)$$

$$\text{и} \quad (x - x_C)(y_A - y_C) = (y - y_C)(x_A - x_C).$$

Решая эту систему, получим координаты точки P_B :

$$x_{P_B} = \frac{X_{BN}(x_A Y_{CA} - y_A X_{CA}) - X_{CA}(x_N Y_{BN} - y_N X_{BN})}{Y_{CA} X_{BN} - X_{CA} Y_{BN}},$$

$$y_{P_B} = \frac{Y_{BN}(x_A Y_{CA} - y_A X_{CA}) - Y_{CA}(x_N Y_{BN} - y_N X_{BN})}{Y_{CA} X_{BN} - X_{CA} Y_{BN}}.$$

Прописными символами обозначены разности координат соответственно:

$$X_{BN} = x_B - x_N, \quad Y_{BN} = y_B - y_N, \quad X_{CA} = x_C - x_A \quad \text{и} \quad Y_{CA} = y_C - y_A.$$

Если знаменатель $Y_{CA}X_{BN} - X_{CA}Y_{BN}$ обращается в ноль тогда точка N совпадает с вершиной B ($z_N = z_B$) и дальнейший расчет не ведется.

$$R_{CP_B} = \sqrt{(x_{P_B} - x_B)^2 + (y_{P_B} - y_B)^2}$$

Элементы падения слоя в точке P_B рассчитываются через значения на концах стороны треугольника обычным для линейной интерполяции образом:

$$H_{P_B} = H_C + (H_A - H_C) \frac{R_{CP_B}}{R_{CA}},$$

где в качестве H_A и H_C подставляются составляющие градиента поверхности по оси x : $\frac{\partial z}{\partial x} = -\cos A \cdot \operatorname{tg} U$ в вершинах A и C треугольника, а затем по оси y : $\frac{\partial z}{\partial y} = -\sin A \cdot \operatorname{tg} U$ [64, 65]. По вычисленным для точки P_B компонентам градиента находятся азимут и угол падения из соотношений

$$\operatorname{tg} A = \frac{\frac{\partial z}{\partial y}}{\frac{\partial z}{\partial x}} \quad \cos U = 1 / \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2 + 1},$$

после чего «задача сводится к предыдущей». На стороне BP_B строится кубический многочлен и вычисляется для точки N отметка z_N^B . Аналогично вычисляются отметки z_N^A и z_N^C , на отрезках выходящих из вершин A и C соответственно. За окончательное значение отметки принимается:

$$z_N = (z_N^A + z_N^B + z_N^C) / 3.$$

Приведем несколько простых примеров для демонстрации возможностей математической модели. Специально не будем рассматривать поверхности с большим количеством точек. Ограничимся, как и раньше, только точками для одного триангуляционного

треугольника. Пусть для наглядности во всех вершинах координата z и угол падения U одинаковые и равны соответственно нулю и 45 градусам. Различны только азимуты падения. Симплексом является равнобедренный прямоугольный треугольник. Координаты по осям x , y , и z отнормированы. Точка с координатами $x=0$ и $y=0$ находится в центре изображения. Ось x направлена налево, а ось y направо, как принято в горном деле. Отметим что «традиционная» триангуляция (то есть прямолинейная, с учетом только отметок) для всех четырех примеров построила бы просто горизонтальную плоскость.

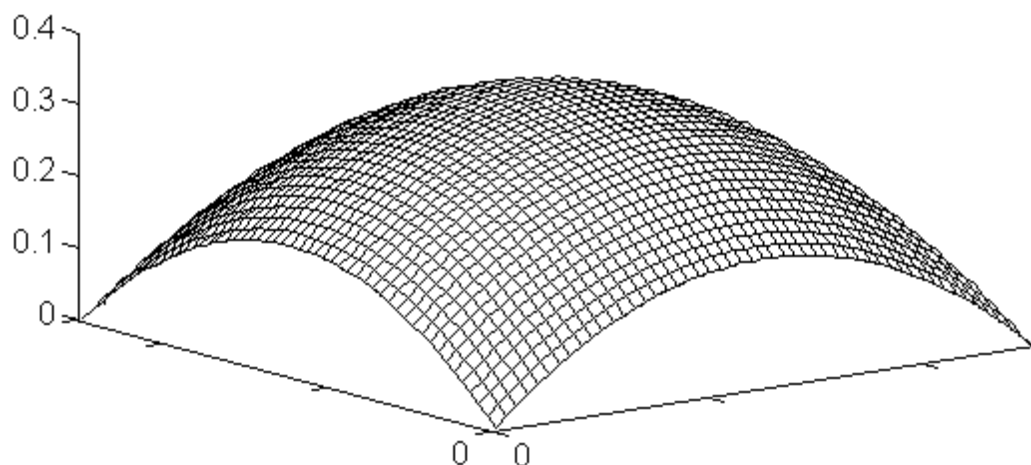


Рис. 4.24.

Азимуты в вершинах:

$x=0, y=0, A=225^\circ$; $x=1, y=0, A=315^\circ$; $x=0, y=1, A=135^\circ$;

Та же геологическая поверхность, что и на рис. 4.4.

Анализ результатов построения аксонометрии четырех геологических поверхностей (рис. 4.4 – 4.24, 4.13 – 4.25, 4.16 – 4.28, 4.17 – 4.29) и их планов в изолиниях (рис. 4.7 – 4.26, 4.15 – 4.27, 4.18 – 4.30, 4.19 – 4.31) позволяет сделать вывод, что вновь разработанная математическая модель построения геологической поверхности даст приемлемый результат по сравнению с полной математической моделью

(предыдущий раздел). Ошибка в вычислении высотных отметок незначительная. Основные закономерности в залегании угольного пласта (геологического слоя), что очень важно, сохраняются.

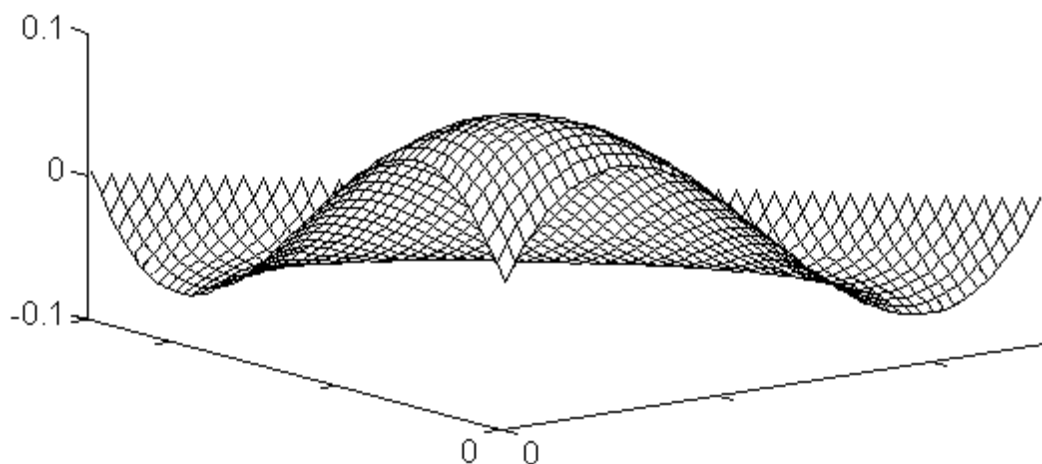


Рис. 4.25.

Азимуты в вершинах:

$x=0, y=0, A=225^\circ$; $x=1, y=0, A=225^\circ$; $x=0, y=1, A=225^\circ$;

Та же геологическая поверхность, что и на рис. 4.13.

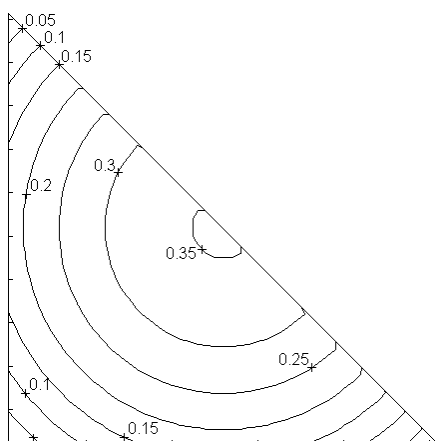


Рис. 4.26.

План поверхности (рис. 4.24)
в изолиниях (ср. с рис. 4.7).

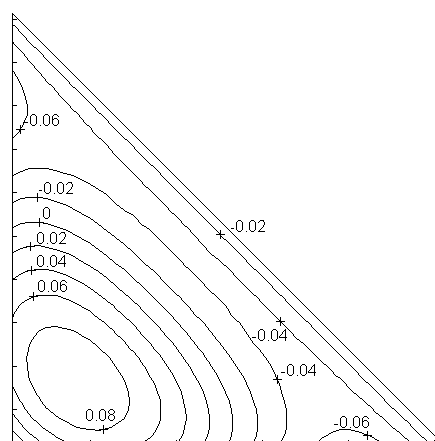


Рис. 4.27.

План поверхности (рис. 4.25)
в изолиниях (ср. с рис. 4.15).

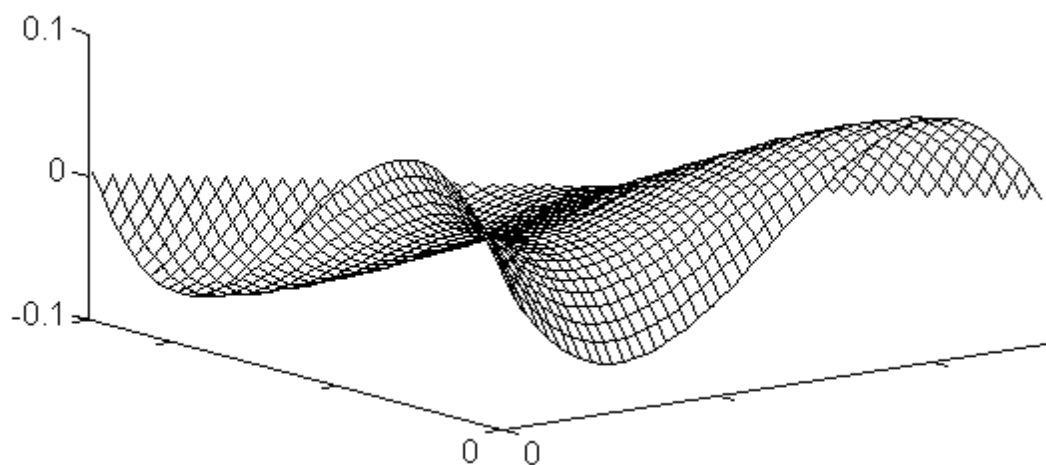


Рис. 4.28.

Азимуты в вершинах:

$x=0, y=0, A=135^\circ$; $x=1, y=0, A=225^\circ$; $x=0, y=1, A=45^\circ$;

Та же геологическая поверхность, что и на рис. 4.16.

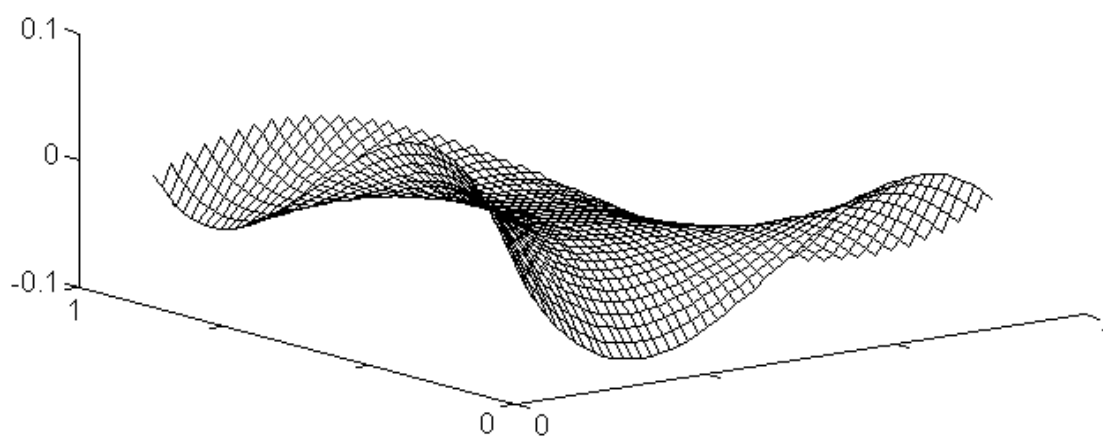


Рис. 4.29.

Азимуты в вершинах:

$x=0, y=0, A=135^\circ$; $x=1, y=0, A=247,5^\circ$; $x=0, y=1, A=22,5^\circ$;

Та же геологическая поверхность, что и на рис. 4.17.

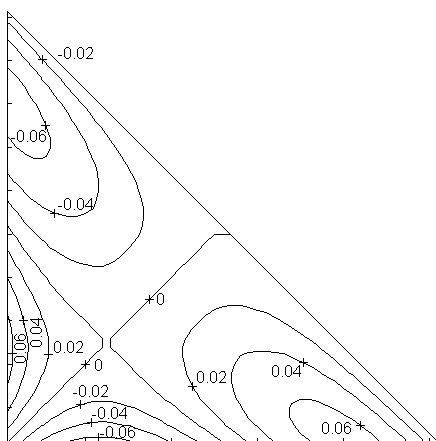


Рис. 4.30.

План поверхности (рис. 4.28)
в изолиниях (ср. с рис. 4.18).

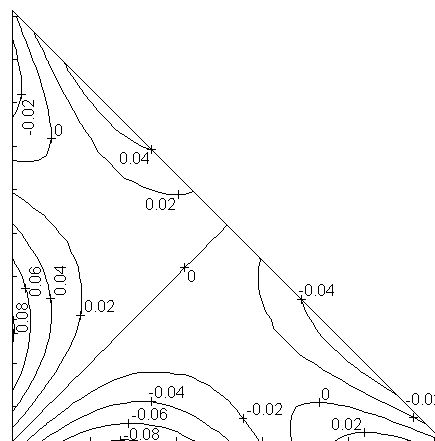


Рис. 4.31.

План поверхности (рис.4.29)
в изолиниях (ср. с рис. 4.19).

В заключении можно сделать некоторые выводы. Разработанная математическая модель построения геологической поверхности с учетом элементов залегания пласта (породного слоя) обеспечивает автоматическую «сшивку» элементарных поверхностей по всему полю триангуляционного симплексного комплекса. Реализованный на базе разработанной математической модели алгоритм получился простым, быстрым и не требовательным к вычислительным ресурсам.

Кроме этого, разработанная математическая модель позволяет на её базе без каких-либо серьезных доработок создать универсальный алгоритм, позволяющий учитывать в точках геологических наблюдений те свойства поверхности, которые измерены. То есть в одних точках кроме координат могут быть заданы элементы залегания слоя в других углы падения, а в остальных информация об элементах залегания геологического отложения будет отсутствовать.

Учет особенностей геологических поверхностей, представляемых в виде выклинивания, расщепления породного слоя или угольного пласта, характерных линий поверхности – бровок уступов, линий излома и т.д. в

математической модели производится на этапе построения симплексного комплекса. При выполнении триангуляции разработанная математическая модель выполняет построение треугольников таким образом, что их стороны не пересекают внешние и внутренние границы. При учете характерных линий (линий излома поверхности) построение симплексного комплекса начинается с назначения элементов этих линий в триангуляционные треугольники.

Таким образом, разработанная математическая модель отвечает всем ранее поставленным требованиям. Она позволяет строить геологические поверхности с учетом элементов залегания пласта (слоя). Является универсальной по полноте обрабатываемых свойств информационно-аналитической системы и учитывает все особенности присущие геологическим поверхностям.

Пример построения поверхности почвы пласта с помощью математической модели расчета геологической поверхности с учетом элементов залегания

Практическую апробацию разработанная математическая модель прошла на шахте Бельцевская ОАО Тулауголь. Поле шахта Бельцевской расположено в Веневском и Новомосковском районах Тульской области и в Серебряно-Прудском районе Московской области. Строительство шахты начато в 1975 г.

Поле шахты Бельцевская сложено нижнекаменноугольными, юрскими, меловыми и четвертичными образованиями. Промышленное значение имеет пласт II относительно выдержанный, залегающий в углисто-глинистом комплексе Бобриковского горизонта. В тектоническом отношении шахтное поле приурочено к северному склону Труфаново-Павелецкой зоны поднятий – структуры II-го порядка, осложняющей южное крыло Подмосковной синеклизы, являющейся тектонической

структурой I-го порядка, с общим наклоном кристаллического фундамента и напластований осадочного чехла в северо-северо-восточном направлении под углом 14 градуса. По сложности геологического строения шахтное поле относится ко 2-й группе.

Угли бурые, марки Б₂, характеризуются трудной и очень трудной обогатимостью. Потребители товарного угля шахты – тепловые электростанции Европейской части России. Промышленные запасы угля по чистым угольным пачкам и горной массе соответственно равны 62884 тыс. т и 70000 тыс. т и обеспечивают срок службы шахты с учетом развития и затухания добычи 32 года.

Сложность гидрогеологических условий месторождения определяется наличием в разрезе шахтного поля 6-ти водоносных горизонтов, из которых четыре залегают в кровле, а два в почве угольного пласта, высоких гидростатических напоров подугольных и надугольных водоносных горизонтов и мощными трещиноватыми известняками в надугольной толще.

Таким образом, разрабатываемый угольный пласт шахты Бельцевская имеет явную линзообразную морфологию. В нем часто встречаются явления расслоения и выклинивания. На пласте наблюдаются небольшие складки, локальная гипсометрия носит сложный характер. Следовательно, для практической проверки работоспособности разработанной математической модели построения геологической поверхности с учетом элементов залегания горно-геологические особенности шахты Бельцевская подходят идеально. Кроме того, детальное тестирование разработанной математической модели на угледобывающем предприятии представляла не только теоретический, но и практический интерес.

Практическая апробация математической модели заключалась в построении геологической поверхности подошвы разрабатываемого пласта

лавы № 6 по данным геологических наблюдений, произведенных в подготовительных выработках и в последующей сверке полученной геологической поверхности с произведенными наблюдениями пласта в забое лавы в ходе проведения очистных работ.

В 6-м Северо-восточном конвейерном и в 8-м Северо-восточном штреках шахты Бельцевская было произведено 36 геологических наблюдений за угольным пластом. Координаты точек подсечки подошвы пласта с углами и азимутами падения представлены в табл. 4.1.

Табл. 4.1.

Точки подсечки подошвы и элементы залегания пласта лавы № 6.

№ точки	X	Y	Z	U	A
12040	100223.4	10617.7	94.3	3	225
12041	100243.0	10641.7	94.5	3	180
12043	100272.5	10678.3	94.5	3	20
12045	100293.3	10703.9	95.0	4	45
12047	100319.1	10735.8	92.5	4	5
12049	100343.1	10765.3	90.8	3	315
12051	100366.3	10794.0	91.6	3	290
12054	100395.3	10829.8	94.2	4	270
12056	100414.8	10853.9	95.1	3	270
12058	100439.7	10884.5	94.8	2	290
12060	100466.4	10917.6	94.5	1	300
12062	100492.9	10950.2	94.7	4	10
12064	100514.0	10976.2	94.1	4	355
12065	100533.8	11000.7	93.9	4	345
12067	100554.9	11026.7	93.4	4	320
12070	100577.6	11054.7	94.4	4	290

Продолжение табл. 4.1.

№ точки	X	Y	Z	U	A
12073	100601.2	11083.8	99.4	5	135
12077	100625.1	11113.4	95.2	4	0
12080	100644.6	11137.4	94.1	4	15
12084	100673.6	11173.2	94.8	3	330
12001	100359.3	10609.1	94.5	5	45
12004	100411.6	10673.6	90.8	3	90
12006	100439.9	10708.5	89.8	2	160
12008	100511.0	10796.3	91.2	2	310
12010	100533.7	10824.3	89.8	3	315
12011	100555.7	10851.5	90.8	3	270
12012	100591.0	10895.0	92.8	3	80
12014	100629.4	10942.4	91.0	4	130
12014	100629.4	10942.4	91	4	130
12018	100673.4	10996.8	92.2	4	210
12020	100696.1	11024.8	95.8	5	315
12023	100723.2	11058.2	92.7	4	345
12025	100745.8	11086.2	90.7	4	330
12028	100769.1	11114.9	91.9	2	315
12030	100793.7	11145.2	91.1	4	300
12036	100812.6	11168.5	92.3	4	280

На основе массива точек с помощью триангуляции Делоне построен симплексный комплекс (рис 4.32). Далее было выполнено построение геологических поверхностей почвы пласта прямолинейной триангуляцией (рис. 4.33) и разработанной математической моделью, учитывающей элементы залегания пласта (рис. 4.34). Разница между полученными

геологическими поверхностями подошвы угольного пласта существенна и отчетливо видна рис. 4.33 (4.35) и 4.34 (4.36).

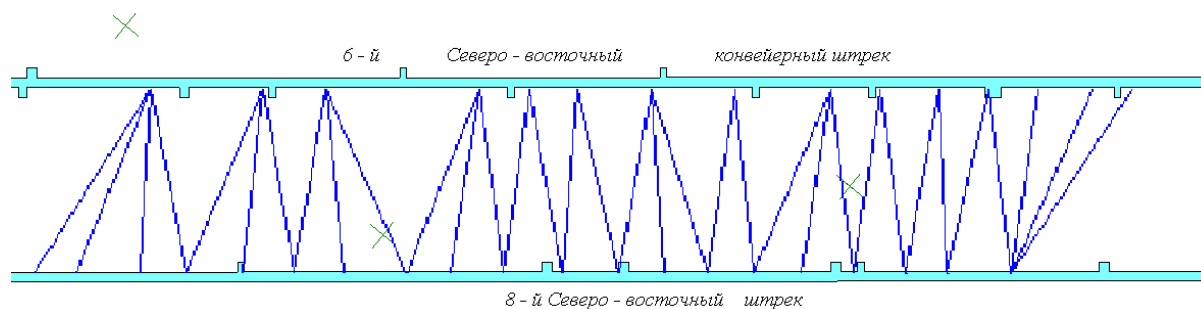


Рис. 4.32.

Триангуляционный симплексный комплекс лавы № 6.

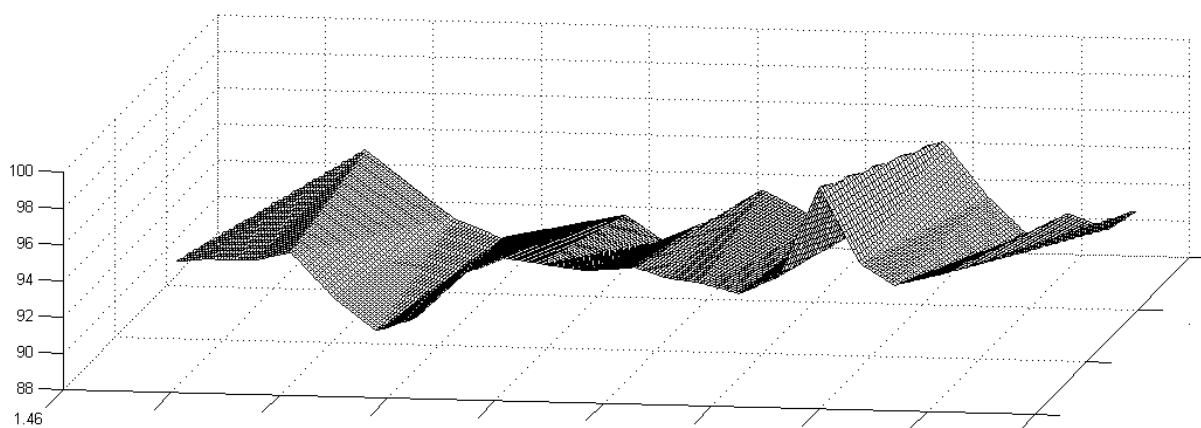


Рис. 4.33.

Прямолинейная триангуляция поверхности почвы пласта лавы № 6 ш.

Бельцевская (вертикальный масштаб увеличен).

Более детальный анализ полученных поверхностей проще произвести по их планам в изогипсах уровней почвы разрабатываемого угольного пласта. Легко видеть, что морфология полученных поверхностей существенно разнится. Так, с помощью математической модели построения геологической поверхности, позволяющей учитывать элементы залегания слоя в лаве, выявлены два локальных минимума и

один максимум моделируемой поверхности. Этот максимум расположен на складке пласта. Прямолинейная триангуляция позволила выявить только наличие складки пласта в лаве. Но амплитуда её была предсказана неверно.

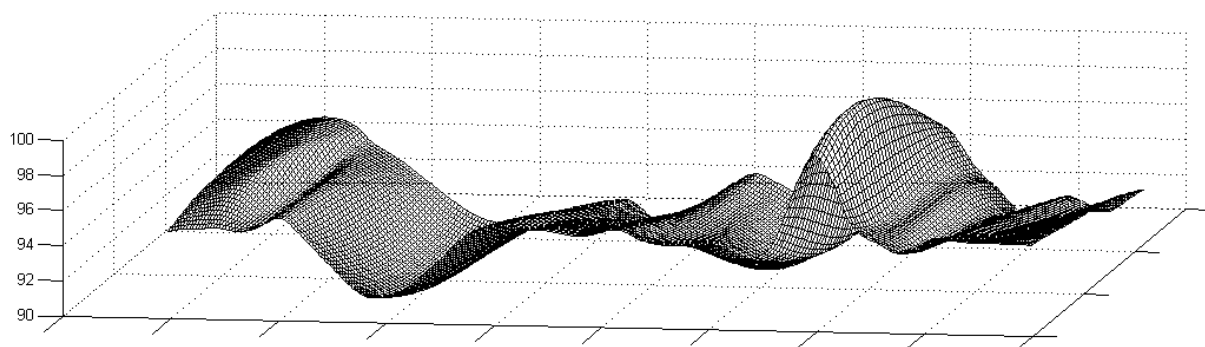


Рис. 4.34.

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



Рис. 4.35.

План в изолиниях геологической поверхности почвы пласта лавы № 6 ш.
Бельцевская, полученной на основе прямолинейной триангуляции.

При выполнении триангуляции почти все треугольники симплексного комплекса получились вытянутые поперек лавы (рис. 4.32). Это свидетельствует о неравномерности размещения точек геологических наблюдений в пространстве. Такая особенность объясняется предметной

спецификой задачи, связанной с построением геологической поверхности очистных выработок (в горном массиве невозможно произвести наблюдение).

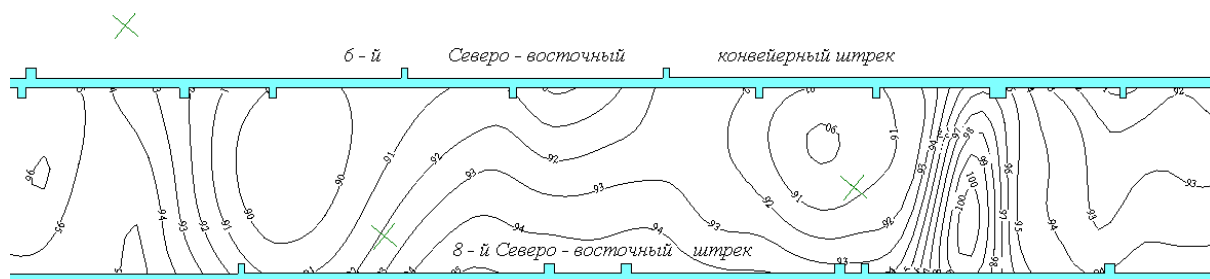


Рис. 4.36.

План в изолиниях геологической поверхности почвы пласта лавы № 6 ш. Бельцевская, полученной на основе прямолинейной триангуляции.

Общеизвестно, что использование в прямолинейной триангуляции «вытянутых» треугольников значительно снижает качество получаемой поверхности. Это обстоятельство еще раз показывает преимущество математической модели, использующей метод нелинейной триангуляции. Особенно это относится к случаю построения геологической поверхности подошвы (кровли) угольных пластов и породных слоев в лавах на угольных шахтах.

Математическая модель численного сравнения геологических поверхностей

При геометризации месторождений часто возникает вопрос оценки близости смоделируемой и действительной поверхностей или ранжировки моделей между собой. Кроме того, 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 ошибкой метода модели, или вызваны

ошибочностью модели. На сегодняшний день эти оценки, в основном, лежат в плоскости категорий качества: лучше, хуже, близка, адекватна и так далее. Следовательно, необходимо разработать количественные оценки, с помощью которых можно сравнить две геологические поверхности между собой.

Рассмотрим две поверхности топографического порядка D и H [75]. Введем понятие близости поверхностей между собой 1-го порядка, определяемое суммой квадратов разности значений отметок поверхностей, отнесенной к площади и выражаемое формулой:

$$M = \frac{\iint_Q (z_D - z_H)^2 dx dy}{\iint_Q dx dy} = \frac{\iint_Q (z_D - z_H)^2 dx dy}{S}.$$

Очевидно, в дискретном пространстве мерой близости первого порядка двух поверхностей будет математическое ожидание отклонений этих поверхностей по замерам в нескольких точках:

$$M = \frac{\sum_1^N (z_D^i - z_H^i)}{N}. \quad (4.3)$$

Вычислим среднюю ошибку, которую мы можем допустить при замене криволинейной геологической поверхности (D) плоскостью (H). Ниже приведены (табл. 4.2) значения введенных оценок для построенных ранее по отметкам и элементам залегания нелинейных поверхностей.

При попытке оценить близость поверхностей по элементам их залегания мы сталкиваемся с векторными полями. То есть, скорость изменения поверхности в рассматриваемой точке определяется градиентом, который является векторной величиной. Соответственно ставится вопрос, как сравнить два векторных поля. Ниже на рисунках показаны векторные поля градиентов поверхностей.

Сравнение геологической поверхности с плоскостью.

Поверхность	Средняя ошибка в отметке при замене поверхности на плоскость (M)	Средняя ошибка в определении отметки относительно максимального отклонения	Мера близости поверхности к плоскости по элементам залегания слоя (M_2)
Рис. 4.24	0,236	59%	0,832
Рис. 4.25	0,040	40%	1,084
Рис. 4.28	0,030	30%	1,296
Рис. 4.29	0,021	21%	1,478

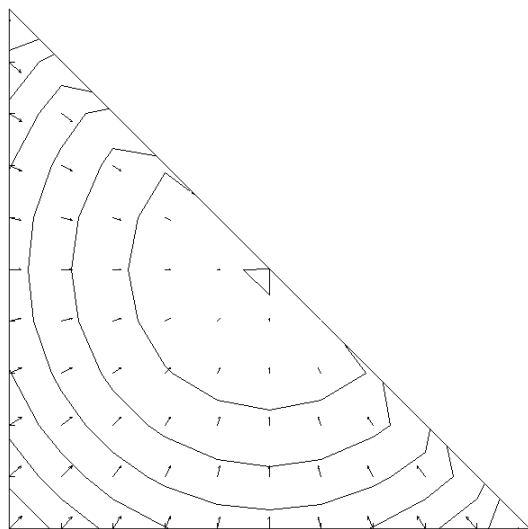


Рис. 4.37.

Поле градиента
поверхности (рис. 4.24).

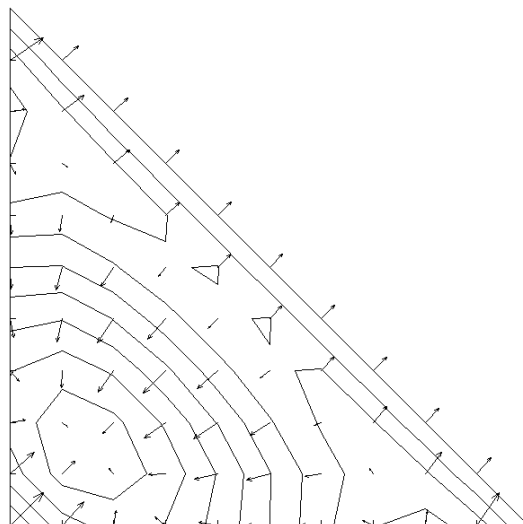


Рис. 4.38.

Поле градиента
поверхности (рис. 4.25).

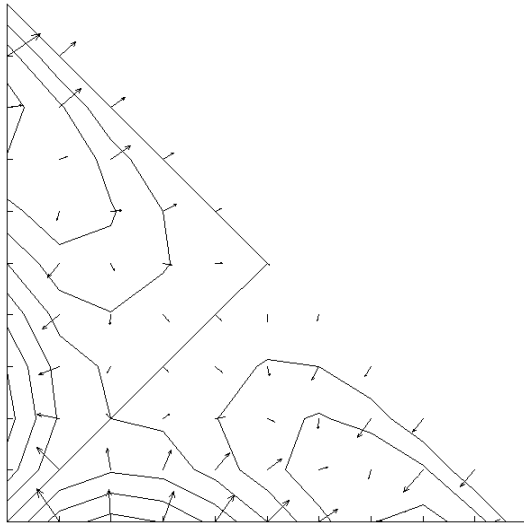


Рис. 4.39.

Поле градиента
поверхности (рис. 4.28).

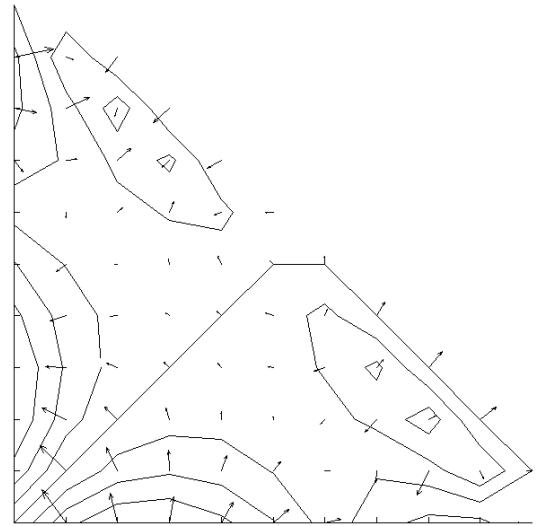


Рис. 4.40.

Поле градиента
поверхности (рис. 4.29).

Учитывая, что операции производятся над векторами, формулу, определяющую меру близости поверхностей второго порядка, можно записать в виде:

$$M_2 = \frac{\iint_Q (\nabla z_D - \nabla z_H)^2 dx dy}{\iint_Q dx dy} = \frac{\iint_Q (\nabla z_D - \nabla z_H)^2 dx dy}{S}$$

Если использовать скалярные значения, то M_2 можно определить через ее компоненты вдоль осей x и y $M_2 = \{M_{2x}, M_{2y}\}$, где:

$$M_{2x} = \frac{\iint_Q (\nabla z_{Dx} - \nabla z_{Hx})^2 dx dy}{S} \quad M_{2y} = \frac{\iint_Q (\nabla z_{Dy} - \nabla z_{Hy})^2 dx dy}{S}$$

При использовании дискретного аналога проще оперировать со скалярными величинами. Для конечного числа значений меру 2-го порядка, оценивающую близость двух поверхностей, можно записать в виде:

$$M_{2x} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} \left(\frac{\partial z_{Dj}}{\partial x} - \frac{\partial z_{Hj}}{\partial x} \right)^2}{n} \quad \text{и} \quad M_{2y} = \frac{\sum_{j=1}^{j=n} \left(\frac{\partial z_{Dj}}{\partial y} - \frac{\partial z_{Hj}}{\partial y} \right)^2}{n}.$$

Следуя приведенным рассуждениям аналогично определяются меры i -го порядка, оценивающие близость поверхностей. Что скорее относится к теоретическим вопросам математики и не представляет практического интереса в горном деле. Поэтому рассматривать их мы не будем.

Совместный анализ табл. 4.2 и рис. 4.24 - 4.29, позволяет сделать некоторые заключения.

Во-первых, загроблений геологической поверхности плоскостью вводит ошибку в определении отметок.

Во-вторых, элементы залегания слоя вообще не определяются.

В-третьих, предложенные оценки можно использовать при сравнении математических моделей построения геологических поверхностей между собой и оценки их адекватности природным геологическим поверхностям с использованием вновь появляющихся данных геологических наблюдений.

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

Оценка математической модели построения геологической поверхности на примере поверхности почвы пласта лавы № шахты Бельцевская

Как уже отмечалось, практическая апробация работоспособности математической модели построения геологической поверхности с учетом элементов залегания слоя производилась на шахте Бельцевская. По данным геологических наблюдений, произведенным в подготовительных

выработках (6-й Северо-восточный конвейерный и 8-й Северо-восточный штреки), были построены геологические поверхности (прямолинейная триангуляция и нелинейная триангуляция).

В ходе проведения очистных работ согласно геологической инструкции по документированию очистных выработок [113, 114] производились геологические наблюдения «груди» забоя. При проведении этих наблюдений определялись координаты точек подошвы разрабатываемого угольного пласта. Эти данные позволили провести проверку адекватности полученных геологических поверхностей и вычислить меру близости смоделируемых поверхностей к фактически наблюдаемой поверхности подошвы пласта. Кроме этого, смоделируемые поверхности были сравнены между собой.

Первичные геологические наблюдения представлены в виде трех зарисовок «груди» забоя лавы № 6 шахты Бельцевская (рис. 4.41 - 4.43). Линии геологических наблюдений привязывались к пикетам 6-го и 8-го Северо-восточный штреков с точностью до 1 см. Расстояния вдоль забоя определялись тесненной рулеткой. Вертикальные углы (для вычисления аппликат подошвы пласта) измерялись с помощью ручной буссоли. Учет искривления фронта очистных работ в плане не производился. Средняя ошибка в определении координат замеренных точек подошвы угольного пласта была 10 – 18 см. На основании описанных данных были вычислены ошибки при определении отметок построенных геологических поверхностей по сравнению с наблюдаемой поверхностью почвы разрабатываемого угольного пласта (рис. 4.44).

Анализ показал (рис. 4.44), что геологическая поверхность, построенная на основе метода прямолинейной триангуляции, содержит значительную ошибку. Эта ошибка в середине лавы превышает значение 0,5 м, что недопустимо для проекта очистных работ. Кроме того, она зависит от расстояния до штрека. Другими словами, чем ближе к середине

лавы, тем близость построенной поверхности к почве угольного пласта меньше.

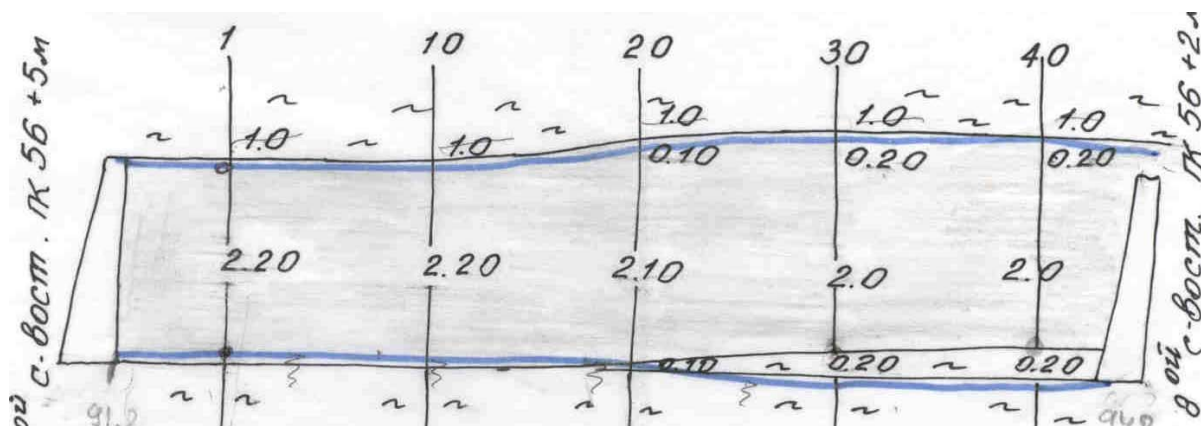


Рис. 4.41.

Зарисовка забоя лавы № 6 по линии пикетов ПК 56.

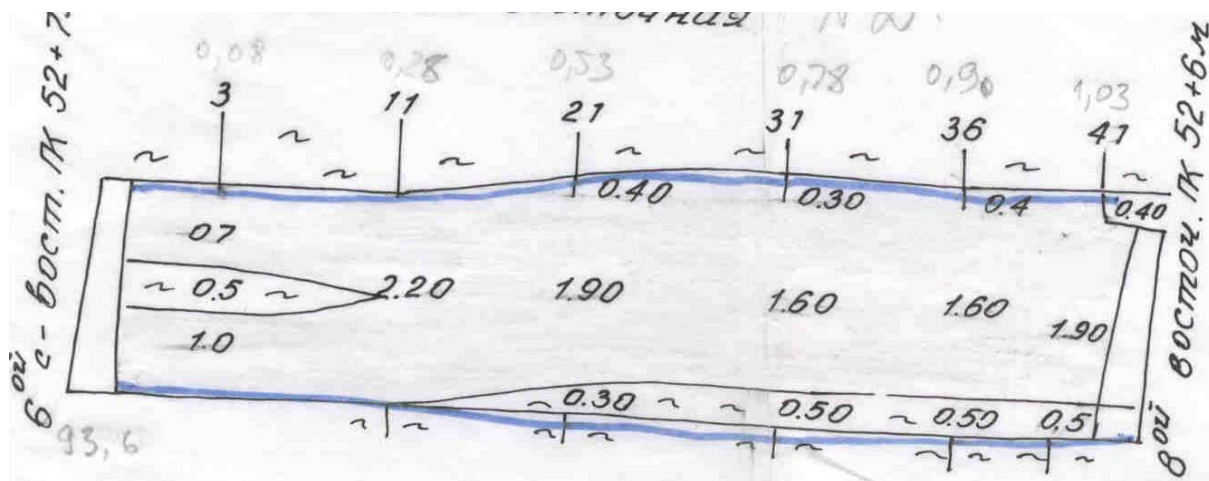


Рис. 4.42.

Зарисовка забоя лавы № 6 по линии пикетов ПК 52.

Выявлено, что разброс (дисперсия) ошибки в определении отметки подошвы пласта так же возрастает с удалением вглубь лавы от штрека (рис. 4.44). Общая оценка близости геологической поверхности, полученной методом прямолинейной триангуляции, к поверхности почвы угольного пласта вычислена по формуле (4.3) и составила – $M_1 = 0,51$.

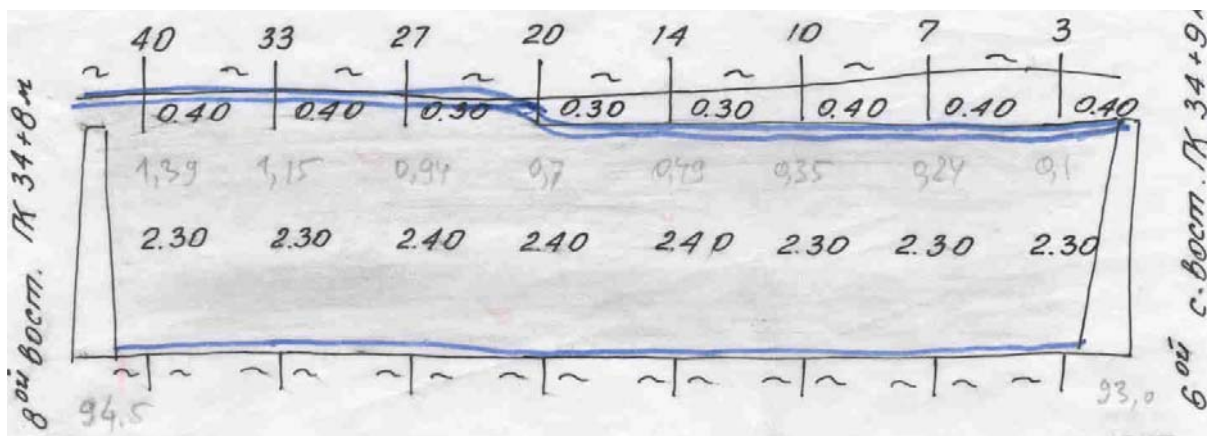


Рис. 4.43.

Зарисовка забоя лавы № 6 по линии пикетов ПК 34.

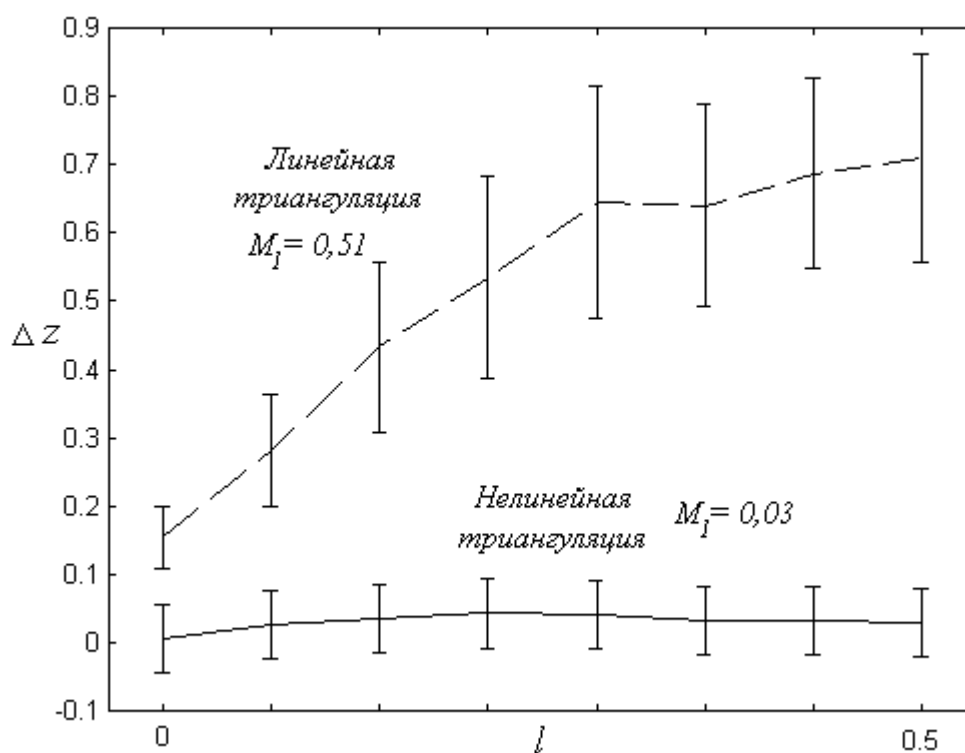


Рис. 4.44.

Средние ошибки и их разброс в определении высотной отметки почвы пласта с помощью геологических поверхностей, полученных на основе прямолинейной и нелинейной триангуляции в зависимости от расстояния до штрека.

Ошибка в определении отметки подошвы пласта, полученной с помощью разработанной математической модели геологической поверхности на основе метода нелинейной триангуляции, незначительная

и лежит в пределах точности проведения геологических наблюдений (10-18 см). Кроме того, зависимость ошибки в определении высотной отметки от расстояния до штрека не обнаружена. Так же не обнаружена аналогичная зависимость разброса (дисперсия) этой ошибки в определении отметки подошвы пласта в зависимости от расстояния до штрека. Оценка близости геологической поверхности, полученной с помощью разработанной математической модели, к поверхности почвы угольного пласта составила – $M_1 = 0,03$.

Замеры элементов залегания пласта (угол и азимут падения) в забое лавы не проводились. На графиках (рис. 4.45) приведены оценки близости смоделируемых геологических поверхностей между собой вдоль линии забоя лавы.

Таким образом, разработанная математическая модель построения геологической поверхности с учетом элементов залегания пласта (порodного слоя) позволяет моделировать поверхности пластов, породных слоев с большей точностью, чем традиционные математические модели. Зависимость в ошибке определения отметки поверхности при удалении от исходной точки в ней меньше, чем в математической модели, основанной на методе прямолинейной триангуляции. Для получения сопоставимых между собой геологических поверхностей разработанная математическая модель требует значительно меньше исходных данных, чем математическая модель, основанная на прямолинейной триангуляции.

Полученная математическая модель является универсальной (учитывает в точках геологических наблюдений те свойства поверхности, которые измерены), позволяет обрабатывать особенности геологических поверхностей (внешние, внутренние границы, линий излома поверхности). Программная реализация математической модели не требовательна к вычислительным ресурсам, проста и быстра.

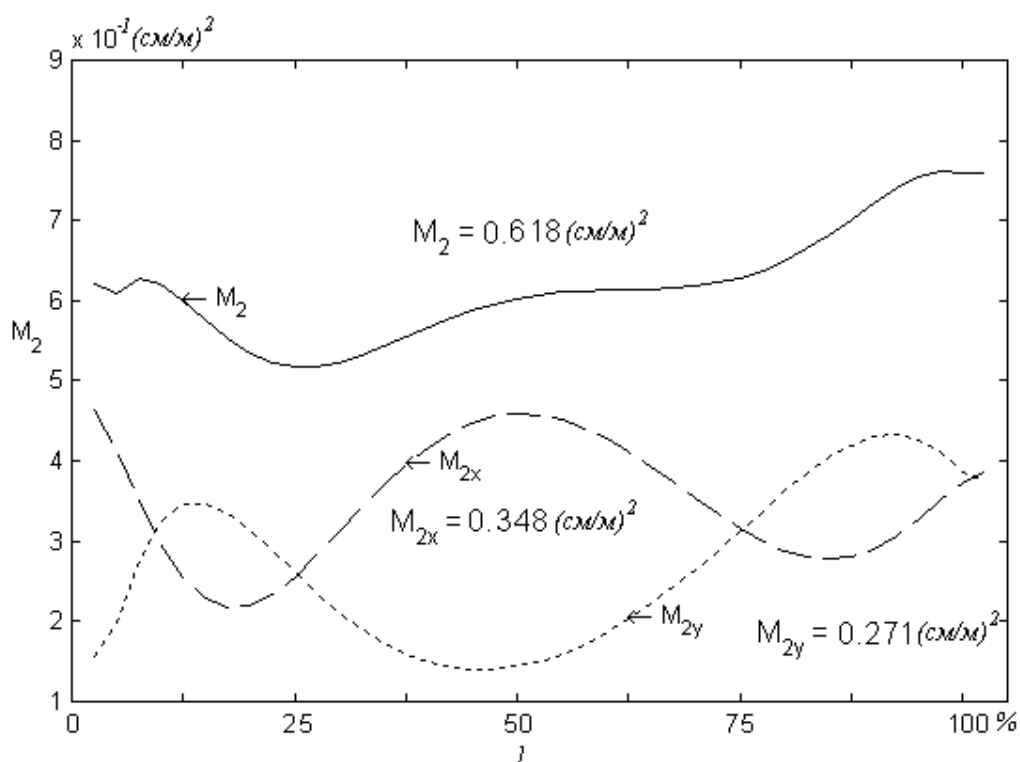


Рис. 4.45.

Оценки близости второго порядка построенных геологических поверхностей (прямолинейная и нелинейная триангуляции) между собой.

Моделирование полей геологических показателей фрактальными поверхностями

Одна из основных задач геологии заключается в том, чтоб по данным наблюдений и измерений определить пространственные закономерности месторождения. При геометризации недр профессор П. К. Соболевский предложил использовать топографическую поверхность [123, 124]. Топографическая поверхность обладает четырьмя условиями: конечности, однозначности, непрерывности и плавности. Исследованию топографической поверхности посвящено большое число научных работ.

В литературе рассмотрение топографических поверхностей включает в себя статистическую обработку данных наблюдений, так называемое сглаживание данных. Для этой цели используют понятие статистического окна. С его помощью можно построить гладкую топографическую

поверхность и определить общие пространственные закономерности размещения геологического показателя месторождения. Однако в ходе обработки первичной информации данные усредняются [178]. Полученная топографическая поверхность содержит ошибку метода. Так, даже в точках измерения, значения топографической поверхности не будут совпадать с данными наблюдений.

Для представления геологических показателей качества угля топографической поверхностью без погрешности обработки используют триангуляцию на хаотической сетке. В случае, когда сетка неравномерна (размеры симплексов существенно разнятся) наблюдается явление, противоречащее здравому смыслу. Так, в местах, где произведена детальная разведка, наблюдается хаотическая картина пространственного изменения показателя. А в местах, где данных не достаточно, геологический показатель меняется плавно и монотонно. (В некоторых геологических задачах математическая модель представления показателей качества угля чаще всего используется как промежуточный результат.)

В предыдущих главах на основании проведенного анализа математических моделей представления показателей качества угля были сформулированы задачи по разработке такой модели с учетом координат точек геологических наблюдений, значений показателя качества угля и ошибки его измерения. Рассмотрим вопросы создания такой математической модели на примере для пластов с ограниченной мощностью. Главным условием для вновь разрабатываемой математической модели является условие, чтобы получаемые результаты позволяли учесть природные особенности распределения физико-химических свойств полезного ископаемого. Одно из таких условий это отсутствие гладкости поверхности, представляющей распределение показателей качества угля. Согласно определению топографическая поверхность является гладкой, поэтому следует либо отказаться от использования топографической поверхности при представлении

распределения показателей качества угля, либо выйти за рамки классического определения топографической поверхности.

Всеми необходимыми условиями для представления пространственного распределения показателей угля обладают фрактальные поверхности. Они обладают всеми свойствами топографической поверхности за исключением гладкости.

Построение фрактальной поверхности будем производить на основе броуновского движения. Рассмотрим Гауссовский процесс $Z(x, y)$, описывающий двумерное броуновское движение, и обладающий следующими свойствами. Функция $Z(x, y)$ почти всюду непрерывна и $Z(0, 0) = 0$. Случайная величина $\Delta Z = Z(x + \Delta x, y + \Delta y) - Z(x, y)$ распределена по закону Гаусса с математическим ожиданием 0 и дисперсией $\sigma^2 \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$. Однако, в геологии пространственные поля признаков обладают определенными закономерностями. Для реализации этих закономерностей необходимо, чтобы случайный процесс обладал бы некоторой памятью. Для таких целей можно использовать процессы фрактального броуновского движения [193].

Двумерное фрактальное броуновское движение удобно определить с помощью параметра H , $0 < H < 1$. Тогда закон распределения случайной величины ΔZ имеет вид:

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

Получаемая броуновская поверхность имеет размерность $d = 3 - H$. Так при $H = 1/2$ приходим к классическому двумерному броуновскому движению.

Для вычисления фрактальной броуновской поверхности лучше всего воспользоваться методом срединного смещения. Особенности реализации

срединного смещения на хаотической сетке проиллюстрированы на рис. 4.46.

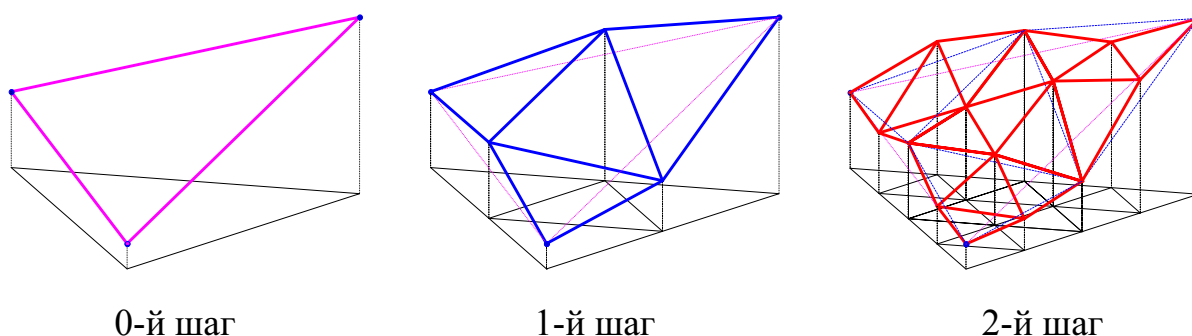


Рис. 4.46.

Реализация срединного смещения на хаотической сетке.

Точка срединного смещения определяется как середина триангуляционного треугольника. Аппликата на k -шаге вычисляется как среднее значение аппликата двух соседних точек, увеличенное на величину,

определяемую выражением $\frac{\sigma g \sqrt{1 - 2^{2H-2}}}{2^{kH}}$. Здесь g - нормальная случайная величина с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1.

На рис. 4.47 - 4.50 приведены примеры работы математической модели построения пространственного распределения показателей качества угля для пластов небольшой мощности (когда распределением качества в толще пласта можно пренебречь) на основе фрактальных поверхностей. Необходимым условием при построении фрактальной поверхности является прохождение построенных поверхностей через заданные (на рисунках выделены) точки. Все результаты (рис. 4.47 - 4.50) получены за четыре итерации. Суть параметра H - дробная размерность поверхности. Она характеризует степень изменчивости (невыдержанности) рассматриваемого компонента и определяется из физических предпосылок. Для каждого показателя качества значения дробной размерности H различны.

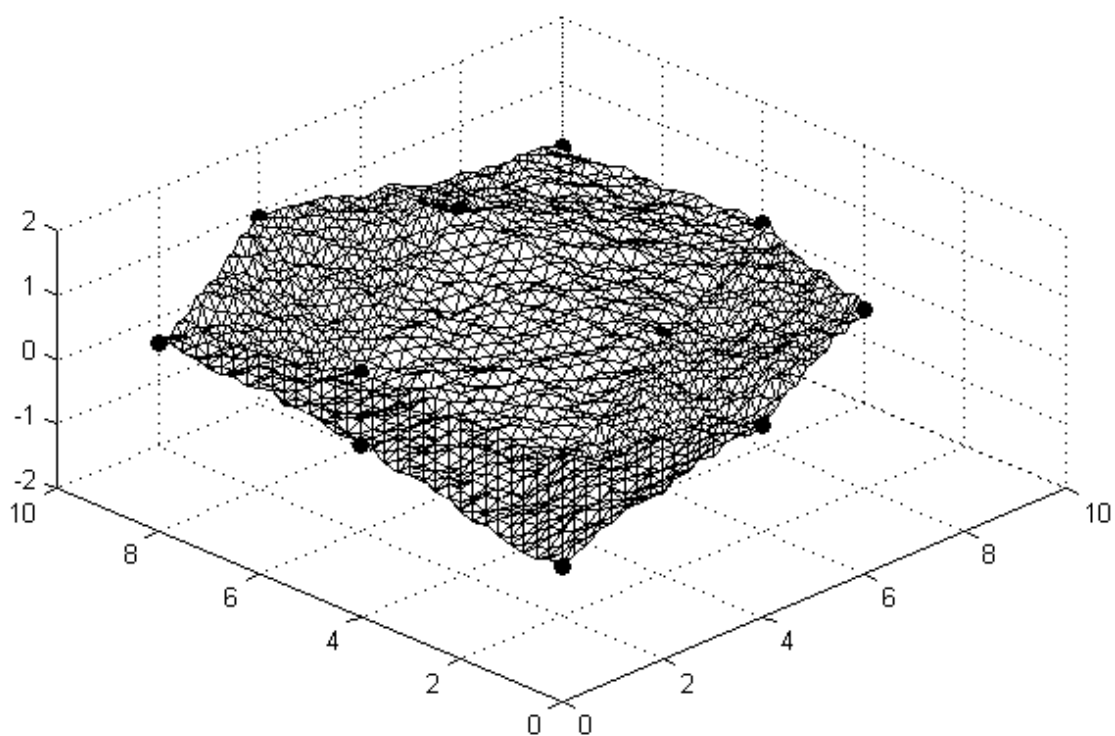


Рис. 4.47.

Фрактальная поверхность с дробной размерностью $H = 0,02$ и $\sigma = 0,2$.

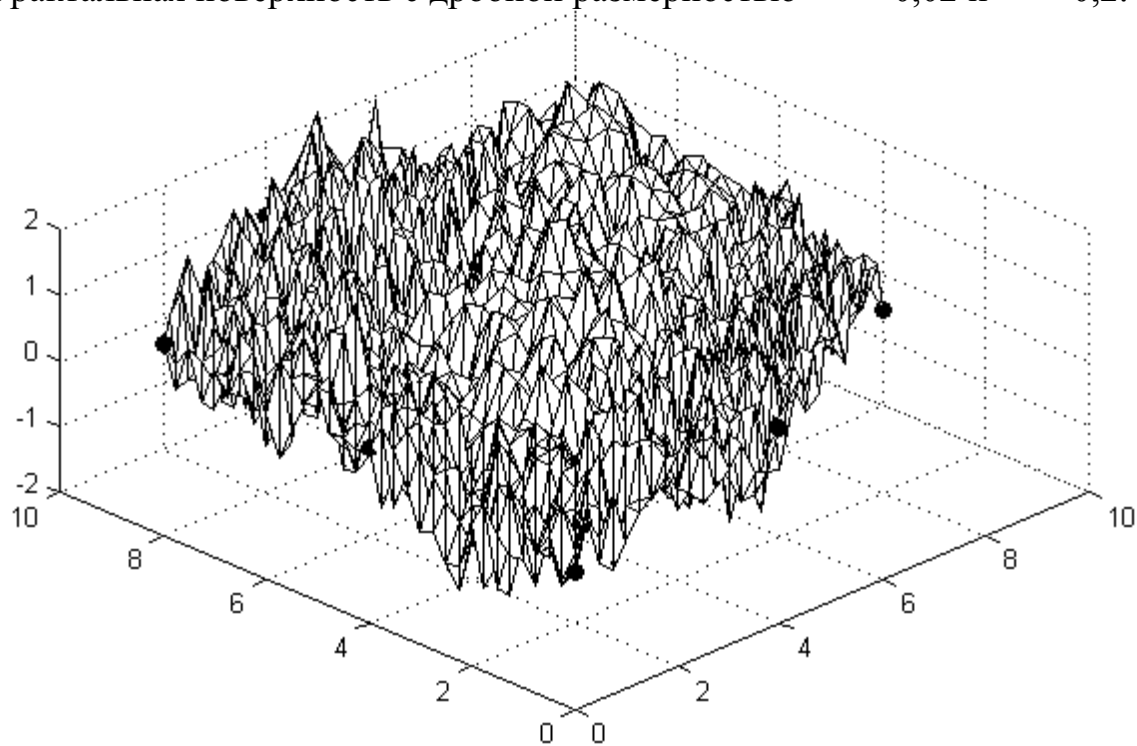


Рис. 4.48.

Фрактальная поверхность с дробной размерностью $H = 0,02$ и $\sigma = 1,4$.

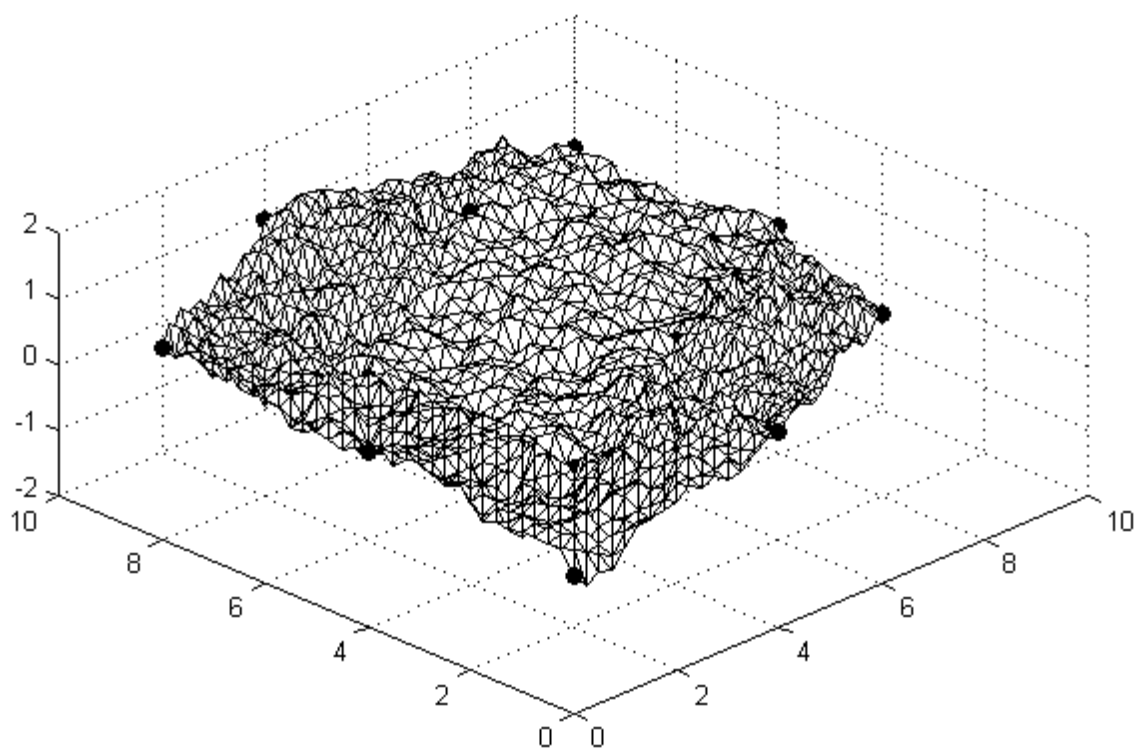


Рис. 4.49.

Фрактальная поверхность с дробной размерностью $H = 1,2$ и $\sigma = 0,6$.

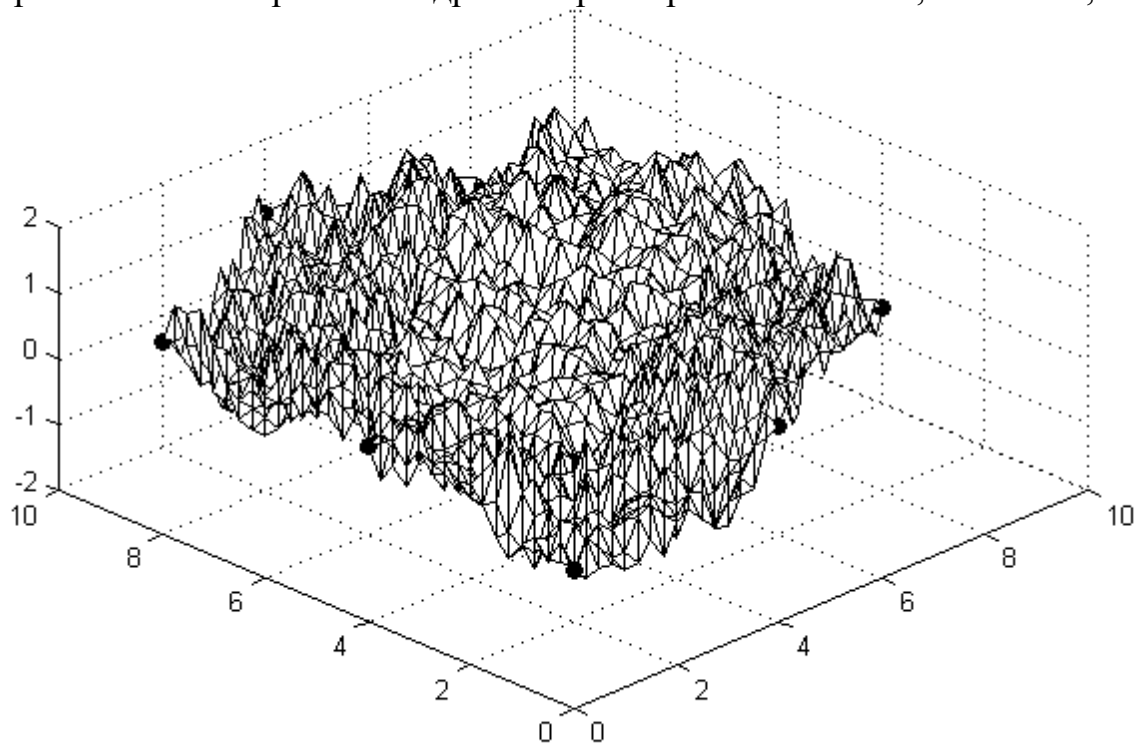


Рис. 4.50.

Фрактальная поверхность с дробной размерностью $H = 1,2$ и $\sigma = 1,4$.

С помощью разработанной математической модели определялись оценки качества углей пласта 29^а шахты Антоновской. На рис. 4.51 приведен пример построения поверхности определяющей показатель качества - пластометрическую усадку.

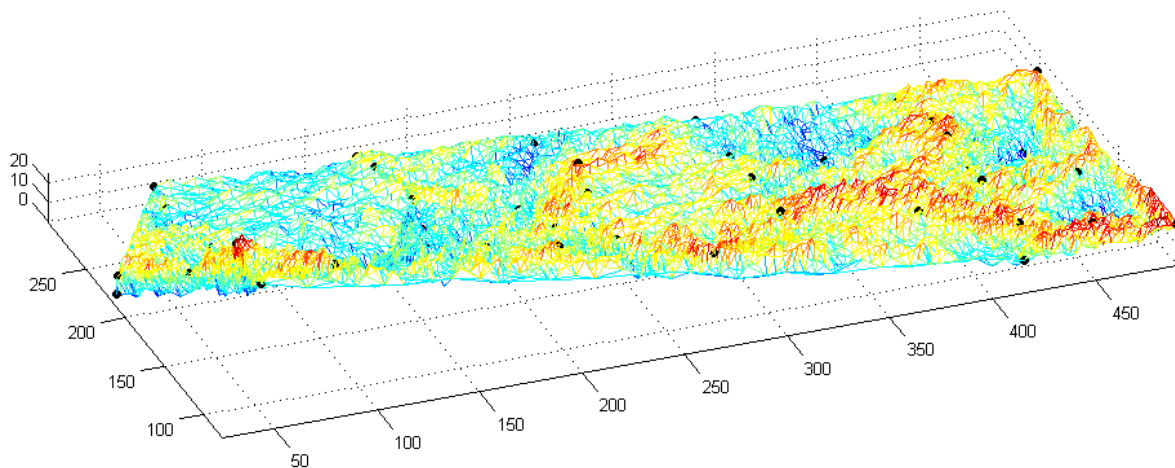


Рис. 4.51.

Смоделированная поверхность распределения пластометрической усадки пласта 29^а шахтного поля Антоновская (южная часть).

Для пространственного представления показателей качества, зависящих от трех координат x , y и z , необходимо изменить базовый симплекс. На плоскости (в пространстве с размерностью 2) базовый симплекс - треугольник, в трехмерном пространстве это тетраэдр. В этом случае необходимо перейти от двумерного к трехмерному фрактальному броуновскому движению. Закон распределения случайной величины ΔR примет вид:

$$P(\Delta R < s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma(\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2)^{2H}}} \int_{-\infty}^s \exp\left(-\frac{u^2}{2\sigma^2(\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2)^{2H}}\right) du.$$

В этом случае метод срединного смещения несколько усложняется и требует выполнения трехмерной триангуляции. На рис. 4.52 показано особенность реализации метода срединного смещения в трехмерном пространстве.

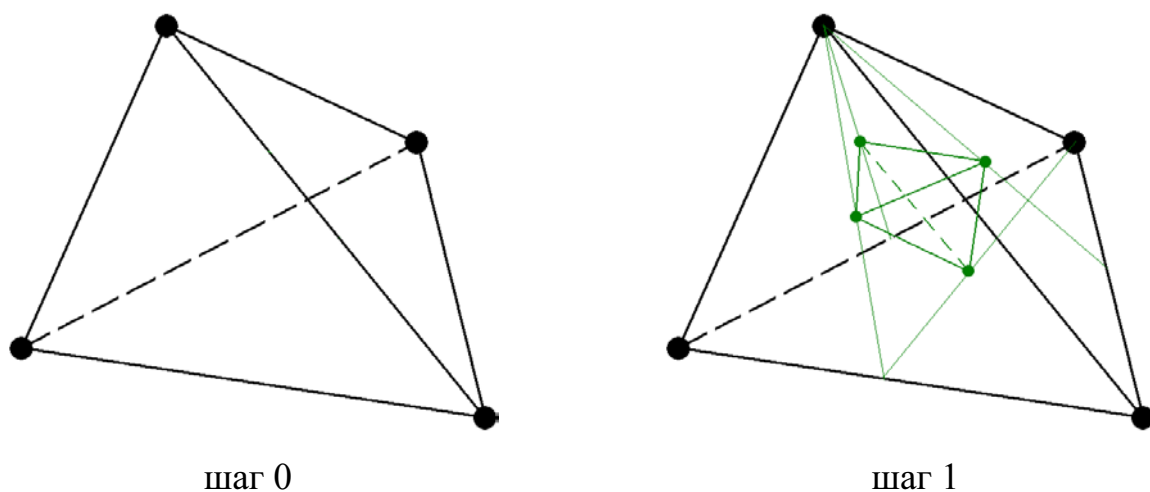


Рис. 4.52.

Метод срединного смещения в трехмерном пространстве на хаотической сетке.

Результат работы математической модели представляющей распределение показателей качества в трехмерном пространстве представлен на рис. 4.53. Из-за ограниченности размерности пространства значения показателя качества показаны размерами маркеров.

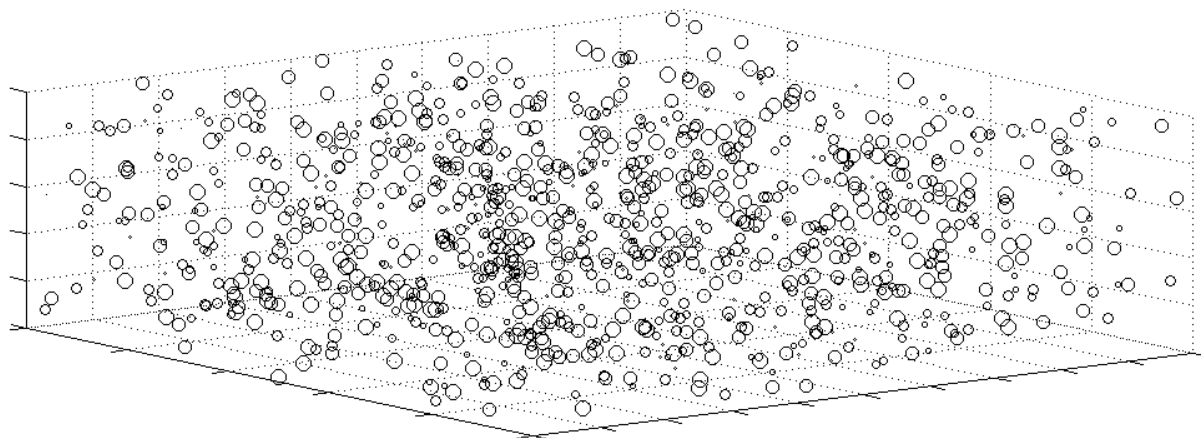


Рис. 4.53.

Пространственное фрактальное распределение показателя качества в массиве с дробной размерностью $H = 1,2$ и $\sigma = 0,6$.

Следует отметить некоторую особенность, связанную с выполнением срединного смещения. Она заключается в порядке выполнения

фрагментации элементарных симплексов. Если, срединное смещение выполняется сразу для всей триангуляционной сети (2-х или 3-х мерной), то элементарные симплексы будут детализироваться в разной степени, более мелкие быстрее, чем более крупные. При выполнении нескольких итераций негативный эффект кумулятивно нарастает. Это связано с тем, что интегральное свойство симплекса (площадь, объем) пропорционально квадрату или кубу его образующей. Для устранения этого явления в математической модели предусмотрено определение вначале наибольшего по площади (объему) симплекса для которого и выполняется операция срединного смещения. То есть, фрагментируется всегда наибольший элементарный симплекс. Таким образом, достигается построение более естественной равномерной фрактальной геометрической фигуры соответствующей размерности, представляющей распределения физико-химических свойств полезного ископаемого.

Математическая модель построения геологической толщи шахтного поля

При проектировании очистных работ необходимо для технологических и производственных расчетов знать морфологию выше и ниже лежащих относительно разрабатываемого угольного пласта геологических отложений. На сегодняшний день построение модели геологической толщи месторождения представляет собой процесс последовательного приближения прогнозных представлений о формах и условиях залегания тел полезных ископаемых, качестве сырья и горнотехнических условий к реальным. В общем случае модель геологической толщи шахтного поля (месторождения) содержит:

- список слоев геологической толщи месторождений;
- координаты точек подсечек;
- взаимную увязку слоев между собой по точкам геологических наблюдений;

- границы выклинивания и расщепления литологических отложений.

Длительность образования угленосных формаций определяла смену пород в областях угленакопления, обуславливая горизонтальную и вертикальную зональность - пространственную изменчивость гранулометрического и вещественного состава пород, характера и степени угленасыщенности по площади и в разрезе. Вмещающие уголь породы преимущественно представлены пластами и линзообразными залежами песчаных, песчано-глинистых и глинистых пород, реже горизонтами (отражающими перерыв или смену фациальных условий осадконакопления) грубообломочных разностей - галечников, конгломератов и брекчий. Некоторые угленосные формации содержат карбонатные и вулканогенные породы.

Характерная особенность угленосных формаций - ритмичность строения, отражающая колебательные движения в областях накопления. Это приводит к последовательной смене в разрезе пород от тонкозернистых (угли, известняки) к более крупнозернистым обломочным (аргиллиты, алевролиты, песчаники, пески) и в обратной последовательности до тонкозернистых. Соответственно изменяются: цвет осадков - от черного для углей и углистых пород до темно-серого при обогащении глинистым материалом и светлого, свойственного песчаным разностям; размеры первичной слоистости; содержание растительных остатков, конкреционных включений, карбонатность пород и т.д.

Особое внимание при построении модели геологической толщи месторождения требуется уделять тектоническим или разрывным нарушениям. Степень проявления разрывной тектоники в угленосных отложениях многообразна. На некоторых месторождениях разрывные нарушения единичны или вообще отсутствуют. На большей части месторождений развиты сложные комбинации систем какого-либо одного, чаще различных морфологических типов разрывов. Наибольшей

сложностью разрывной тектоники характеризуются пригеосинклинальные зоны краевых и приразломные зоны унаследованных прогибов, где системы многочисленных взбросов, параллельных тектоническому обрамлению бассейнов, создают сложные чешуйчатые структуры. На платформенных месторождениях, приуроченных к грабенам или подвергшихся эпиплатформенному орогенезу, разнонаправленные системы сбросов также приводят к возникновению мелко блоковой структуры.

Мало амплитудная нарушенность с различной степенью проявления развита почти во всех месторождениях, где угленосные отложения приурочены к просадочным тектоническим впадинам в консолидированном фундаменте или подверглись складкообразованию. В складчатых месторождениях мало амплитудные нарушения пликативного характера проявляются в виде мелких складок, флексур, гофрировки. Послойные перемещения угля по внутрипластовым трещинам сопровождаются местными раздувами и пережимами пластов без разрыва сплошности последних. Разрывные нарушения с амплитудами от долей метра до нескольких метров распространены как одиночно, так и группами или системами взаимных мелко блоковых подвижек угольного пласта в зонах воздействия растягивающих и сжимающих усилий. Подчиненность мало амплитудных нарушений более крупным разрывам обычно ограничивается относительно небольшими прилегающими к ним зонами; на некоторых участках развития крупных нарушений проявляется система мелких разрывов ступенчатого характера с суммарной амплитудой смещения, близкой к амплитуде крупного нарушения.

При решении задачи увязки геологических отложений пользуются описаниями пород и показателями качества, на основании которых возможно проследить один и тот же слой на протяжении части или всего шахтного поля.

Увязку угольных пластов и породных отложений можно представить как задачу распознавания образов, где образ - это классификационная группировка в системе классификации, объединяющая (выделяющая) определенную группу объектов по некоторому признаку. В целом процедура распознавания образов состоит из двух частей: обучения и распознавания. Обучение осуществляется путем показа отдельных объектов с указанием их принадлежности тому или другому образу. В результате обучения распознающая система должна приобрести способность отвечать одинаковыми реакциями на все объекты одного образа и различными — на все объекты различных образов []. Математическая модель построения геологической толщи шахтного поля (месторождения) строится на основе нейронной сети Кохонена [, , , , ,], основным достоинством, которой является способность функционировать в условиях помех.

Функционирование математической модели разбивается на две задачи – задачу обучения и задачу распознавания (классификации). Задача обучения производится вначале. В ходе её решения нейронная сеть настраивается на особенности, присущие рассматриваемому шахтному полю (месторождению). На основе стратиграфической колонки, каждому геологическому месторождению сопоставляется свой класс. Первоначально назначаются состояния ядра для каждого класса по средним начальным значениям описаний пород и угленосных отложений. Численность и рассеяние (диаметры классов) учитываются в процессе обучения в векторах M и d . Устанавливаются значения текущим векторам мощности классов и диаметры классов. Для каждого обучающего вектора $\overline{x_p}$ (данные по геологическим наблюдениям) находится норма

отклонения $\overline{x_p}$ от ядра $\overline{x_j}$ по формуле $d_{jp} = \sum_{i=1}^k \left(1 - \frac{x_{ip}}{x_{ij}} \right)^2$, где

$j = 1, 2, \dots, n$ - число ядер (основополагающих геологических отложений)

и $i = 1, 2, \dots, k$ - число учитываемых свойств, характеризующих геологическое отложение (мощность, трещиноватость, глубина, состав и т.д.). Далее, по значению $d_{j_0 p} = \min(d_{jp})$ $j = 1, 2, \dots, n$ определяется класс j_0 принадлежности $\overline{x_p}$ к ядру, производится сдвиг ядра:

$$\overline{x_{j_0}} = \frac{\overline{x_{j_0}} \cdot M(j_0) + \overline{x_p}}{M(j_0) + 1}, \quad M(j_0) = M(j_0) + 1,$$

и уточняется диаметр класса $D(j_0) = \max(d_{j_0 p}, D(j_0))$ и цикл обучения повторяется со следующим вектором $\overline{x_p}$. Когда закончится этот расчет по группе векторов обучения $\overline{x_p}$, первоначальные значения ядер сместятся, и процесс следует повторить со смещенными (обученными) ядрами и той же группой обучающих векторов. Процесс обучения можно считать законченным при стабилизации численности и диаметров классов. (В процессе обучения, за счет сместившихся ядер, некоторые векторы будут переходить в другие классы).

Вторая задача, которую решает математическая модель построения геологической толщи месторождения – задача классификации угольных пластов и породных отложений, которая производится следующим образом. Исходными данными являются состояние ядер, полученные после обучения, и вектора, характеризующие описания породных слоев и угольных пластов по всем геологическим наблюдениям, выполненным на шахтном поле (месторождении). Для каждого такого вектора $\overline{x_p}$ находим

норму отклонения от ядра $\overline{x_p}$: $d_{jp} = \sum_{i=1}^k \left(1 - \frac{x_{ip}}{x_{ij}}\right)^2$. Для наименьшего

значения производится проверка на не превышение диаметра класса - $d_{jp} \leq D(j)$. При выполнении этого условия вектор, характеризующий геологическое описание слоя, произведенное в разведочной скважине или

горной выработке, заносится в рассматриваемый класс. Таким образом, наблюдение геологического отложения увязывается в j -й слой. При выполнении задачи классификации постоянно производится проверка «качества обучения» нейронной сети. В том случае, если обучение считается недостаточным, производится повторное обучение сети с большим числом основных геологических отложений. Происходит постепенное увеличение числа увязанных угольных пластов и породных слоев в местах большей геологической изученности. В ходе этого процесса модели геологической толщи шахтного поля (месторождения) постепенно пополняются. Кроме этого, геологические отложения проходят тест на согласность залегания нескольких близко расположенных слоев. Выявляются области возможных тектонических нарушений. Трассируются границы выклинивания и расщепления угольных пластов. По мере накопления разрозненной информации она систематизируется и объединяется для слоев, находящихся по разные стороны геологического нарушения.

Для математической модели построения геологической толщи шахтного поля или месторождения были оценены и получили вес такие геологические показатели, как мощность и глубина залегания слоя, литологический состав, крепость породы, характеристики слоистости, трещиноватость, включения, отдельности, структура, текстура, излом, цвет, блеск углей, результаты анализов проб углей и образцов пород и т.д. Для каждого показателя были вычислены ранги, коэффициенты вариации оценок, связности оценок (коэффициент конкордации) и коэффициенты парной ранговой корреляции. Создана база правил увязки геологических отложений.

Математическая модель зонирования площади угольного пласта

Одна из важнейших задач, которую необходимо решить при оптимизации отработки шахтных полей и месторождений с точки зрения

конкурентной способности углей является задача по разработке основных технологических параметров выемочного участка, т.е. определение границ лавы. Эта задача распадается на две составные части. Первая часть это задача нахождения зоны, блока с запасами, потребительская ценность и себестоимость которых, позволили бы угледобывающему предприятию работать рентабельно. Вторая часть - задача выбора конфигурации, направления добычных работ для очистных выработок, соответствующие существующей технологии на шахте или разрезе.

Оптовые цены на угли на внутреннем рынке еще не полностью стабилизировались, так как дифференциация цен по потребительской ценности разных марок не наступила. Наиболее ценные рядовые коксующиеся угли марок К и Ж часто имеют ту же цену, что и менее ценные ОС и КО, не говоря уже о КС, КСН и Г. На зарубежных рынках такая дифференциация существует. Поэтому в расчет надо брать сложившиеся фактические оптовые цены на внутреннем рынке или коэффициенты цен на зарубежных внутренних рынках. Далее, оптовую цену рядового угля необходимо скорректировать с учетом скидки (наценки) по полезным (вредным) компонентам, присутствующим в полезном ископаемом.

Математическая модель, предназначенная для определения границ блока с запасами, которые будут востребованы на рынке, оперирует ранее построенными математическими моделями пространственного распределения показателей качества углей, и полезных (вредных) компонентов, присутствующих в угле. Далее, с учетом направления использования рассчитывается оптовая цена угля на текущий момент, как функция координат $C(x, y) = f(p_1(x, y), p_2(x, y), \dots, p_i(x, y))$. Выявляются границы зон, в которых концентрация вредных компонент превышает допустимые значения или в которых качественные характеристики угля не соответствуют потребительским свойствам. На конечном шаге решается оптимизационная задача по нахождению границ блоков, обладающих

технологическими запасами углей, в которых осредненная оптовая цена угля в чистом виде или в горной массе (в зависимости от наличия обоганительного производства) была бы не менее заданной. Другими словами, необходимо найти функцию границы блока $D(x, y)$ такую, при

которой выполнялось неравенство
$$\frac{\iint_{D(x,y)} C(x, y) \gamma m(x, y) dx dy}{\iint_{D(x,y)} \gamma m(x, y) dx dy} \geq C_0,$$
 с учетом

ограничений на концентрацию вредных компонент в угле $p_i(x, y) \leq p_i^0$.

Решение этой задачи сводится к конечному интегрированию функции оптовой цены угля и построения изолиний на функциях представляющих пространственное распределение показателей качества (наличия вредных компонентов) угля.

Рассмотрим вторую часть задачи по определению конфигурации очистных выработок. Здесь необходимо кроме геологических условий задачи учесть горные условия. Наличие и месторасположение капитальных выработок, падение и простирание угольного пласта, наличие ограждающих целиков, ведения горных работ на ниже и выше лежащих горизонтах и т.д. Поэтому выбор геометрии очистных выработок варьируется незначительно. Рассмотрим эту задачу в более широкой постановке. Пусть длина лавы не ограничена технологическими условиями, а её размер будет задан после определения контура и направления ведения горных работ.

Будем искать пересечение контура спроектированной лавы с выбранными блоками. Для замкнутого многоугольника любой конфигурации без самопересечений, вершины которого заданы координатами в порядке их следования по границе $P_1(x_1, y_1)$, $P_2(x_2, y_2)$, ..., $P_n(x_n, y_n)$, $P_{n+1}(x_1, y_1)$ площадь определяется формулой:

$$S = \left| \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (x_{i+1} - x_i) * (y_{i+1} + y_i) \right|$$

В контексте рассматриваемой задачи многоугольник будет пересечением (в теоретико-множественном смысле) лавы с многоугольником контура блока месторождения. Контур лавы задается четырьмя точками - по две концевые точки на каждую стенку лавы. Введем некоторую систему координат (рис. 4.54), начало, которой расположено на оси лавы. Тогда, уравнения линий стенок лавы, соответствующие подготовительным выработкам, являются константами ($x = a, x = -a$), а уравнения линий, соединяющие точки P_1 и P_2 (линия - $l_1(x, y)$) и точки P_3 и P_4 (линия - $l_2(x, y)$) между собой будут иметь вид линейного уравнения $gx + qy + c = 0$, где постоянная - $c \neq 0$ и подобрана так, чтобы $c > 0$, тогда для каждой точки (x, y) , лежащей внутри (с границами) будут выполняться неравенства: $|x| \leq a, l_1(x, y) \geq 0, l_2(x, y) \geq 0$.

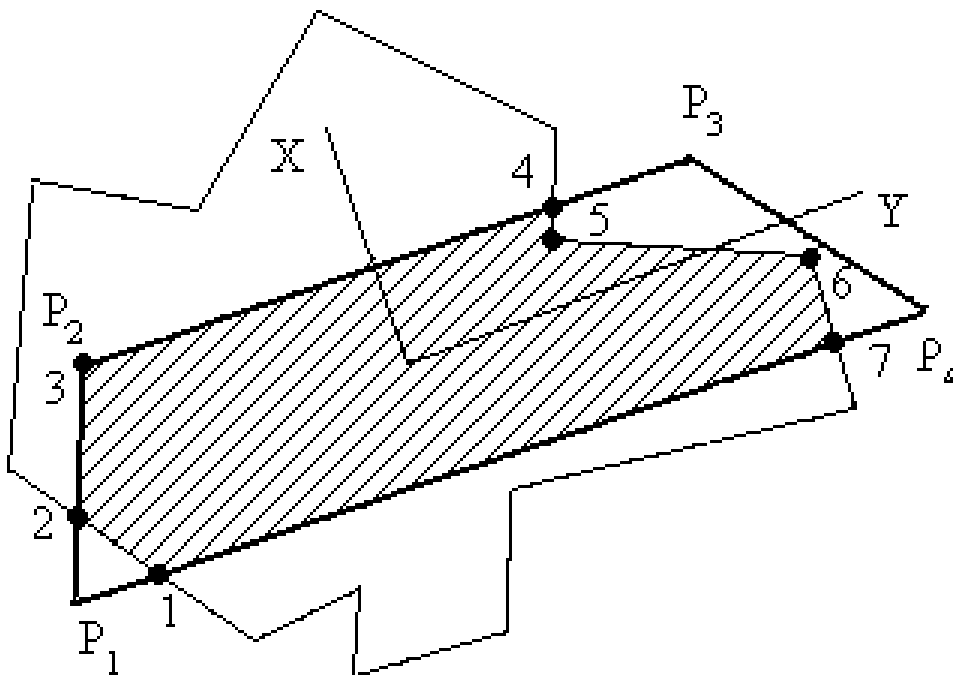


Рис. 4.54.

Определение контура очистной выработки и вычисление площади запасов, планируемых к выемке.

Графическая интерпретация задачи представлена на рис. 4.54. Решение сводится к расчету координат последовательно пронумерованных точек и подсчету площади. Таким образом, определяется контур предполагаемой очистной выработки. На следующем шаге определяется её длина исходя из технологических условий, существующих на угледобывающем предприятии. Далее, для предполагаемой лавы наиболее полно строятся геологические поверхности разрабатываемого угольного пласта и определяются горно-геологические условия осложняющие ведение горных работ. Рассчитывается участковая себестоимость добычи тонны угля в комплексно-механизированном забое и окончательно определяется рентабельность проведения выемочных работ.

Выводы по четвертой главе

1. Разработана математическая модель расчета геометрии оси разведочной скважины, позволяющая представлять геометрию скважины в виде гладкой непрерывной кривой в зависимости от глубины скважины и учитывающая замеры различных вариантов измерения инклинометрии буровой трассы.

2. Разработана математическая модель расчета геометрии поверхности с учетом координат точек подсечек и элементов залегания породного слоя (угольного пласта, тектонического нарушения), на основе нелинейной триангуляции. Получены уравнения для нахождения коэффициентов элементарных поверхностей. Полученная математическая модель позволяет учитывать в точках геологических наблюдений те свойства геологической поверхности, которые измерены. То есть, в точках кроме координат могут быть заданы элементы залегания слоя или углы падения, или информация об элементах залегания геологического отложения будет отсутствовать. Разработанная математическая модель позволяет получать более естественные геологические поверхности и

учесть данные об элементах залегания, что увеличивает достоверность построений.

3. Впервые разработан метод оценки результатов построения геологических поверхностей. Это дает возможность численно сравнить геологические поверхности между собой, что необходимо для определения согласности залегания слоев, а также для оценки эффективности математических модели 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).

4. Разработана математическая модель представления показателей качества угля с учетом координат точек геологических наблюдений, значений показателя качества угля и ошибки его измерения на нерегулярной сетке. Это позволяет моделировать поверхностные и пространственные распределения горно-геологических показателей, не обладающие условием плавности, имеющие острые углы и особые точки. Разработанная математическая модель оперирует двумя параметрами: средним математическим отклонением геологического показателя и дробной размерностью Хаусдорфа – Безиковича. Появилась возможность расширить понятие топографической поверхности, используемой в горном деле, введенное Соболевским П.К. в 1932 году, за счет отказа от условия плавности, согласно которому топографические поверхности не имеют ни острых углов, ни особых точек. Разработанная математическая модель является универсальной и учитывает в точках геологических наблюдений те свойства «показателя качества», которые были измерены.

5. Разработана математическая модель построения геологической толщи шахтного поля на базе нейронной сети.

6. Разработана математическая модель зонирования площади угольного пласта для определения запасов, содержащие конкурентоспособные угли.

Основы реализации информационно аналитической системы оптимальной отработки шахтных полей

Программные и информационные средства системы оптимальной отработки шахтных полей и месторождений с учетом конкурентной способности углей

Практическая реализация разработанной информационно-аналитической системы оптимальной отработки шахтных полей и месторождений заключалась в следующем. На первом этапе с помощью описаний, разработанных во второй главе диссертации, была создана база данных номинальных объектов, таких как горная выработка, геологическое отложение, геологическое наблюдение слоя, точка маркшейдерской съемки, проба угля (образец породы), геологическая поверхность, система трещин, включения и т.д. (пример см. табл. 2.2). Проведено моделирование *номинальных объектов*, информационных образований и *номинальной системы* в целом, выполнена оптимизация организации информации в рассмотренных образах на основе минимизации энтропии информационного представления. Описание каждого номинального объекта на основании разработанной схемы хранится в базе данных определений информационно-аналитической системы и может в последствии корректироваться и совершенствоваться.

Выполнена программная реализация необходимых для функционирования разрабатываемой информационно-аналитической системы математических моделей. Операционное окружение, позволяющее моделям работать в различных операционных средах, выполнено в виде «базы моделей» с помощью программного инструментария - «сервера приложений». Базы данных могут размещаться на любых вычислительных мощностях угольной промышленности. Запуск и контроль процесса решения прикладной задачи с помощью

математической модели осуществляется удаленно через глобальную сеть интернет. На основе теории *номинальных объектов* реализован универсальный протокол взаимодействия математических моделей с горно-геологической информацией в виде динамических библиотек.

На основе разработанных математических моделей и для выполнения основных задач при личном участии автора создан программный инструментарий:

- программный комплекс ведения и оценки запасов по подсчетным блокам на шахтах и разрезах;
- программный комплекс учета и движения запасов на угледобывающих предприятиях Российской Федерации;
- библиотека построения триангуляционных симплексов;
- комплекс программ построения нелинейной поверхности по высотным отметкам и элементам залегания слоя;
- комплекс программ построения фрактальных поверхностей;
- программа вычисления мер близости геологических поверхностей;
- программа построения технологических линейчатых поверхностей (откосов уступов, отвалов);
- динамические библиотеки, моделирующие *номинальные объекты* любой сложности, которые представляют горно-геологические объекты;
- графический горный редактор, отображающий *номинальные объекты* 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;
- программный инструментарий по вводу, ведению и графическому представлению данных по геологическим наблюдениям в штреках, забоях лавы и уступа, вдоль оси ствола, штольни, разведочной скважины;
- программный комплекс ведения данных по пробам и результатам лабораторных анализов угля и пород;

- пакет программ по вводу, ведению и графическому представлению данных по измерениям теодолитных ходов;
- пакет программ 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.

Перечисленные составляющие информационно-аналитической системы оптимизации обработки шахтных полей и месторождений имеют самостоятельную потребительскую ценность для автоматизации обработки информации в угольной промышленности. Они внедрены и находятся в промышленной эксплуатации на Ангренском (Узбекистан), Бородинском, Березовском, Назаровском, Изыкском, Ольжерадском, Тюльганском угольных разрезах, Липовецкой, Бельцевской шахтах и шахтах им. Чиха (Октябрьская-Южная), им. Артема, в производственных объединениях Ленинградсланец, Тулауголь, а так же в Управлении по реструктуризации угольных шахт и в Департаменте Угольной промышленности. Кроме того, библиотека построения триангуляционных симплексов передана в институт ВНИМИ для последующей разработки «Маркшейдерско-геологической аналитической информационной системы (МГАИС) горного предприятия», для предприятий цветной металлургии [91].

На основе разработанного фрактального алгоритма поиска информации в иерархических структурах реализована система поиска 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»).

Информация, необходимая для функционирования информационно-аналитической системы подготавливается, собирается, хранится, обрабатывается в иерархической распределенной по предприятиям угольной отрасли базах данных горно-геологической информации. Определено, базы данных с первичной горно-геологической информацией размещаются в местах сбора и обработки этой информации. Детальность

представления информация локализуется на участках, предприятиях, производственных объединениях и, при необходимости, может быть представлена в любом объеме в Департаменте угольной промышленности. Взаимодействие между распределенными базами данных осуществляться через глобальную сеть интернет. Разработаны предложения по масштабированию баз данных в различных операционных средах, прав доступа, ответственности за внесение изменений, архивации и т. д. Взаимодействие с базами данных выполняется через стандартный интерфейс с помощью языка запросов.

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.

Разработка функциональной структуры информационно аналитической системы оптимальной отработки шахтных полей и месторождений

Информационно-аналитические системы оценки запасов и разработки проектов по их выемке являются распределенными системами с открытой архитектурой. Общая функциональная схема их взаимодействия между собой при оптимизации отработки шахтных полей и месторождений представлена на рис. 5.1. Процесс выполнения последовательности работ включает в себя несколько этапов. В начале на основании предварительной оценки запасов, при необходимости, выполняется уточнение марки угля и более полное выявление полезных и вредных компонент в угле, определяющих его потребительскую стоимость и направление использования. Далее, по данным опробования угольного пласта в ходе проведения петрографического анализа производится синтез данных лабораторных анализов, и определяется марочный состав угля.

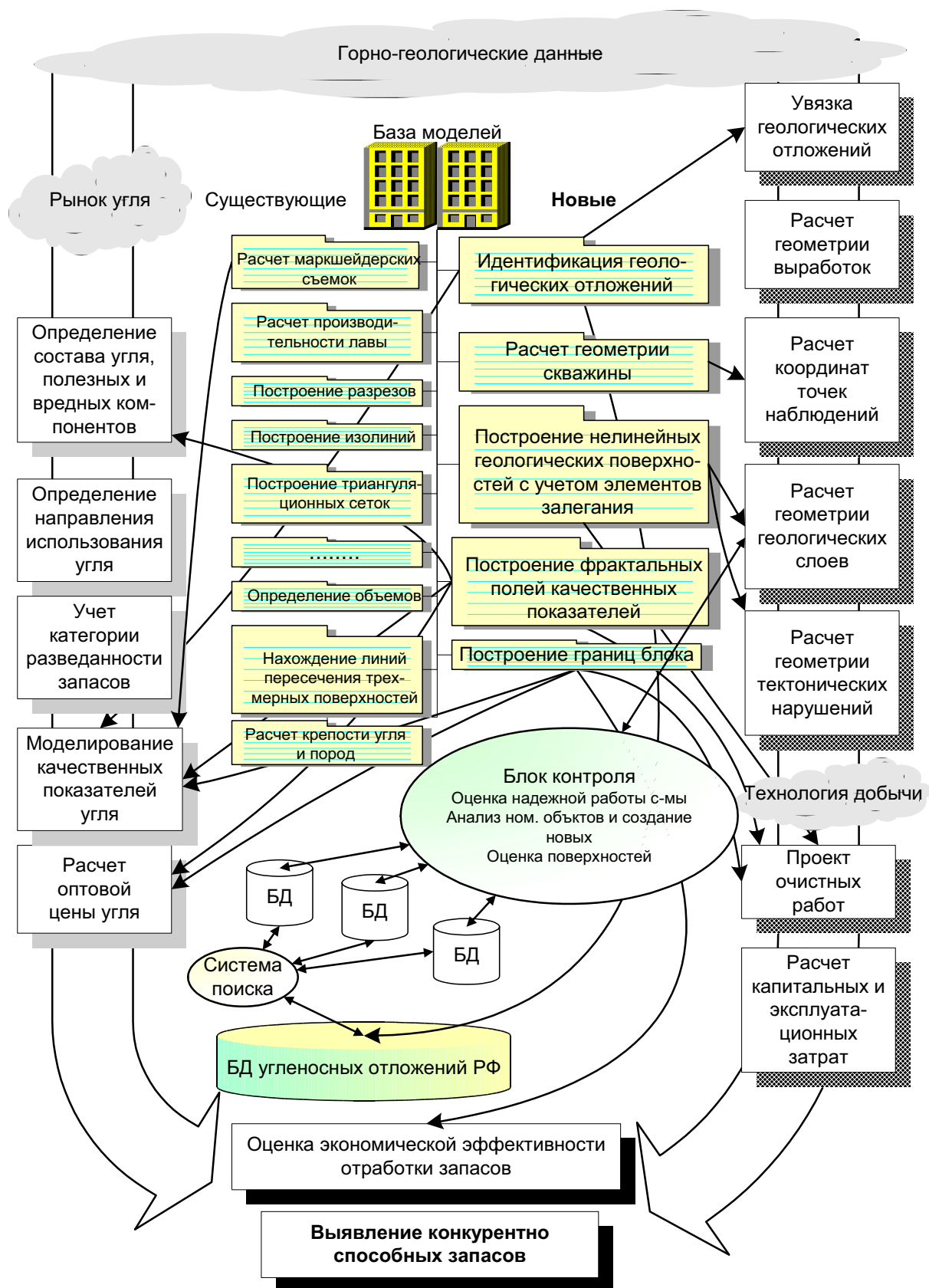


Рис. 5.1.

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

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 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 (фрактального тела) 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 математической модели идентификации геологических отложений, которая осуществляет построение модели геологической толщи шахтного поля (месторождения). 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 получается 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.

Результаты работы информационно аналитической системы оптимизации отработки шахтных полей и месторождений

Тестирование информационно-аналитической системы производилось, как по отдельно решаемым задачам, так и по всей системе в целом. Вновь разработанные математические модели апробировались при решении задач на шахтах Тульского, Печорского и Кузнецкого угольных бассейнов. Для проверки работоспособности разработанной в диссертации информационно-аналитической системы оптимизации отработки шахтных полей и месторождений производился анализ остаточных запасов ликвидируемых шахт (31 шахта) Кузнецкого и Печорского бассейнов, содержащих на своем балансе более 2,0 млрд.т запасов коксующихся углей, из которых 1,85 млрд.т приходится на особо ценные марки КЖ, К, ОС, КО, Ж, ГЖ.

Из рассматриваемых шахт, запасы восьми шахт (семь шахт в Кузнецком бассейне и одна в Печорском) общим объемом 1,41 млрд. т коксующихся углей сразу же после их ликвидации переданы новому юридическому лицу. Детальный анализ данных шахт не производился, так как по ним уже проводится составление рабочих проектов на разработку запасов в составе нового юридического лица.

Оценка запасов на остальных 23-х шахтах, содержащих 0,6 млрд. т коксующихся углей, проведена в 2 этапа. На первом этапе (предварительном) среди балансовых выделены промышленные запасы, которые могут быть реально извлечены из недр. Определено количество этих запасов, их пространственная концентрация на шахтопластах и технологичность разработки рассматриваемых запасов. Выявлено, что на 17-ти шахтах с балансовыми запасами 342 млн.т промышленные запасы практически отработаны, а оставшиеся запасы представлены

низкотехнологичными, непригодными для экономически эффективной разработки запасами, либо в небольших объемах технологичными запасами, которые деконцентрированы, разобщены на площади шахтопластов. Запасы этих шахт далее из анализа были исключены.

Запасы 6-ти шахт Кузнецкого бассейна общим объемом 347 млн. т были выделены как перспективные для определения среди них экономически эффективных для разработки с точки зрения конкурентной способности углей. Далее, запасы на шахтах: «Бирюлинская», «Байдаевская», «Нагорная», «Северный Маганак», им. Калинина и «Тайбинская» были разделены на группы по экономической эффективности их разработки [43, 51]. Результаты детального анализа, выполненного согласно описанной схеме в предыдущем параграфе, показали, что экономически эффективные для извлечения запасы присутствуют только на 2-х шахтах: «Бирюлинской» и «Байдаевской» и составляют 4% от всех остаточных запасов 23-х ликвидированных шахт, первоначально намеченных к анализу.

Еще на 2-х шахтах: «Северный Маганак» и им. Калинина среди запасов были выделены ограниченно экономические с рентабельностью извлечения 8% общим объемом 31 млн. т или 5% от остаточных запасов 23 проанализированных шахт. Запасы шахты «Тайбинская» с рентабельностью - 0,7% были отнесены к потенциально экономическим.

Таким образом, из рассмотренных шахт Кузнецкого и Печорского бассейнов шахты «Бирюлинской» и «Байдаевской» являются интересными для инвестиций угледобывающими предприятиями. Из их балансовых запасов выявлены и оконтурены запасы с конкурентоспособными углями. Для этих шахт разработаны предварительные проекты выемки выявленных запасов. Вычислены основные экономические показатели работы шахт. Так извлечение выявленных запасов на шахтных полях «Бирюлинское» и «Байдаевское» в сумме 24 млн. т определяет 15% уровень рентабельности работы угледобывающих предприятий.

Заключение

Проведенное в диссертационной работе научное гносеологическое исследование горно-геологической информации и теоретико-множественный системный анализ позволили выявить особенности информационного представления горно-геологических понятий, объектов и процессов, протекающих на угледобывающем предприятии, на основании которых были определены понятия реальной и номинальной систем, реального и номинального объектов.

На базе анализа отношений, существующих между реальными объектами в горном деле, введены понятия, характеризующие номинальный объект. Определен перечень типовых свойств, описываемых унарными отношениями, и перечень связей, описываемых бинарными отношениями, присущий номинальным объектам. На основании полученных перечней построена структурная схема образа номинального объекта, которая позволяет создавать информационные образы, описывающие горно-геологические понятия, объекты и процессы различной сложности, устроенные по единому принципу, которые могут эволюционировать не только на стадии разработки аналитической системы, но и на стадии её эксплуатации. Введена система аксиом, описывающих соотношения, существующие в номинальных системах, между номинальными объектами и понятиями, включенными в описание номинальных объектов.

Теоретически получено оптимальное распределение номинальных объектов по степени сложности в номинальной системе, обеспечивающее эффективное функционирование информационно-аналитической системы. Полученное решение из-за использования полной формулы Стирлинга вычисления факториала уменьшает ошибку до нескольких долей процента по сравнению с решением, полученным Шрейдером Ю.А. и Шаровым А.А., имеющим ошибку более семидесяти процентов.

Разработаны методы оценки организации номинальных объектов для различных вариантов формализации номинальных систем. Введено понятие коэффициент эффективности использования организации в номинальной системе, что позволяет сравнивать организационные структуры номинальных систем и определять оценку эффективности информационного представления. Приведены формулы и зависимости, позволяющие вычислить коэффициент эффективности использования организации в номинальных системах. Проанализировано поведение коэффициента эффективности использования организации в номинальных системах, определены факторы, влияющие на его значение. Найдены предельные значения коэффициента эффективности использования организации в номинальных системах. Определена операция синтеза, позволяющая вычислить коэффициент эффективности использования организации номинальной системы, при её композиции из нескольких номинальных систем.

Предложен принципиально новый алгоритм, в отличие от существующих, основанный на фрактальных свойствах распределения информации в номинальной системе, позволяющий получать промежуточные результаты на любом этапе поиска и обработки информации.

Введена оценка динамических свойств внутренних связей номинальных объектов и номинальной системы, основанная на определении дробной размерности Хаусдорфа - Безиковича пространства структур. Выведена формула вычисления дробной размерности Хаусдорфа – Безиковича в регулярных и нерегулярных структурах. Определено влияние параметров структур на дробную размерность Хаусдорфа – Безиковича. Вычислена дробная размерность вычислительных процессов в информационных структурах номинальных систем.

Проанализированы процессы информационного поиска и обработки информации в номинальных системах. Выявлены границы образования

хаотических явлений. Вычислены параметры бифуркационных диаграмм для возможных условий вычислительного процесса. Определены области надежной работы информационно-аналитической системы.

Сформулирован и определен принцип дополнительности, которым следует пользоваться при создании необходимых моделей номинальной системы. Разработан морфологический метод выявления моделей для номинальной системы. Введено понятие «определенность» модели, используемой в номинальной системе. Разработан метод вычисления определенности моделей. Выявлен перечень математических моделей необходимых для функционирования информационно-аналитических систем оптимизации отработки шахтных полей и месторождений.

Анализ полученного списка необходимых математических моделей для функционирования информационно-аналитической системы оптимизации отработки шахтных полей и месторождений выявил модели, отсутствующие на сегодняшний день, которые были разработаны в четвертой главе:

1. математическая модель расчета координат подсечек слоев в разведочной скважине, позволяющая представлять геометрию скважины в виде гладкой непрерывной кривой в зависимости от глубины скважины и учитывающая замеры различных вариантов измерения инклинометрии буровой трассы;

2. математическая модель расчета геометрии поверхности с учетом координат точек подсечек и элементов залегания породного слоя (угольного пласта, тектонического нарушения) на основе нелинейной триангуляции. Выведены уравнения для нахождения коэффициентов элементарных поверхностей. Полученная математическая модель позволяет учитывать в точках геологических наблюдений те свойства геологической поверхности, которые измерены. То есть, в точках кроме координат могут быть заданы элементы залегания слоя или углы падения, или информация об элементах залегания геологического отложения будет

отсутствовать. Разработанная математическая модель позволяет получать более естественные геологические поверхности и учесть данные об элементах залегания, что увеличивает достоверность построений;

3. метод и на его базе математическая модель оценки результатов построения геологических поверхностей. Это дает возможность численно сравнить геологические поверхности между собой, что необходимо для определения согласности залегания слоев, а также для оценки эффективности математических моделей 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);

4. математическая модель представления показателей качества угля с учетом координат точек геологических наблюдений, значений показателя качества угля и ошибки его измерения на нерегулярной сетке. Это позволяет моделировать поверхностные и пространственные распределения горно-геологических показателей, не обладающие условием плавности и имеющие острые углы, и особые точки. Разработанная математическая модель оперирует двумя параметрами: средним математическим отклонением геологического показателя и дробной размерностью Хаусдорфа – Безиковича. Появилась возможность расширить понятие топографической поверхности, используемой в горном деле, введенное Соболевским П.К. в 1932 году, за счет отказа от условия плавности, согласно которому топографические поверхности не имеют ни острых углов, ни особых точек. Разработанная математическая модель является универсальной и учитывает в точках геологических наблюдений те свойства «показателя качества», которые были измерены;

5. математическая модель построения геологической толщи шахтного поля на базе нейронной сети;

6. математическая модель зонирования площади угольного пласта для определения запасов, содержащих конкурентоспособные угли

Итак, в 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 дополнительности*, 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.

Список литературы

1. Автоматизированная система нормативов и классификаторы в угольной промышленности. – М.: Недра, 1981, 243 с.
2. Агафонов А.В. и др. Новые направления геоакустики при разработке выбросопасных пластов. – Уголь Укр. №1, 2001, с. 36-37.
3. Антрацит. Методы определения объемного выхода летучих веществ/ ГОСТ 7303-90.
4. Арапов М.В., Шрейдер Ю.А., Классификация и ранговые распределения. Научно-техническая информация. Серия 2, № 11, 1977.
5. Арапов М.В., Шрейдер Ю.А., Закон Ципфа и принцип диссиметрии системы. Семиотика и информатика, М, ВИНТИ, выпуск 10, 1978.
6. Балашов У.П. Эволюционный синтез систем. – М.: Радио и связь, 1985, 328 с.
7. Беляков С.Л. Управление информативностью в геоинформационной справочной системе. – Приборы и системы. № 6, 2001, с. 1-2.
8. Беспламенный атомно-абсорбционный метод определения ртути. Методика предприятия МП-02-016-88, 1988.
9. 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.: Гипроуглеавтоматизация (ГУА), 1998, стр. 72-73.
10. Борисов Ю., Кашкаров В., Сорокин С. Нейросетевые методы обработки информации и средства их программно-аппаратной поддержки. – Открытые системы, №4, 1997.
11. Боярский Э.Ф., Rogozov В.В. Цифровое моделирование угольных пластов. – М.: Недра, 1992, 129 с.
12. Брусиловский Б.Я. Теория систем и система теорий. – Киев: Высшая школа, 1977, 192 с.

13. Букринский В.А., Практический курс геометрии недр. – М.: Недра, 1965, 243 с.
14. Бурчаков А.С., Гринько Н.К., Ковальчук А.Б. Технология подземной разработки платовых месторождений полезных ископаемых. – М.: Недра, 1978, 536 с.
15. Бурчаков А.С., Гринько Н.К., Черняк И.Л. Процессы подземных горных работ. – М.: Недра, 1976, 408 с.
16. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1968, 356 с.
17. Вавилов Н.И. Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости. Саратов: 1920, 16 с.
18. 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.: ГУА, 1997, стр. 77-82.
19. 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, стр. 83-86.
20. Воронин Ю.А., Алабин Б.К., Гольдин С.В. и др. Геология и математика. – Новосибирск: Наука, 1967, 254 с.
21. Горбатов В.А. Теория частично упорядоченных систем. – М.: советское радио, 1976, 336 с.
22. Горная графическая документация. Виды и комплектность. ГОСТ 2.850-75.
23. Горная графическая документация. Изображение элементов горных объектов. ГОСТ 2.852-75.
24. Горная графическая документация. Обозначения условные горных выработок. ГОСТ 2.855-75.

25. Горная графическая документация. Обозначения условные полезных ископаемых, горных пород и условий их залегания. ГОСТ 2.857-75.
26. Горная графическая документация. Обозначения условные производственно-технических объектов. ГОСТ 2.856-75.
27. Горная графическая документация. Обозначения условные ситуации земной поверхности. ГОСТ 2.854-75.
28. Горная графическая документация. Правила выполнения условных обозначений. ГОСТ 2.853-75.
29. Горная графическая документация. Элементы и устройства железнодорожной сигнализации. ГОСТ 2.749-70.
30. Горная графическая документация. Элементы трубопроводов. ГОСТ 2.784-70.
31. Деглин Б.М., Лунев С.Г. О перспективах сейсмоакустического прогноза выбороопасности. – Уголь. Укр. № 5, 2001, с 40-43.
32. Диколенко Е.Я. Итоги реструктуризации угольной промышленности, проблемы и перспективы развития. - Уголь, №6, 2001, стр. 5 – 11.
33. Дружинин В.В., Конторов Д.С. Проблемы системологии. – М.: Советское радио, 1976, 296 с.
34. Зайденварг В.Е. и др. Оценка экологии и методика комплексного мониторинга природной среды Ленинградского месторождения горючих сланцев. – Уголь, № 8, 2001, с. 52-56.
35. Единые нормы амортизационных отчислений на полное восстановление основных фондов народного хозяйства России.
36. Единые правила безопасности при взрывных работах. – М.: Недра, 1967, 348 с.
37. Еремин И.В., Броновец Т.М., Марочный состав углей и их рациональное использование. - М.: Недра, 1994, 254 с.
38. Ершов В.В. Основы горно-промышленной геологии. М.: Недра, 1988, 328 с.

39. Ершов В.В., Дремуха Ф.С., Трость В.М., Зуй В.Н., Бедрина Г.П.
Автоматизация геолого-маркшейдерских графических работ. – М.: Недра, 1990, 347 с.
40. Ершов Ю.Л. Проблемы разрешимости и конструктивные модели. – М.: Наука, 1980, 416 с.
41. Инструкция по геологическим работам на угольных месторождениях Российской Федерации. - Санкт-Петербург: ВНИМИ, 1993, 147 с.
42. Инструкция по монтажу и демонтажу механизированных комплексов, типовое положение о монтажно-наладочном участке и нормы продолжительности выполнения монтажно-демонтажных работ. –М.: Недра. 1971, 478 с.
43. Инструкция по применению классификации запасов к месторождениям углей и горючих сланцев. 1983.
44. Инструкция по производству маркшейдерских работ. - - М.: Недра, 1987, 215 с.
45. Ионометрическое определение фтора в минеральном сырье.
Инструкция Научного совета аналитических методов Всесоюзного института минерального сырья НСАМ ВИМС. - Инструкция № 188-Х, 1981.
46. Итоги работы угольной промышленности России за январь-апрель 2001 года. - Уголь, №7, 2001, с.26-35.
47. Каждан А.Б., Гуськов О.И., Шиманский А.А. Математическое моделирование в геологии и разведке полезных ископаемых. – М.: Недра, 1979, 168 с.
48. Калан Р. Основные концепции нейронных сетей. – М.: Вильямс, 2001, 288 с.
49. Калашников В.В. Сложные системы и методы их анализа. – Математика и кибернетика. М.: Знание, № 9, 1980, 63 с.
50. Кейслер Г., Чэн Ч.Ч. Теория моделей. – М.: Мир, 1977, 614 с.

51. Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. – М.: ГКЗ, Министерство природных ресурсов, 1997, 16 с.
52. Классификатор организаций и предприятий угольной промышленности России. Под общей редакцией С. Л. Климова. Второе, переработанное издание. – М.: Росинформуголь, 2000, 187 с.
53. Климонтович Н. Синергетика, лозунг или наука? - Знание-сила, № 9, 1982, с. 37-38.
54. Колосов Г.В. Применение комплексной переменной к теории упругости. ОНТИ. Главная редакция общетехнических дисциплин. Ленинград - Москва, 1935, 224 с.
55. Кранощеков П.С., Петров А.А. Принципы построения моделей. – М.: ФАЗИС, 2000, 412 с.
56. Крутиков В.А. Полищук Ю.М. Геоинформационные технологии в задачах контроля и реабилитации окружающей среды. – Тр. Межд. симп. «Контроль и реабилитация окружающей среды». Томск: 1998, с. 38-39.
57. Крыловский И.Л., Душейн Г.В., Каймин М.Ю. Опыт внедрения зарубежного и создания отечественного программного обеспечения для горнодобывающей промышленности. – Информационный бюллетень. № 4 (11), 1977, с. 32-33.
58. Кубрин С.С. Анализ кортежа моделей геолого-маркшейдерских систем. – М.: МГГУ, Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ), № 2, 2001 стр. 212-216.
59. Кубрин С.С., Внуков Л.А. Алгоритм нелинейного построения геологической поверхности с учетом элементов залегания слоя. - Маркшейдерский вестник, № 3 (29) июль-сентябрь, 1999, стр. 36-38.
60. Кубрин С.С., Гурарий М.М. Новый подход к оптимизации геометрии разведочных скважин и расчетам координат подсечек слоев. М.: МГГУ, ГИАБ, № 4, 1999, стр. 66-67.

61. Кубрин С.С. Исследование организации образов горно-геологических систем. М.: МГГУ, ГИАБ, №2, 2001, стр. 217-218.
62. 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.
63. Кубрин С.С. Математические модели и методы информационно-аналитических систем. – М.: Энергоатомиздат, 2002, 132 с.
64. 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, стр. 88-101.
65. Кубрин С.С. Нелинейная аппроксимация поверхности методом триангуляции при решении геолого-маркшейдерских задач. М.: МГГУ, ГИАБ, №4, 1999, стр. 65-66.
66. 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, стр. 70-76.
67. Кубрин С.С. Определение размерности Хаусдорфа в геологических нерегулярных фрактальных образованиях.//Тр. IV Республиканской научно-технической конференции. Компьютерные технологии в горном деле. Екатеринбург: Уральская государственная горно-геологическая академия, 1999, стр. 106-108.
68. Кубрин С.С. Определение размерности Хаусдорфа фракталов с циклически повторяющимися структурами.// Материалы пятого Всероссийского постоянно действующего научного семинара «Самоорганизация устойчивых целостей в природе и обществе». «Фракталы и циклы развития систем». – Томск: Институт оптического мониторинга СО РАН, 2001, стр. 124-126.

69. 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.
70. 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, стр. 158-159.
71. 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.
72. Кубрин С.С. Принцип дополнительности моделей при построении геолого-маркшейдерских автоматизированных систем. – В сб.: Взрывозащищенная связь и автоматизация на угольных предприятиях. М.: ГУА, 2000, стр. 84-87.
73. Кубрин С.С. Структура образов горно-геологических объектов, в книге 20 лет Кафедра Автоматизированные системы управления. – В сб.: Кафедра «Автоматизированные системы управления. 20 лет». – М.: МГГУ, 2000, стр. 51-55.
74. Кубрин С.С. Теоретико-информационный анализ систем управления запасами и их отработкой с учетом конкурентной способности углей. – М.: Энергоатомиздат, 2002, 182 с.
75. Кубрин С.С. Численное сравнение геологических поверхностей. - Маркшейдерский вестник, № 4 (30) октябрь-декабрь, 1999, стр. 37-38.
76. 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, стр. 72-73.
77. 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.
78. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Методы теории функций комплексного переменного. – М.: Наука, 1965, 716 с.
79. Малинецкий Г.Г., Митин Н.А. Нелинейная динамика в проблеме безопасности. - В сб.: Новое в синергетике. Загадки мира неравновесных структур. М.: Наука, 1996. стр. 191-214.
80. Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б. Нелинейность. Новые проблемы, новые возможности. - В сб.: Новое в синергетике. Загадки мира неравновесных структур. М.: Наука, 1996. стр. 165-190.
81. Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б. Современные проблемы нелинейной динамики. – М.: Эдиториал УРСС, 2000, 336 с.
82. Математическое моделирование. Под ред. Гупало Ю.П. – М.: Мир, 1979, 277 с.
83. Маркшейдерское дело. – М.: Недра, 1981, 704 с.
84. Маркшейдерское дело. – М.: Недра, 1989, в 2-х томах, 312 с., 438 с.
85. Международная рамочная классификация ООН запасов/ресурсов месторождений. – ООН, GE.97-30779, 27 с.
86. Мелькумов Л.Г., Башков М.И. АСУ ТП угольной шахты. – Киев: Техника, 1978, 216 с.
87. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы. – М.: Мир, 1978, 312 с.
88. Методика определения нагрузки на очистной забой. – М.: Гипроуглемаш, 2001, 78 с.
89. Методические рекомендации расчета численности.
90. Мигачев Р.Д., Лобовский А.Е. Экономико-математические методы в планировании угольного производства. – М.: Недра, 1979, 182 с.

91. Михалевич Д.С. и др. Маркшейдерско-геологическая аналитическая информационная система (МГАИС) горного предприятия. – Материалы семина. «Современные технологии в геоинформационном обеспечении». Челябинск: Экодом, 1999, с. 60-68.
92. Модин А.А., Яковенко Е.Г., Погребной Е.П. Справочник разработчика АСУ. – М.: Экономика, 1978, 583 с.
93. Мусхелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости. 5-е издание. М.: 1966, 708 с.
94. Мюллер П., Нойман П., Шторм Р. Таблицы по математической статистике. – М.: Финансы и статистика, 1982, 272 с.
95. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта. – М.: Наука, 1986, 311 с.
96. Нечипоренко В.И. Структурный анализ систем. – М.: Советское радио, 1977, 216 с.
97. Николаев В.И., Брук В.М. Системотехника: методы и приложения. - Ленинград: Машиностроение, 1985, 199 с.
98. Одрин М.В., Картавов С.С. Морфологический анализ систем. – Киев: Наукова думка, 1977.
99. Одрин М.В., Картавов С.С. Некоторые итоги и перспективы развития морфологического анализа систем. – Киев: Институт Кибернетики АН УССР, 1973, вып. 7 с. 73-62.
100. О проведении геологических наблюдений в горных выработках. ГОСТ 9815-75.
101. Основные направления и нормы технического проектирования угольных шахт, разрезов и обогатительных фабрик. – М.: Недра, 1973, 216 с.
102. Основные положения применения механизированных комплексов в очистных забоях угольных шахт. –М.: Недра, 1973, 214 с.
103. Павловский Ю.Н. Имитационные модели и системы. – М.: ФАЗИС, 2000, 134 с.

104. Пайтген Х.О., Рихтер П.Х. Красота фракталов. Образы комплексных динамических систем. – М.: Мир, 1993, 176 с.
105. Перегудов Ф.И., Тарасенко Ф.П. Введение в системный анализ. – М.: Высшая школа, 1989, 367 с.
106. Поль В.Г. Создание геоинформационных моделей и их применение в системах автоматизированного проектирования и планирования горных работ. – Горный журнал, № 7, 20001, с. 19-21.
107. Погорелов А.В. Дифференциальная геометрия. – М.: Наука, 1974, 176 с.
108. Погребнов Н.Н., Трощенко В.В, Журавлев А.В., Бударина Т.В. Автоматизированная обработка геологоразведочной информации в процессе разведки угольных месторождений. – В кн. Математические методы и автоматизированные системы в геологии. М.: Геоинформмарк, 1993, 48 с.
109. Породы горные. Методы физических испытаний. ГОСТ 21153.0-75-21153.7-75.
110. Постановление Правительства РФ № 121 от 20.02.02, «О внесении изменений и дополнений в положение о составе затрат по производству и реализации продукции, включающих в себестоимость продукции».
111. Постановление Правительства РФ № 696 от 26.06.99, «О положении и составе затрат по производству и реализации продукции, включающих в себестоимость продукции и порядком финансирования результатов»
112. Правила технической эксплуатации угольных и сланцевых шахт. М.: Недра, 1976, 304 с.
113. Приказ министра Угольной промышленности СССР № 348 от 05.09.84, 128 с.
114. Приказ министра Угольной промышленности СССР № 586 от 23.12.81. О дальнейшем совершенствовании и упорядочении технической документации по геологической службе шахты. 124 с.

115. Природные опасности в шахтах. Способы их контроля и предотвращения. – М.: Недра, 1981, 472 с.
116. Прогрессивные технологические схемы ведения очистных и подготовительных работ. М.: Недра 2001, 324 с.
117. Раскина А.А., Сидоров И.С., Шрейдер Ю.А. Семантические основания объектно-признаковых языков. - Научно-техническая информация. Сер. 2, № 5, 1976.
118. Руководство по борьбе с пылью в угольных шахтах. – М.: Недра, 1971, 367 с.
119. Руководство по дегазации угольных шахт. – М.: Недра, 1974, 327 с.
120. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. – М.: Недра, 1974, 385 с.
121. Савин Г.И. Системное моделирование сложных процессов. – М.: ФАЗИС, 2000, 276 с.
122. Смирнов А.М. Организация мониторинга отрицательных техногенных воздействий предприятий угольной промышленности. – Уголь, № 7, 2001, с. 52-54.
123. Соболевский П.К. Современная горная геометрия. Сорена: №7, 1932.
124. Соболевский П.К. Современная горная геометрия. - Тр. МГИ. М.:МГИ, 1969, 18 с.
125. Справочник по прикладной статистике. – М.: Финансы и статистика, в 2-х томах, 1989, 510 с., 526 с.
126. Справочник по теории вероятности и математической статистике. – Киев: Наукова думка, 1978.582 с.
127. Стельцов В.И., Могильный С.Г. Маркшейдерское обеспечение природопользования недр. – М.: Недра, 1989, 206 с.
128. Табор М. Хаос и интегрируемость в нелинейной динамике. – М.: Эдиториал УРСС, 2001, 318 с.
129. Технологические схемы очистных и подготовительных работ на угольных шахтах. – М.: Недра, 1972,84 с.

130. Тимашёв С. Ф. Проявление макрофлуктуаций в динамике нелинейных систем. - Физическая химия, том 69, № 8, 1995, стр. 1349-1354.
131. Тихонов А.Н., Арсенин В. Я. Методы решения некорректных задач. - М.: Наука, 1974.
132. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. 4-е издание. – М.:Наука, 1972, 735 с.
133. Топливо твердое. Методы определения выхода гуминовых кислот. ГОСТ 9517-94.
134. Топливо твердое. Методы определения кислорода. ГОСТ 2408.3-95.
135. Топливо твердое. Методы определения углерода и водорода. ГОСТ 2408.1-95.
136. Топливо твердое. Методы определения химического состава золы. ГОСТ 10538-87.
137. Топливо твердое минеральное. Методы определения азота. ГОСТ 28743-95.
138. Топливо твердое минеральное. Методы определения влаги. Определение влаги аналитической пробы, ГОСТ 27314-91.
139. Топливо твердое минеральное. Методы определения выхода летучих веществ. ГОСТ 6382-91.
140. Топливо твердое минеральное. Методы определения диоксида углерода карбонатов. ГОСТ 13455-91.
141. Топливо твердое минеральное. Методы определения зольности. ГОСТ 11022-95.
142. Топливо твердое минеральное. Методы определения мышьяка. ГОСТ 10478-93.
143. Топливо твердое минеральное. Методы определения общей серы сжиганием при высокой температуре. ГОСТ 2059-95.
144. Топливо твердое минеральное. Методы определения плавкости золы. ГОСТ 2057-94.

145. Топливо твердое минеральное. Методы определения плотности. ГОСТ 2160-92.
146. Топливо твердое минеральное. Методы определения форм серы. ГОСТ 30404-94.
147. Топливо твердое минеральное. Методы определения хлора. ГОСТ 9326-90.
148. Топливо твердое минеральное. Определения высшей теплоты сгорания и вычисления низшей теплоты сгорания. ГОСТ 147-95.
149. Топливо твердое минеральное. Определения общей серы. Метод Эшка. ГОСТ 8606-93.
150. Топливо твердое. Ситовый метод определения гранулометрического состава. ГОСТ 2093-82.
151. Трофимов А.А. Основы маркшейдерского дела и геометризация недр. – М.: Недра, 1985, 336 с.
152. Тулдава Ю.А. Частотная структура текста и закон Ципфа. В сб: Ученые записки Тартуского университета. – Тарту: . Выпуск 711, 1985, с. 93-116.
153. Угли бурые, каменные, антрацит и горючие сланцы. Ускоренный метод определения влаги. ГОСТ 11014-81.
154. Угли бурые, каменные, антрацит и сланцы горючие. Метод определения массовой доли галлия. ГОСТ 12711-77.
155. Угли бурые, каменные, антрацит и термоантрацит. Метод определения механической прочности. ГОСТ 15490-70.
156. Угли бурые, каменные и антрацит. Методы определения бериллия, бора, марганца, берия, хрома, никеля, кобальта, свинца, галлия, ванадия, меди, цинка молибдена. ГОСТ 28974-91.
157. Угли бурые, каменные и антрацит. Общие технические требования. ГОСТ 51591-2000.
158. Угли бурые, каменные, антрацит углистые аргиллиты и алевролиты. Методы определения содержания германия. ГОСТ 10175-75.

159. Угли бурые, каменные, антрацит. Ускоренный метод определения максимальной влагоемкости. ГОСТ 26898-86.
160. Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам. ГОСТ 25543-88.
161. Угли каменные и антрацит. Метод определения термической стойкости. ГОСТ 7714-75.
162. Угли каменные и кокс. Метод определения фосфора. ГОСТ 1932-82.
163. Угли каменные. Методы определения окисленности. ГОСТ 8930-94.
164. Угли каменные. Методы определения пластометрических показателей. ГОСТ 1186-87.
165. Уголь каменный и антрацит. Методы петрографического анализа. ГОСТ 9414.3-93.
166. Уголь каменный. Метод определения спекающей способности по Рога. ГОСТ 9318-91.
167. Уголь остается основным энергетическим сырьем. Mining J. (пер.), 333, № 8547, 1999, с. 18.
168. Урманцев Ю.А. Симметрия природы и природа симметрии. - М.: Наука, 1974
169. Учение о множествах Георга Кантора. В сб: Новые идеи в математике. - Санкт-Петербург: сб. № 6, 1914.
170. Ушаков И.Н. Горная геометрия. – М.: Недра, 1979, 440 с.
171. Федер Енс. Фракталы. – М.: 1991, Мир, 254 с.
172. Фрат Г. Внедрение геоинформационных технологий в угольной промышленности Украины. – Глюкауф (рус.) № 1 (июнь), 2001, с. 46-51.
173. Хайтун С.Д. Проблемы количественного анализа науки. - М.: Наука, 1989, 280 с.
174. Хастингс Н., Пикок Дж. Справочник по статистическим распределениям. – М.: Статистика, 1980, 95 с.
175. Цветков В.К. Расчет рациональных параметров горных выработок. – М.: Недра, 1993, 252.

176. Чернышев М.К., Гаджиев М.Ю., Математическое моделирование иерархических систем. – М.: Наука, 1983, 192 с.
177. Шадрин А.В. и др. Автоматизация текущего прогноза внезапных выбросов угля и газа в Кузбассе. В сб. научн. тр., Кемерово: НТЦ Кузбассуглетелеком, №м 17, 2001, с. 96-103.
178. Шаклейн С.В., Рогова Т.Б. Практические вопросы геометризации мощности и основных показателей качества угольных пластов. – Кемерово: Кузбасский ГТУ, 1997, с. 59.
179. Шатагин Н.Н., Щеглов В.И. Моделирование месторождений и рудных тел на ЭВМ (диалоговые системы). - М.: Недра, 1989, 152 с.
180. Шилейко А.В., Кочнев В.Ф., Химушин Ф.Ф. Введение в информационную теорию систем. – М.: Радио и Связь, 1985, 278 с.
181. Шрейдер Ю.А., Шаров А.А. Системы и модели. – М.: Радио и связь, 1982, 152 с.
182. Шустер Г. Детерминированный хаос. – М.: Мир, 1988, 240 с.
183. Экономико-математическое моделирование и проектирование карьеров. М.: Недра, 1977, 200 с.
184. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. – М.: Наука, 1969. 424 с.
185. Эталон проекта ликвидации шахты (разреза). – М.: Минтопэнерго, 1999, 126 с.
186. Bedrosian S. D. The role of pattern recognition in VLSI testing - Int. Test Conf.: Test. Impact Des. and Technol., Washington, D.C., Sept. 8-11, 1986: Proc.. Washington (D. C.). 1986, p. 750-754.
187. Burr D.J. A neural network digit recognizer – Proc. IEEE Inc. Conf. Syst., Man, and Cybern., Atlanta, Ga, N.Y., Oct. 14-17, 1986, vol. 2 h. 1621-1625.
188. Entrog U, Eineneue Interpolationsmethode fur digitable Gelandemodell// Vermessungswessen und Raumordnung 1978 H 40, № 1, S 16-21.
189. Feigenbaum M. J., Quantitative Universality for a Class of Nonlinear Transformations, J Statistical Physics 19, 1978, p. 25-52.

190. Grossmann S., Thomae S., Invariant Distributions and stationary correlation functions of one-dimensional discrete processes, *Zeitschr, F. Naturforschg*, 32A, 1977, 1353-1363.
191. Kubrin S.S., Vasilenko V.I., Software components for mine surveying and geology, *Computer applications and operations research in mine industries*. 2-nd Regional APCOM 97 Symposium, Moscow, 1997, p. 489-490.
192. Lotka A. The frequency distribution of scientific productivity. *J. Washington academy of science*, 1926, v.16, N 12.
193. Mandelbrot B.B., *The Fractal Geometry of Nature*, Freeman, San Francisco, 1982.
194. Mandelbrot B. B., Van Ness J. W., *Fractional Brownian Motions, Fractional Noises and Applications*, SIAM Review, Vol. 10, No. 4, 1968, pp. 422-437.
195. Ritter H., Schulten K. Convergence properties of kohonen's topology conserving maps - *Biol. Cybern.* 1988. 60, N 1, p. 59-71.
196. Virtual mine view.//*Austral Mining*/v 92, №10, 2001, p. 17.
197. Zwicky F., *Morphology and nomenclature of jet engines*, Aeron, Eng. Review June, 1947.
198. Zwicky F., *Morphology of propulsive power. Monographs on Morphological, Research*, № 1, Societe for Morphological Research, Pasadena, California, 1962.