

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«МИСиС»
ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ
Кафедра «Геотехнологии освоения недр»

На правах рукописи
УДК 622.1; 622.28

Стадник Нино Мамукаевна

**РАЗРАБОТКА НАУЧНО-
МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ
ЗАПАСОВ УГОЛЬНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Специальность 25.00.35- «Геоинформатика»

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Кузнецов Юрий Николаевич

Москва 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ	2
ВВЕДЕНИЕ	4
1. АНАЛИЗ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ	8
1.1. Анализ состояния вопроса информационного обеспечения при проектировании шахт	8
1.2. Анализ развития ГИС и ГГИС	14
1.3. Анализ геоинформационного моделирования при проектных работах	21
1.4. Анализ методов прогнозирования и оценки запасов при использовании ГГИС.	33
1.5. Формирование цели и постановка задач исследований.	38
ВЫВОДЫ	40
2. ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	42
2.1. Обоснование структуры геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений.	42
2.2. Геоинформационное обеспечение принятия технологических, инвестиционных и управленческих решений по интенсивной отработке запасов угольных месторождений	50
2.3. Адресно-ориентированная систематизация георесурсов.	55
2.4. Обоснование необходимости интеллектуального анализа горно- геологической информации при формировании геоинформационной базы.....	60
2.5. Автоматизированный анализ и синтез проектных решений при формировании геоинформационной базы.....	69
ВЫВОДЫ	74

3. РАЗРАБОТКА НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ РЕАЛИЗАЦИИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	76
3.1. Цифровое 3D-моделирование угольных месторождений на основе использования теории сплайнов.	77
3.2. Повышение качества прогнозной геологической информации при автоматизированном проектировании отработки запасов пластовых месторождений.....	88
3.3. Разработка алгоритма автоматизированного прогнозирования горно- геологических параметров угольных месторождений.....	99
3.4. Формирование нейросетевой модели распознавания геоструктур в 3D- блочной модели пластового месторождения.	103
ВЫВОДЫ	108
4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ПРАКТИКЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ШАХТ	110
4.1. Рекомендации по выбору прикладных программных пакетов, используемых при прогнозировании и оценке запасов угольных месторождений.....	110
4.2. Рекомендации по использованию алгоритма прогнозирования горно- геологических параметров в условиях шахты имени «7 Ноября» ОАО «СУЭК-Кузбасс».....	118
4.3. Апробация нейросетевой модели распознавания геоструктур для угольного пласта В-26 поля шахты «Северная» ОАО «СУЭК-Кузбасс».	123
ВЫВОДЫ	132
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	133
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	135

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы резко повысился практический интерес к использованию геоинформационных систем при моделировании и оптимизации проектных технологических решений по отработке запасов месторождений полезных ископаемых на основе системного и комплексного учета больших объемов исходной информации и ее интеллектуальной графической интерпретации. При этом отличительной особенностью данных, используемых при создании геоинформационных систем горного профиля, является уровень их достоверности, который достаточно трудно определить численно. Как правило, при использовании геоинформационных технологий предполагается тождественное отображение природных объектов, их свойств и структур на основе цифрового моделирования. В этой связи любые неточности, явно или косвенно заложенные в геоинформационный массив данных, автоматически приводят к погрешностям принимаемых технологических, инвестиционных и управленческих решений, а при значительных ошибках – к возникновению чрезвычайных и нештатных ситуаций в производственной среде. Недостаточная надежность исходных геологических материалов существенно сказывается на качестве проектных решений по отработке запасов угольных месторождений и приводит к необходимости резервирования производственных возможностей технологических звеньев шахт. В частности, при определении производственной мощности шахты используют сведения о распределении и об общем объеме запасов полезного ископаемого в границах горного отвода, мощности, углах падения, нарушенности, взаимном расположении и газоносности угольных пластов, зольности угля и др. Большинство этих сведений используют и при обосновании схем вскрытия и подготовки запасов шахтного поля, порядка разработки угольных пластов, определении параметров систем разработки и выборе средств механизации горных работ. Достоверные знания о количественных и качественных характеристиках георесурсного потенциала

горного предприятия, интеллектуальный анализ данных и возможность их привязки к нормативно-правовому обеспечению недропользования позволяют разрабатывать качественно новые геоинформационные модели в горно-геологических информационных системах (ГГИС), учитывающие особенности горно-геологической ориентации на основе использования имеющейся геоинформации и нормативно-методической базы проектирования отработки запасов угольных месторождений.

В связи с вышеизложенным разработка научно-методического обеспечения геоинформационной базы прогнозирования и корректной оценки запасов угольных месторождений является актуальной научной и практической задачей.

Основная идея работы состоит в выявлении закономерностей пространственного распределения характеристик природной среды, являющих собой базовое условие корректного зонирования запасов шахтных полей при цифровом моделировании угольных месторождений.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

1. Современные ГГИС должны включать в свою структуру модули автоматизированного анализа и синтеза прогрессивных проектных решений на основе формирования комплекса технических условий на проектирование с учетом всех нормативных требований и закономерностей пространственного распределения горно-геологических характеристик участка недр.

2. Формирование геоинформационной базы с использованием современных методов анализа пространственных характеристик природной среды и искусственного интеллекта позволяет реализовать адресно-ориентированный подход к прогнозной оценке и зонированию запасов конкретного угольного месторождения при автоматизированном проектировании шахт.

3. Основными структурными элементами интегрированной геоинформационной базы являются подсистемы обработки горно-геологических данных и нормативной документации, а также подсистема анализа и синтеза проектных решений.

4. При реализации моделей и алгоритмов формирования геоинформационной базы использование метода сплайн-функций Грина позволяет наиболее адекватно описать динамику распределения горно-геологических характеристик в исследуемой углевмещающей толще; а применение метода сетей Кохонена - осуществить в автоматизированном режиме зонирование угольного месторождения по имеющимся горно-геологическим данным.

Научная новизна результатов исследований:

1. Обоснованы направления повышения качества создания и использования ГГИС в практике проектирования отработки запасов угольных месторождений;
2. Разработаны методические рекомендации по обработке горно-геологических данных для повышения достоверности 3D-моделей угольных месторождений;
3. Разработан алгоритм автоматизированного прогнозирования горно-геологических характеристик угольных месторождений в трехмерном пространстве;
4. Разработаны нейросетевая модель распознавания геоструктур в блочной 3D-модели угольного месторождения и алгоритм ее эксплуатации, позволяющие выделять участки шахтопластов с выдержанными параметрами и пригодные для отработки их запасов монотехнологиями;
5. Предложен методический подход к формированию геоинформационной базы с адресно-ориентированной структурой для поиска и синтеза рациональных пространственно-планировочных и технологических решений по отработке запасов геоструктур угольных месторождений.

Научное значение диссертации заключается в развитии научно-методической базы корректного прогнозирования и зонирования горно-геологических условий участков недр для обоснования прогрессивных пространственно-планировочных и технологических решений по подземной отработке запасов угля.

Практическое значение диссертации заключается в разработке рекомендаций по использованию геоинформационной базы для повышения эффективности поддержки принятия решений в ГГИС.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций работы подтверждаются:

- корректным использованием методов геостатистики, системного и кластерного анализа, теории вероятностей и прогнозирования методом сплайн-функций;
- формированием геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений с использованием современных информационных технологий и программных продуктов;
- работоспособностью предложенных моделей и алгоритмов при сравнении с результатами экспертной оценки качества геологической информации, используемой в проектах действующих угольных шахт.

Апробация работы. Основные положения диссертации докладывались на ежегодных международных научных симпозиумах в рамках «Недели горняка» (Москва, 2011-2016), на научных семинарах кафедр «Системы автоматизированного проектирования», «Подземная разработка пластовых месторождений» МГГУ (Москва, 2011-2014), «Геотехнологии освоения недр» НИТУ «МИСиС» (Москва, 2015-2016).

Реализация выводов и рекомендаций. Разработанные модели и алгоритмы формирования геоинформационной базы для проектирования отработки запасов угольных месторождений рекомендованы к использованию в практике разработки проектов высокопроизводительных выемочных участков на шахтах им. 7 Ноября и «Северная» ОАО «СУЭК-Кузбасс», а также в учебном процессе при подготовке специалистов по профилю «Подземная разработка пластовых месторождений» в НИТУ «МИСиС».

1. АНАЛИЗ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

1.1. Анализ состояния вопроса информационного обеспечения при проектировании шахт

В настоящее время очень возросло внимание к развитию методологической базы проектирования шахт. Разработаны научно обоснованные концепции поэтапного проектирования шахт, оптимизации проектных решений на графах и сетях, принятие сложных решений, многокритериальной оптимизации и оценки качества проектов горнодобывающих предприятий.

Разработка проектов или проектирование – это особый вид деятельности, которая направлена на решение комплекса взаимосвязанных задач технико-технологического, архитектурно-строительного, социально-экономического и экологического характера. Проектирование отработки запасов угольных месторождений включает:

- определение целей и оценку эффективности реализации проекта,
- конструирование экологически приемлемых вариантов технологической схемы шахты,
- оптимизацию параметров приемлемых вариантов технологической схемы шахты,
- обоснование производственных возможностей и пропускной способности технологических звеньев,
- детальное описание и графическое представление всех рассматриваемых и принятых решений на основе корректного использования нормативов, исходной информации и научно-производственных знаний.[23, 29, 104]

Проектирование обработки запасов угольных месторождений и строительства подземных сооружений представляет собой процесс переработки информации и сводится к выполнению комплекса информационно взаимосвязанных процедур, которые обеспечивают принятие соответствующих проектных решений и выпуск проектной документации в заданных объеме и формате. Принятие решений в общем случае состоит в выборе его из множества возможных вариантов по некоторым критериальным показателям. Это наиболее ответственный этап проектирования, от которого зависит технический уровень и качество проекта. [71]

Таким образом, решение задач проектирования неразрывно связано с проблемой оптимизации, то есть с поиском наилучших проектных решений, выбором одной из альтернативных технологических схем, одного из значений их параметров, вариантов перспективного развития.[10, 21, 26, 33, 39, 41] Соответственно, принятие проектных решений осуществляется на разных иерархических уровнях, что требует совместного рассмотрения и учета влияния многочисленных природных, экономических, социальных, технических и технологических факторов не только на отдельные звенья горного производства, но и на предприятие в целом, а также в определенной мере на элементы инфраструктуры, отрасли промышленности, окружающую природную среду. Наиболее универсальными инструментами принятия проектных решений являются математическое моделирование и системы автоматизированного проектирования (САПР) горных предприятий.

К основным задачам совершенствования проектирования угольных месторождений относятся:

1. Совершенствование технологических, объемно-планировочных и конструктивных проектных решений;
2. Индустриализация строительства с использованием прогрессивных материалов изделий;
3. Обеспечение высокой обоснованности и достоверности проектных технико-экономических показателей;

4. Оптимизация проектных решений и автоматизация проектирования.

Как правило, блок-схема информационного обеспечения проектирования отработки запасов угольных месторождений представлена в соответствии с рисунком 1.

Основными исходными материалами для проектирования являются: задание на проектирование, геологические, инженерно-геологические, общестроительные данные, данные по электроснабжению, внешнему транспорту, водоснабжению, теплоснабжению, вентиляции и др.[32, 37, 72, 75, 77, 81] При разработке проекта шахты особая роль принадлежит исходным геологическим материалам. Одними из важнейших геологических материалов являются данные о балансовых и забалансовых запасах полезных ископаемых, об основных и попутных ценных компонентах по категориям запасов с указанием средних показателей их качества. Помимо информации о разведанных запасах основными геологическими исходными данными для проектирования являются и общие сведения о месторождении, сведения о его геологическом строении, горно-геологических, гидрогеологических и горнотехнических условиях эксплуатации. Качество данных о результатах детальной разведки геологических участков и месторождений угля, представляемых геологоразведочными организациями, определяется полнотой и точностью содержащейся в них информации. Действующими нормативными документами установлены довольно существенные допустимые погрешности геологических данных.[26, 29, 39, 87, 88, 92] Однако на практике погрешности оказываются значительно большими. Имеют место случаи существенного уменьшения исходных балансовых запасов. Ко всему прочему, в геологических отчетах часто отсутствуют сведения о малоамплитудной тектонической нарушенности и размывах пластов. Недостаточная надежность исходных геологических материалов существенно влияет на качество проектирования отработки запасов угольных месторождений и приводит к необходимости резервирования производственных возможностей технологических звеньев шахт.



Рисунок 1- Блок-схема информационного обеспечения проектирования отработки запасов угольных месторождений

Опыт проектирования отработки запасов угольных месторождений показывает, что достаточно часто погрешности и неточности обнаруживаются при прогнозировании горно-геологических данных, газоносности пластов, оценке мест расположения возможных нарушений и так далее. [3, 98, 102, 105, 106, 108–110]

На основании вышеизложенного можно уверенно утверждать о доминирующей роли геологической базы в информационном обеспечении проектных работ. Отсюда исходит необходимость наличия в геологической части только достоверных данных. Неточные сведения влекут за собой неверные проектные решения по многим элементам технологической системы шахты, ведут к экономическому ущербу при эксплуатации шахты. [13, 40, 52, 141]

С внедрением информационных систем в горное производство, проектирование основных процессов уже стало в большей степени регламентированным, систематизированным и многоальтернативным, допускающим формирование множества проектных решений и по их оценке выбор наиболее эффективных. Однако наряду с достоинствами имеющихся информационных технологий ярко выделяется необходимость развития, совершенствования и разработки научно-методических аспектов геоинформационного обеспечения прогнозирования и оценки запасов для обеспечения автоматизации отработки запасов угольных месторождений. [4]

Это обусловлено прежде всего тем, что современные компьютеры обеспечивают графическое и интерактивное автоматизированное проектирование. Однако при реальном проектировании ряд процессов технологической подготовки производства, таких как выбор и обоснование схемы вскрытия запасов, раскройки шахтного поля, системы разработки угольных пластов и др. в настоящее время далеко не в полной мере автоматизированы и до сих пор выполняются специалистами-экспертами на основе личных знаний, интуиции и сложившихся традиций. Современные горно-геологические информационные системы (ГГИС) не включают в себя

методы и средства, реализующие вышеуказанные процессы проектирования из-за отсутствия комплексного подхода к формированию нормативно-правового и информационного обеспечения САПР отработки запасов угля.

Поэтому на основании вышеизложенного можно сделать вывод, что основополагающим этапом формирования геоинформационного обеспечения горной промышленности должно быть создание фундаментальной базы для работы с адекватной геолого-маркшейдерской моделью месторождения полезных ископаемых и эксплуатирующего его горнодобывающего предприятия, которая позволит решить основные инженерно-технические задачи горного производства.

1.2. Анализ развития ГИС и ГГИС

В настоящее время одними из важнейших задач современных наук о Земле является анализ, интерпретация, обработка и представление этих данных и новых получаемых результатов в процессе функционирования горных предприятий. Это связано прежде всего с тем, что в мировой практике уже давно используются системы постоянного мониторинга и геофизических наблюдений и наблюдается значительный рост объемов географически привязанных горно-геологических данных. Соответственно, на данный момент создание современных интеллектуальных информационных систем, которые не только дают возможность доступа к данным различных категорий, но и способны выполнять различные операции: от простейшей обработки до сложного многоуровневого интеллектуального анализа, становится первостепенной и значимой задачей.

С решением выше поставленной задачи в настоящее время отчасти призваны справляться так называемые географические информационные системы (ГИС). Подобные системы направлены на многоуровневое рассмотрение, оценку, обработку и обобщение пространственной информации и достаточно широко применяются в самых разнообразных сферах деятельности. Классическое определение географических информационных систем (ГИС), которое дается в учебниках по горной информатике, описывает ГИС, как информационную систему, позволяющую обеспечить новые знания и новую информацию о пространственных данных на основе их координат, а также производящую сбор, распространение, хранение, обработку и отображение этих данных. [119, 151][108]

В настоящее время около 80% всех данных, производимых министерствами, ведомствами и частными компаниями, можно отнести к типу пространственных данных, образующих таким образом значительную часть национальных информационных ресурсов. Их эффективное

использование предполагает наличие организационных структур и инструментов, позволяющих оперировать ими. Такие инструменты — географические информационные системы (ГИС) — известны с начала 60-х годов XX в.

Под географической информационной системой (ГИС) понимается аппаратно-программный человеко-машинный комплекс, обеспечивающий сбор, обработку, отображение и распространение пространственно-координированных данных, интеграцию данных, информации и знаний о территории для их эффективного использования при решении научных и прикладных задач, связанных с инвентаризацией, анализом, моделированием, прогнозированием и управлением окружающей средой и территориальной организацией общества.[139, 140, 142]

Развитие теории моделирования в ГИС достигнуто в результате внедрения в практику нейронных сетей для многомерных классификаций и прогнозирования, «интеллектуализации» ГИС, обращения к объектно-ориентированным моделям в ГИС, развития теории «нечетких знаний», совершенствования систем управления базами пространственных данных и знаний, разветвленных пользовательских систем и сетевых структур, а также интегрированных ГИС. Сейчас применение ГИС из стадии экспериментов перешло в сферу практического использования, причем не в отдельных пунктах, а по всему фронту научных, практических и управленческих областей. Все больше проектов стало выполняться не на персональных компьютерах, а на рабочих станциях, с широким использованием компьютерных сетей. В настоящее время еще более возросло внимание к интеллектуальному анализу данных и к полномасштабным системам поддержки принятия решений на основе ГИС.

Разработаны научно обоснованные концепции поэтапного проектирования ГИС, геологического моделирования пространственных данных и подсчета запасов в ГИС, ведутся работы в области интеллектуализации и поддержки принятия решений в ГИС.

Следует помнить, что эксплуатация месторождения полезных ископаемых прежде всего связана с постоянной необходимостью в решении различных информационно-аналитических задач. Кроме того сама структура горно-геологических данных, их координаты и атрибуты предполагают трехмерную ориентацию в пространстве, не стоит забывать и о необходимости применения методов математического моделирования для прогноза и оценки залежей полезных ископаемых, о необходимости календарного планирования горных работ, о возможности визуализации горно-геологических данных и т.п. Следовательно, в настоящее время особое внимание уделяется, так называемым, интегрированным горно-геологическим информационным системам (ИГГИС). По своему функционалу они достаточно схожи с традиционными ГИС и ГГИС. Основным их отличием является возможность решать задачи, связанные с 3-D пространством.

В настоящее время информационные технологии активно используются в горной промышленности. Начиная от разведки и кончая переработкой полезных ископаемых, эти технологии позволяют специалистам получать много преимуществ. Примером может служить ускоряющийся процесс разработки и производства нового мощного горного оборудования. [44, 45] Сегодня вопрос автоматизации как всего горного производства, так и различных функции его управления стоит на первом месте. В связи с этим, рынок программного обеспечения в части специализированных программ связанных с геоинформационными технологиями существенно развился и сейчас уже насчитывается десятки сотен подобной продукции, обеспечивающей автоматизацию различных отраслей горнодобывающего предприятия

В 60-е годы XX века был совершен прорыв в области автоматизации операций, связанных с пространственным описанием горно-геологических данных. Это позволило горнодобывающим компаниям более гибко и быстро оценивать требуемые вложения денежных средств в производство. Таким

образом, первое развитие ГИС-технологий было связано прежде всего оценкой запасов месторождения.

Следующее улучшение качества работы горнодобывающих предприятий было связано с возможностью применения 3-D блочного цифрового моделирования и развитием математических методов в области прогноза и геостатического анализа горно-геологических данных. Именно с этими немаловажными факторами и связано последующее развитие ГИС-технологий в начале 1970-х и конце 1980-х годов. [117]

Возможность создания цифровых блочных моделей привело к необходимости наиболее жестко контролировать их проектирование. Ко всему прочему горно-геологические данные стали рассматриваться прежде всего как трехмерные пространственные объекты. Поэтому следующая степень развития ГИС-технологий связана с визуализацией и 3-D моделированием месторождений полезных ископаемых.[46, 154, 155] Технология трехмерного геометрического моделирования и визуализации добавила новые тенденции в конструировании 3-D моделей и их последующем анализе. В настоящее время эта волна начала спадать, однако визуализация горно-геологических данных по-прежнему стоит на первых позициях.

Таким образом, к концу 1980-х годов горнодобывающие предприятия получили полностью или частично автоматизированные области производства в части календарного планирования, оптимизации и горного проектирования. Развитие информационных технологий и 3-D моделирования позволило создавать программные пакеты, отличающиеся высоким качеством визуализации трехмерных объектов. Однако, тем не менее, вопрос автоматизации горного производства в целом до сих пор остается не решенным.

Сегодняшние тенденции развития ГИС-технологий предполагают интеллектуализацию ГГИС, проактивный анализ данных, возможность учета специфики горно-геологических и технических условий конкретного

предприятия, они должны также учитывать возможность динамического развития производительности горных предприятий. Глобальная автоматизация горного производства должна быть обеспечена путем разработки модульных программных продуктов с учетом возможности их интеграции в единый программный комплекс. [118]

Как правило, в настоящее время на производстве введены в эксплуатацию программные модули, обеспечивающие геологическое, маркшейдерское проектирование горных работ, календарное планирование горных работ и другие. Программы такого рода используются для автоматизации отдельных задач и их оценивают в зависимости от нужд конкретного предприятия. Обычно предполагается следующая классификация подобного рода программных продуктов:

- ***программные системы общего назначения для горного предприятия***—подобные системы на мировом рынке предлагают 5 лидирующих компаний: Maptek, Mintec, Geovia Surpac, Micromine и Datamine. Основными разделами этих систем является моделирование горно-геологических данных, оценка запасов, маркшейдерское обеспечение проектирование горных работ и т.д.

- ***специализированные горные программы*** - программы для областей технологии, которые пока не обеспечиваются универсальными горными системами. Обычно это такие программные пакеты как экология, вентиляционные работы, взрывные работы и т.д.

- ***программные продукты, обеспечивающие управления производством*** - как правило, к этой категории относят управление горным транспортом, экскаваторами, буровыми станками и т.п. Такие системы предлагаются ограниченным количеством компаний, среди которых выделяют 4-х лидеров: Modular Mining Systems, Wenco, Tritronics и Aquila. Однако в последнее время большее значение уделяется интеграции этих компаний с компаниями-производителями оборудования для горного производства.

- **программные продукты, обеспечивающие учет и оценку результатов производства** - предназначением этих систем является ведение производственного учета в реальном времени и формирование всевозможных отчетов.

В настоящее время до сих пор остается открытым вопрос эффективности и функциональности программных пакетов, реализующих такие области ведения горных работ, как вентиляция, геомеханика, электроснабжение и т.п. Применяемые сейчас на производстве программные продукты только частично обеспечивают автоматизацию проектирования и планирования горных работ, в большинстве случаев вообще рассматривается только оценка запасов. Соответственно горная промышленность в основном применяет и рассматривает информационные технологии лишь для возможности эффективно объединять и использовать горно-геологические и горно-технические данные. Но ситуация очень быстро меняется. Количество новых программных пакетов для горного производства растет быстро. Основные компании, предлагающие огромное количество самых разнообразных прикладных модулей для горного производства представлены ниже:

BUREAU DE RECHERCHES GEOLOGIQUES ET MINIERES (BRGM);

CARLSON SOFTWARE;

DASSAULT SYSTEMES GEOVIA;

DATAMINE (Geology and Mining Software);

DKT GEOSOLUTIONS INC;

EMERSON PROCESS MANAGEMENT (ROXAR)

ESRI;

GEOMEM LIMITED;

GEOSOFT INC.;

GEOSTATS PTY LTD.;

GEOVARIANCES;

LYNX GEOSYSTEMS SA (PTY) LTD;

МАРТЕК;
MICROMINE;
MINEMAP PTY LTD;
MINEMAX PTY LTD;
MINESOFT;
MINTEC INC.;
ROCKWARE INC.;
RUNGEPINCOCKMINARCO RPM;
SNOWDEN GROUP;
SURQUIK SOFTWARE;
TATA CONSULTANCY SERVICES LIMITED (TCS);
VENTSIM.

Анализ горного программного обеспечения [27, 43, 44, 100] показал, что программные системы общего назначения для горного предприятия являются достаточно емкими для применения в условиях производства и они не выполняют многие функции, которые реализованы в других горных программных системах. Однако они являются основополагающими в моделировании горных объектов. Ко всему прочему не стоит забывать, что существует необходимость в учете и регулярной актуализации нормативно-методической базы недропользования всей угольной отрасли, которая должна содержать тематическую подборку нормативных документов, указатель российских и международных стандартов, профильный глоссарий для интерактивного изучения нормативной базы в процессе проектирования и согласования с ней проектных решений. Такими функциями не обладает ни одна известная программная реализация для управления горным производством.

1.3. Анализ геоинформационного моделирования при проектных работах

Моделирование угольных месторождений в различных программных пакетах основывается на некоторых базовых принципах (рисунок 2).[59]

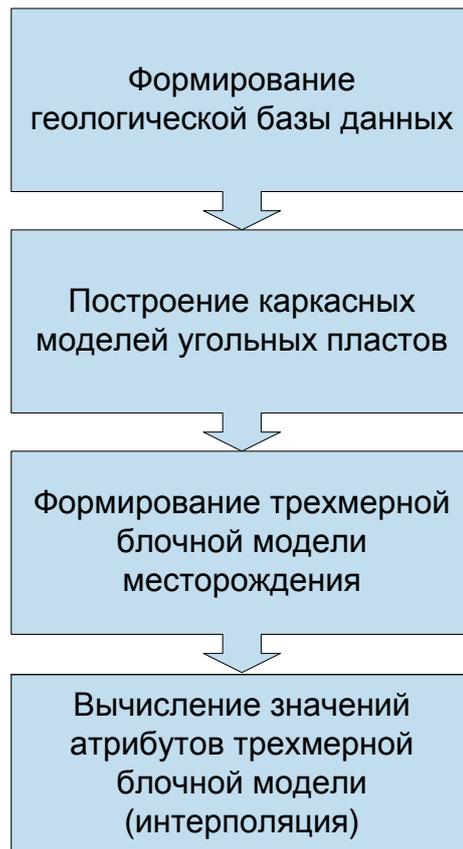


Рисунок 2- Этапы моделирования угольных месторождений при оценке запасов

Рассмотрим подробнее каждый из этапов.

Основой всех построений и расчетов, выполняемых в программных пакетах, также как и основой для подсчета запасов и обоснованием для принятия технико-экономических решений является геологическая база данных. Формат и структура данных в различных пакетах программ обычно различаются и, как правило, хранятся в табличном формате. Каждая таблица содержит несколько полей данных. Чаще всего используется модель реляционной (относительной) базы данных (БД) и поддерживается несколько различных типов БД, включая Oracle, Paradox и Microsoft Access. Желательно иметь поддержку открытого интерфейса

взаимодействия с базами данных (ODBC), что позволит обмениваться БД по сети. [120, 152, 153]

Обязательными являются таблица, содержащая координаты устьев скважин (рисунок 3) и таблица инклинометрии. [76]

Mandatory Table	
	<u>Fields</u>
COLLAR	hole_id
	y
	x
	z
	max_depth
	hole_path
	54 optional fields

Рисунок 3- Пример структуры таблицы «Устья скважин»

Поле **hole_id** содержит номер скважины, поля **y**, **x**, **z** – соответствующие координаты, **max_depth** – глубину скважины, **hole_path** – показывает, прямая -это скважина или изогнутая.

Таблица инклинометрии (рисунок 4) необходима для хранения информации по искривлению скважин. Поля **y**, **x** и **z** применяются в качестве хранилища данных координат точек и глубин замеров, которые были вычислены инженерным путем. Дополнительные поля для данной таблицы могут включать любую другую информацию, взятую в точке, например, данные исследований по ориентированному керну. [138]

Mandatory Table	
	<u>Fields</u>
SURVEY	hole_id
	depth
	y (calculated)
	x (calculated)
	z (calculated)
	dip
	azimuth
53 optional fields	

Рисунок 4- Пример структуры таблицы «Инклинометрия»

Обязательные поля в таблице инклинометрии (рисунок 4): Примечание: STORED (запоминаемые данные) – в полях содержатся запоминаемые данные, то есть, у вас уже есть данные по координатам, и их можно загрузить в базу данных, или CALCULATED (рассчитанные данные) – программа произведет подсчет значений для соответствующих полей x, y, z по мере востребованности этих данных.

Горно-геологические данные и данные проб могут также храниться в так называемых дополнительных таблицах. Обычно это таблицы интервальная (глубина «от» и «до»), точечная (глубина «до» и дискретная (точечные данные) (рисунок 5). [138]

OPTIONAL TABLE TYPE	
	Fields
INTERVAL ie. down hole samples	hole id samp_id depth_from y_from (calculated) x_from (calculated) z_from (calculated) depth_to y_to (calculated) x_to (calculated) z_to (calculated) 50 optional fields
POINT ie. piezometer readings	hole id depth_to y_to (calculated) x_to (calculated) z_to (calculated) 55 optional fields
DISCRETE ie. soil samples	samp_id y x z 56 optional fields

Рисунок 5- Пример структуры таблицы «Данные опробований»

Для начала построения разрезов необходимо определиться с их интервалами и расположением в пространстве наиболее подходящими для конкретного месторождения.

После построения разрезов приступают к композитированию.

Композитирование – это процесс создания укрупненных интервалов с заданными параметрами на основании интервалов опробования.

Процесс создания средневзвешенных интервалов состоит из двух главных операций:

1. Расчет положений новых интервалов по скважинам на основании интервалов, которые уже имеются в базе данных. Существует несколько методов, которые позволяют рассчитать значения ОТ-ДО новых интервалов, и они называются методами композитирования.

2. Расчет значений, связанных с новыми интервалами, полученными в результате композитирования, в первую очередь, содержаний полезного ископаемого. При этом, как правило, значения рассчитываются как средневзвешенные с использованием значений исходных интервалов.

Существует несколько методов композитирования:

- композит с ограничением содержаний (Composite – By grade constraints) - Производит валовые пробы различной длины на основании ограничений ширины и содержаний (рисунок б);
- композит по геологическим зонам (Composite – By geological constraints) - производит пробы различной длины на основании геологических ограничений;
- композит по уступам выемки (Composite – Bench elevations) - Производит усредненные пробы равной длины на основе ограничений высотной отметки;
- композит вниз по скважине (Composite -Downhole) - Производит усредненные пробы равной длины в буровых скважинах;
- композит от забоя скважины (Composite – From end of hole) - создает композит проб при помощи поиска от забоя скважины и увеличивая один критерий при уменьшении другого критерия.

Из данных методов только композитирование по уступам выемки и композитирование вниз по скважине будут производить усредненные пробы

равной длины, подходящие для использования в статистических и геостатистических расчетах.

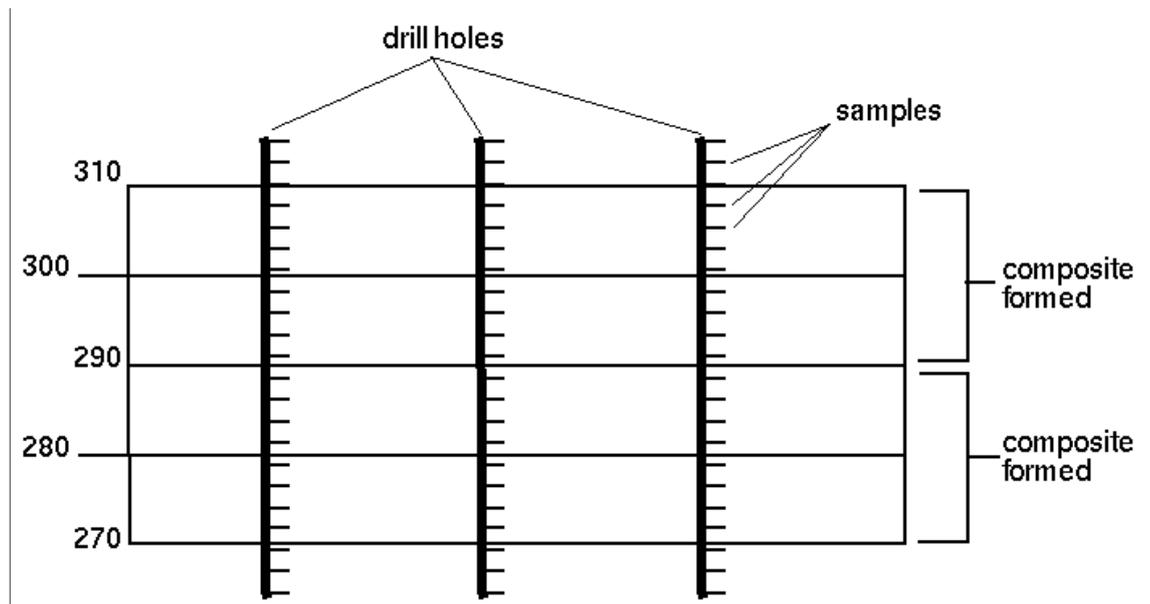


Рисунок 6- Пример композитирования с ограничением содержаний

В данном примере (рисунок 6) были определены диапазоны высот для точек композитов 280, 300, 20 с интервалом 10 и типом +/- (выше и ниже).

После композитирования отрисовывают контуры пласта в каждом разрезе (рисунок 7).

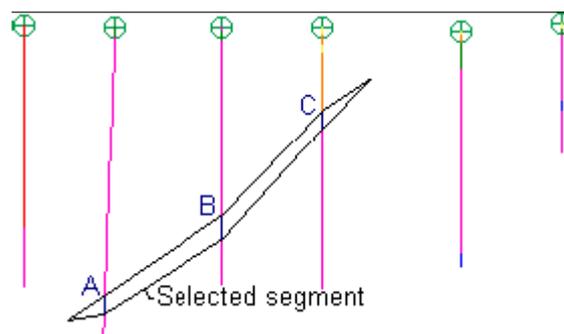


Рисунок 7- Контур пласта в разрезе

После создания контуров пласта в разрезах можно создать трехмерную модель пласта.[5]

Блочная модель – это трехмерная модель участка пространства, построенная путем разбиения этого участка на элементарные ячейки (блоки), имеющие форму параллелепипеда и содержащие в себе различные (большой частью числовые)

характеристики объекта (содержания полезных компонентов, объемный вес, тип руды и т.п.), полученные в основном в результате интерполяции стохастически расположенных пространственных данных (результатов опробования полезного ископаемого, определений объемного веса и т.п.)

Физически блочная модель представляет собой таблицу, колонками (полями) которой являются различные признаки объекта (координаты центра ячейки, содержания полезных компонентов, типы пород, руд, объемный вес и т.п.), а строками (записями) – конкретные данные по каждому элементарному блоку (ячейке) модели (рисунок 8).

Последовательность шагов при создании блочной модели:

- определение геометрии модели (координаты начальной точки, пределы, размеры элементарных блоков);
- создание пустой модели;
- создание атрибутов для каждого из полезных компонентов, для сортов угля, типов пород, объемного веса и т.п. Атрибуты можно добавлять либо удалять в дальнейшем в любой момент времени;
- создание различных ограничений с помощью плоскостей нарушений, каркасных моделей пластов;
- присвоение кодов атрибутам для обозначения различных типов углей;
- создание по данным опробования для дальнейших вычислений;
- расчет (интерполяция) числовых параметров модели для каждой ячейки с использованием различных методов.

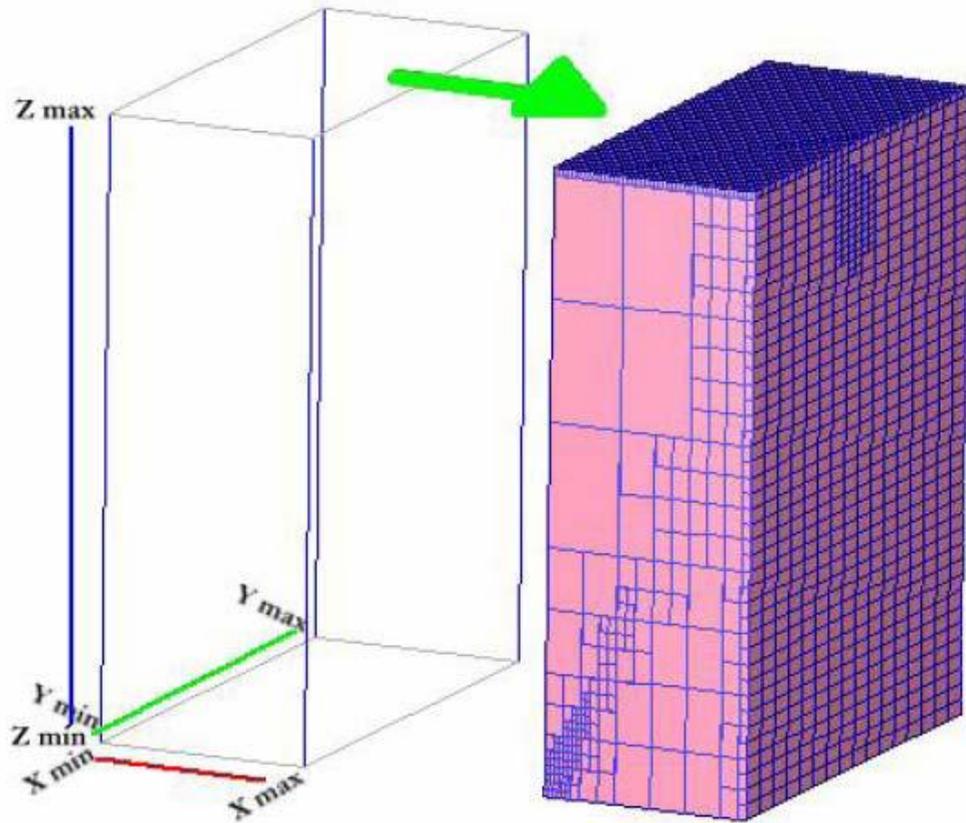


Рисунок 8- Пример трехмерной блочной модели

При ограничении данных границами горного отвода, центрoид должен находиться в пределах каркасной модели (рисунок 9).[6]

Ограничителями являются объекты, используемые для выбора блоков, из которых может быть извлечена информация или в которых может быть проведена интерполяция (либо просто присвоены определенные значения).

Для оценки запасов после создания блочной модели необходимо заполнить все атрибуты блоков. Обычно для этого применяют один из методов геостатистики.

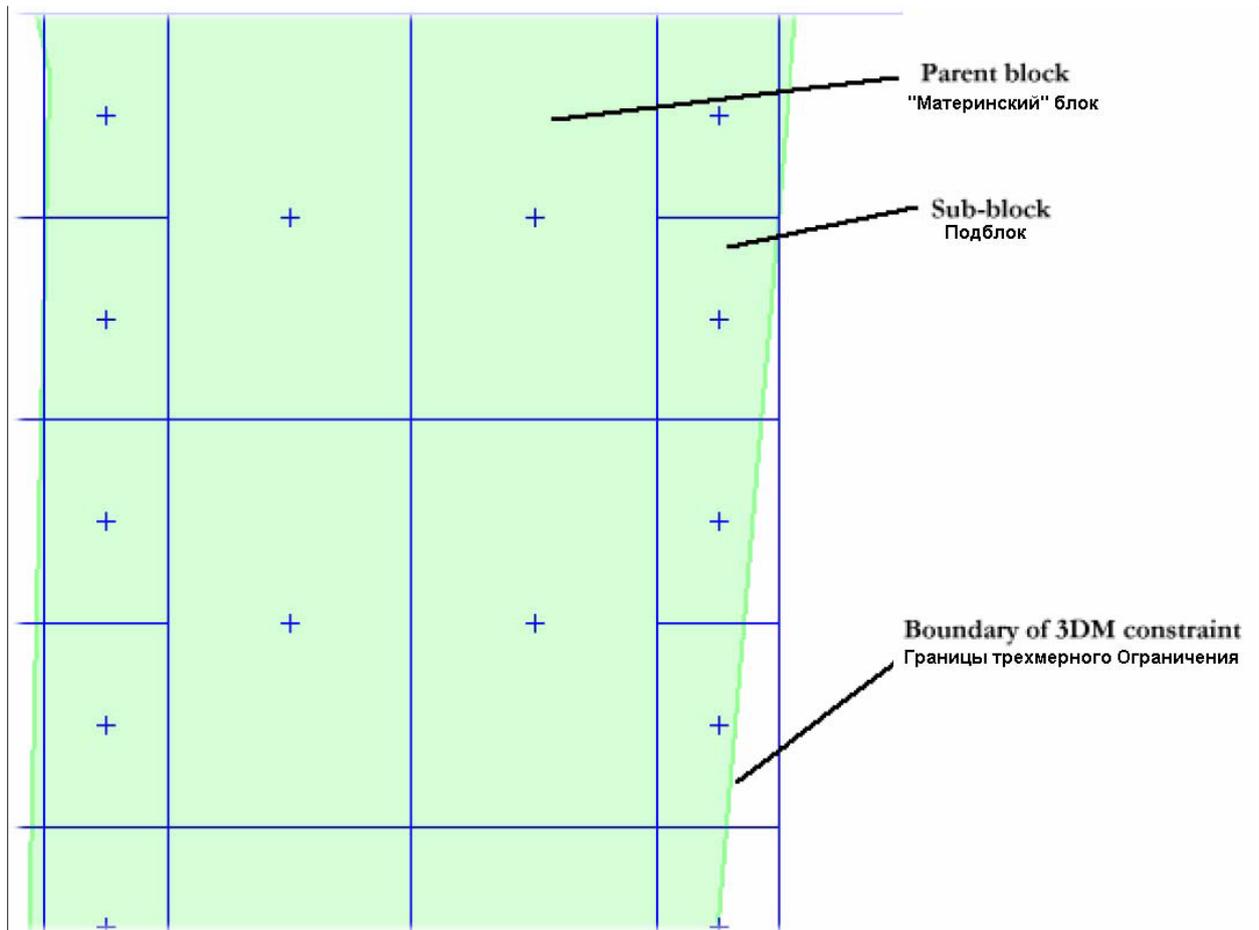


Рисунок 9- Пример трехмерной блочной модели с ограничителями

Геостатистика - это набор статистических функций, которые используются для изучения и обработки пространственного распределения различных геологических величин и решения практических задач прикладной геологии. Эти функции описывают, прежде всего, корреляцию содержаний в пространстве. Она затем используется для взвешивания известных содержаний при оценке их в блоках. [22]

Очевидно, что чем регулярнее и плотнее сеть наблюдений, тем достовернее будет результат их аппроксимации. Поэтому если длина проб колеблется в больших пределах, то необходимо провести композитирование, то есть длину сделать равной.

Прежде чем начать геостатистические расчеты, необходимо исследовать некоторые элементарные статистические параметры. Это нужно для того, чтобы определить тип распределения (нормальный, логнормальный и т.п.). Также важно

знать, не является ли распределение бимодальным и существуют ли в выборке ураганные значения.

Ниже перечислены применяемые методы вычислений и оценки (таблица 1).

Таблица 1. -Методы прогнозирования и оценки запасов месторождений полезных ископаемых

Название метода	Методика вычисления и оценки
метод ближайшего соседа	присвоение значения ближайшей точки образца - блоку
обратное расстояние	присвоение значения блоку, используя вычисления методом обратного расстояния
присвоить значение	присвоение определенного значения блокам Модели
ординарный кригинг	присвоение значений блоку, используя Кригинг с параметрами вариограмм, полученных с помощью функций геостатистики
индикаторный кригинг	данные о распределении вероятных содержаний в блоке получают при помощи методов индикаторного кригинга
присвоить из Стринга	присвоение данных из описательных полей закрытых сегментов – атрибутивным значениям блоков, которые заключены в пределах этих сегментов, распространяющихся в направлении одной из основных осей (X, Y или Z)
импортировать центроиды	присвоение значений блоку из данных текстового файла в разделенном или фиксированном формате

Практически во всех программных пакетах есть возможность подсчета запасов несколькими методами. Выделяются две основных разновидности подсчета:

1. С использованием блочной модели
2. Традиционная группа методов (блоков, вертикальных и горизонтальных разрезов и т.п.)

Первые предполагают предварительные геостатистические расчеты, создание блочной модели и интерполяцию содержаний полезных компонентов.

Вторые основаны на вычислении площадей сечений пластовых залежей и средневзвешенных содержаний в пределах этих площадей с последующим расчетом объемов пластов.[31]

Перед подсчетом запасов необходимо определить один очень важный параметр, от которого зависит точность наших вычислений.

Этот параметр – частичный процент. Он указывает на то, какая процентная доля блока, пересекаемого геометрическим объектом (это может быть поверхность ЦТМ, каркасная модель, замкнутый сегмент и т.п.) находится ниже или выше ЦТМ, внутри или снаружи КМ или сегмента (сегментов) (рисунок 10).

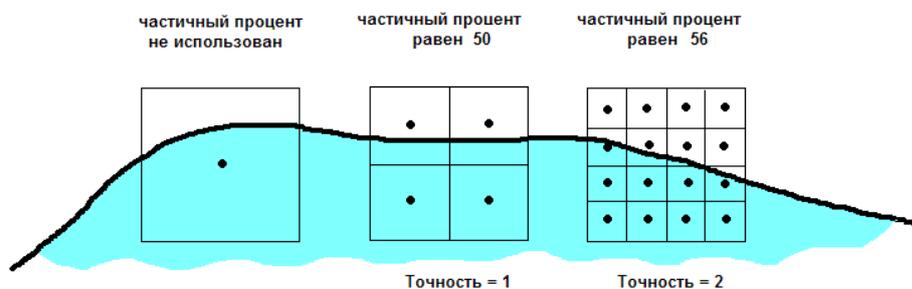


Рисунок 10- Пример включения блоков в подсчет запасов

В первом случае блок будет полностью включен в подсчет, т.к. его центр лежит внутри каркасной модели. В то же время часть блоков с рудными содержаниями будет из подсчета исключена, потому что их центры расположены вне каркасной модели.

Чтобы вычислить частичный процент, программный пакет дробит блоки на временные виртуальные субблоки. Точность 1 означает деление блока на 8 частей (делится один раз в направлении каждой из осей), точность 2 – на 32 и т.д. Это вычисление занимает достаточно много времени, которое возрастает в геометрической прогрессии при увеличении точности, поэтому значение больше 3 применяется очень редко.

Обычно программный пакет принимает блок, входящим в каркас, если центр блока или временного субблока попадает в его границы. Если центр блока или

субблока не попадает в границы, то блок считается исключенным из контура угольного пласта.

Разработка геоинформационного обеспечения отработки запасов угольных месторождений является трудоемкой и ресурсоемкой задачей и требует интеграции ряда вычислительных и информационных средств, а также применения методов искусственного интеллекта из-за необходимости конструирования и анализа проектных решений в условиях высокой неопределенности. Центральным компонентом информационного обеспечения для принятия проектных решений в настоящее время являются 3D-модели угольных месторождений (рисунок 11), которые построены в ГИС стандартными

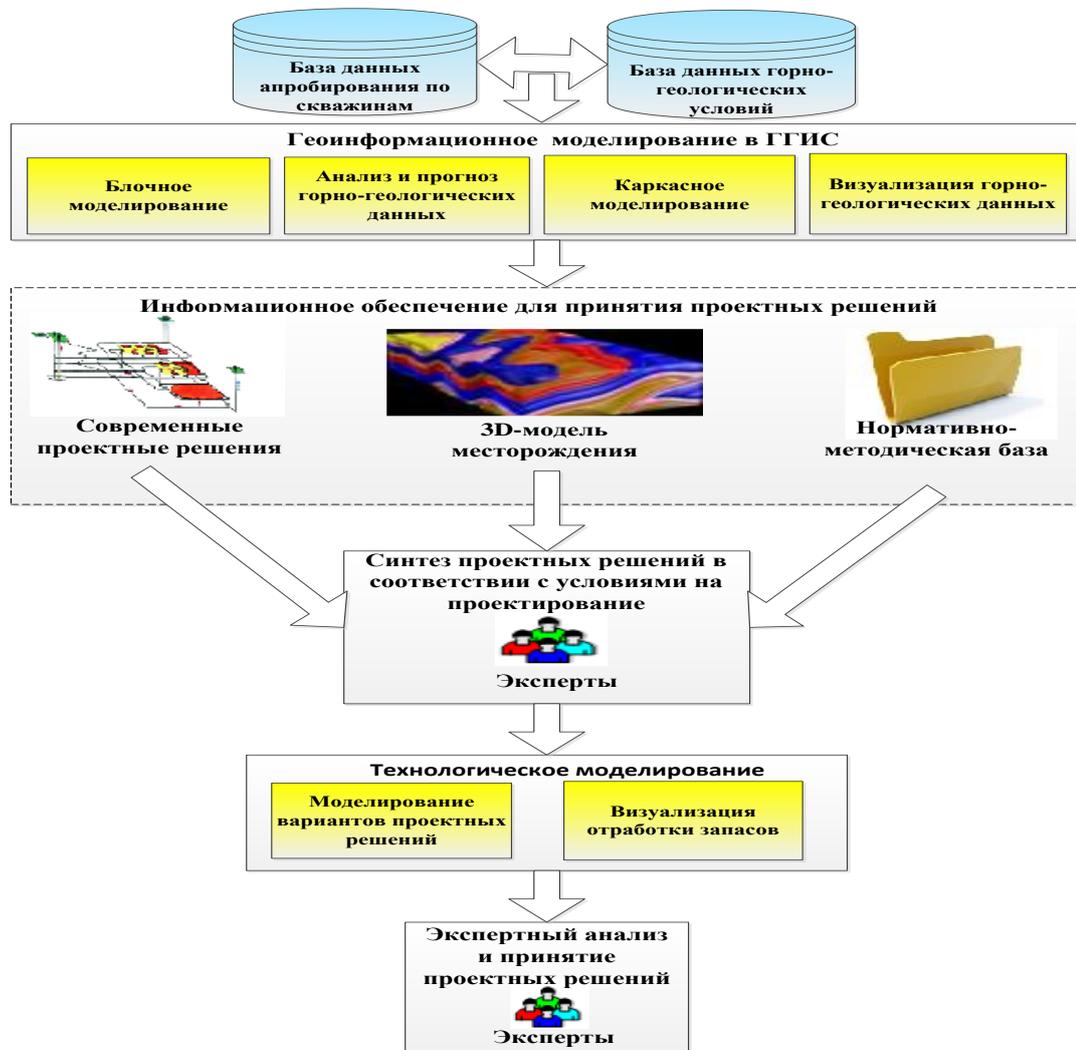


Рисунок 11- Информационное обеспечение ГИС, используемое для принятия проектных решений

методами и не включают в себя технические условия на проектирование в явном виде и, тем более, не производят зонирование (кластеризацию) запасов для последующего оптимального выбора вариантов технологии их отработки. Это не позволяет в автоматизированном режиме исследовать все варианты проектных решений, приемлемых для заданных горно-геологических и горнотехнических условий. [62]

Несмотря на попытки автоматизировать разработку 3D-моделей угольных месторождений так, чтобы можно было их использовать для выбора рациональной схемы вскрытия запасов шахтного поля и системы разработки пластов, полномасштабно реализовать это в нынешних условиях не представляется возможным.

Проблема содержится в необходимости структурировать, объединять и анализировать огромный объем самой различной информации (рисунок 1). С должной объективностью можно констатировать и то, что современные горно-геологические программные пакеты, хотя в целом и имеют, существенные преимущества, не решают всех проблем, связанных с неоднозначностью решения задачи геометризации и кластеризации запасов.

В этой связи в настоящее время особую актуальность приобретает задача разработки научно-методического обеспечения геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений с использованием положительно зарекомендовавших себя в практике технологий автоматизированного проектирования, интеллектуальных систем, методов статистического и пространственного анализа горно-геологических данных, необходимых для реализации единого стратегического подхода к повышению результативности использования горно-геологических информационных систем в составе САПР проектирования отработки запасов угольных месторождений.

1.4. Анализ методов прогнозирования и оценки запасов при использовании ГГИС

Структура углевмещающей толщи, а также определение количества и качества угля, планируемое предприятием при добыче, на данный момент являются первостепенными задачами при прогнозировании и оценки запасов угольных месторождений.

Прогнозирование запасов, как правило, осуществляется с помощью количественных методов. Но о точности прогнозирования можно говорить лишь в случае подтверждения сходства математически полученных результатов с результатами вскрытия пласта. С другой стороны, качество геологических построений также зависит от количественного достоверного прогноза. К тому же, полная характеристика горно-геологических условий является очень сложной задачей, так как количество учитываемых факторов очень велико. Все это создает значительные трудности по формализации природных свойств горно-геологических условий разработки угольных пластов.[10]

Геометрическая интерпретация геологического строения углевмещающей толщи дает возможность охарактеризовать залежи полезных ископаемых и оценить их объемы. Основой для представления горно-геологических данных угольных месторождений являются цифровые модели месторождения. Построение цифровых моделей требует определённой формы представления исходных данных (набора координат точек X, Y, Z) и способа их структурного описания, позволяющего восстанавливать поверхность путем интерполяции или аппроксимации исходных данных. По подходу к представлению данных цифровое моделирование месторождений подразделяется на блочное и каркасное. Различие этих двух видов моделирования состоит в том, что при каркасном моделировании построение модели производится геометрическим способом, без применения интерполяции, другими словами строится каркас

месторождения. В то время как, суть блочного моделирования заключается именно в интерполяции горно-геологических показателей в блоках. Необходимо также отметить, что каркасное моделирование оперирует в основном геометрическими образами, такими как многоугольники, полиэдры и т.п. Построением же блочной модели является заполнение отстроенных каркасов элементарными блоками, с интерполированными горно-геологическими характеристиками. Блочная модель считается наиболее приближенной к реалиям производства.

Для вычисления атрибутов горно-геологических характеристик с помощью интерполяции, в практике моделирования блочным способом применяют метод разбиения пространства месторождения на блоки, используя решетку. Исходя из значений точек проб, значения горно-геологических характеристик вычисляются в узлах решетки для каждого элементарного блока. Пример подобной решетки с интерполяцией изображен на рисунке 12.

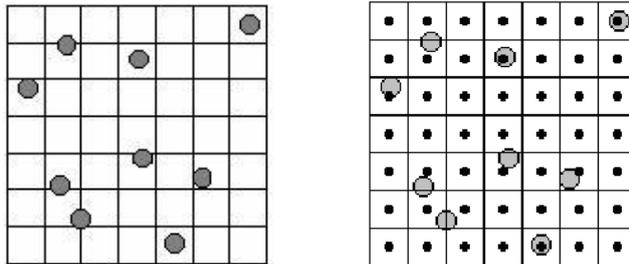


Рисунок 12- Интерполяция рассеянных точек данных в узлы регулярной сетки грид

Таким образом, для нахождения функциональных зависимостей при прогнозировании горно-геологических характеристик в основу цифровых трехмерных моделей заложены математические методы моделирования. Математическое моделирование базируется на прогнозировании путем аппроксимации, интерполяции и других известных математических методов. В свою очередь, вычисление значений горно-геологических характеристик есть не что иное, как среднее значение некоей функции в пределах ограниченной области в пространстве.

В настоящее время в прогнозировании горно-геологических данных для 3D-интерполяции применяются следующие основные методы: ближайшей точки, взвешенных обратных расстояний, линейной интерполяции и кригинг. Рассмотрим наиболее распространенные и применяемые в современных горно-геологических информационных системах метод взвешенных обратных расстояний и метод Кригинга. [112, 116]

Метод обратных расстояний или метод инверсно-дистанционного взвешивания (IDW) заключается в том, поверхность интерполяции представляется как средние значения в каждой точке данных регулярной сетки. При этом весовой коэффициент каждой точки обратно пропорционален расстоянию от узла интерполяции до этой точки. Недостатками этого метода является невозможность найти структуру изменяемости признака, но в области интерполяции он достаточно точен.

Уравнение простой формы взвешенной интерполяции по методу обратных расстояний выглядит следующим образом (1):

$$g = f(x, y, z) = \sum_{i=1}^n w_i g_i, \quad (1)$$

где n – число рассеянных точек множества; g_i – значение показателя в рассеянных точках; w_i – весовые коэффициенты функции, приписываемые каждой рассеянной точке.

Классическая форма весовой функции представляется в виде (2):

$$w_i = \frac{R_i^{-p}}{\sum_{i=1}^n R_i^{-p}}, \quad (2)$$

где R_i – расстояние от рассеянной точки до узла интерполяции; p – некоторое положительное вещественное число, называемое степенным параметром (обычно $p = 2$).

Единственное отличие 3D-версии IDW интерполяции заключается в том, что уравнения для узловых функций включают дополнительно Z компоненту. 3D-уравнения для метода IDW идентичны 2D уравнениям, а расстояния между точками вычисляются с помощью формулы (3):

$$R_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2}, \quad (3)$$

где (x, y, z) – координаты интерполяции точки и (x_i, y_i, z_i) – координаты каждой из рассеянных точек.[111]

Существенным недостатком метода обратных расстояний является то, что он не позволяет оценить ошибку интерполяции и чувствительность к присутствию в данных экстремальных значений.

Для повышения точности прогнозирования и оценки запасов Д.Криге, являясь горным инженером Южной Африки, разработал метод Кригинга, который впоследствии и носит его имя. В настоящее время этот метод является основополагающим и широко применяемым при моделировании месторождений. Суть метода заключается в реализации следующих действиях:

1. Расчет вариограммы для регулярных лагов, которые задаются в пространстве по направлению.
2. Аппроксимация прогнозной вариограммы с помощью математической функции.

Интерполяция по методу Кригинга, по сути, является геостатистическим способом оптимизации среднеблочных оценок геолого-промышленных параметров месторождений – содержания, мощности пластов, плотности и, в конечном счете, запасов полезного ископаемого. По сравнению с другими методами интерполяции дополнительная точность оценки в методе Кригинга достигается на основе обработки информации о структуре пространственной изменчивости подсчетных параметров, геометрии разведочной сети, системы опробования и величины оцениваемых блоков. Однако стоит заметить, что этот метод, при всех своих несомненных достоинствах, обладает одним очень слабым местом, а именно высокой чувствительностью к локальным неравномерностям опробования. При наличии пар сближенных проб, особенно в случае высокосокономерной вариограммы типа гауссовской, алгоритм кригинга теряет устойчивость, система уравнений становится слабообусловленной, вплоть до вырожденной, в результате чего возникают отказы в обработке. При этом некоторые, но далеко не все программные

средства, снабжены эвристическим сопровождением, отслеживающим точки неустойчивости и заменяющим в этих точках интерполятор кригинга на интерполятор IDW. Но даже если подобное сопровождение имеет место быть, оно, как и всякая эвристическая система, способно отслеживать только достаточно существенные нарушения устойчивости.

Таким образом, анализ существующих методов прогнозирования горно-геологических данных на основе интерполяции показывает, что эти методы не обеспечивают достаточную надёжность и достоверность полученных результатов. Повышение эффективности прогнозирования следует добиваться путем использования комплекса различных методов, позволяющих учесть вид модели изменчивости элементов залегания в пласте, неоднородность горных пород, количество информации, размеры и пространственное соотношение оцениваемых блоков и разведочной сети. Только в этом случае появится возможность создания на машинных носителях ЭВМ системы в несколько тысяч функциональных зависимостей, полно описывающих динамику природных факторов в исследуемой угле вмещающей толще месторождения.

1.5. Формирование цели и постановка задач исследований

Целью диссертации является разработка научно-методического обеспечения геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений с использованием ГГИС для автоматизированного контроля и поддержки управленческих решений по ведению горных работ на проектном уровне.

В соответствии с результатами анализа состояния вопроса исследований и целевой направленностью диссертации в ней были поставлены и решены следующие задачи:

- анализ эффективности существующих ГГИС, используемых для формирования 3D-моделей угольных месторождений и синтеза проектных решений по отработке запасов в различных горно-геологических условиях;
- исследование методов статистического и пространственного анализа горно-геологических данных для повышения достоверности 3D-моделей угольных месторождений;
- разработка алгоритма прогнозирования горно-геологических характеристик угольных месторождений;
- разработка модели распознавания геоструктур и алгоритма ее эксплуатации в блочной 3D-модели угольного месторождения;
- обоснование адресно-ориентированного методического подхода к формированию геоинформационной базы для интерактивного доступа к нормативно-правовой документации при автоматизации проектных работ;
- апробация результатов исследований и разработка рекомендаций по внедрению их в практику автоматизации технологической подготовки к высокопроизводительной отработке запасов угольных месторождений.

При решении поставленных задач использованы следующие **методы исследований**:

- анализ и научное обобщение передового опыта и результатов научных исследований по проблеме прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений;
- системный анализ информационного обеспечения проектных работ для построения адекватной структуры геоинформационной модели;
- компьютерное моделирование месторождений полезных ископаемых, обработка геологических данных в 3D-моделях методами сплайн-функций Грина и самоорганизующихся карт Кохонена;
- методы теории проектирования горнотехнических систем, теории вероятностей, искусственного интеллекта и математической статистики с использованием ГГИС при обработке и анализе результатов исследований.

ВЫВОДЫ

1. Анализ геоинформационного обеспечения угольной промышленности показывает, что вся имеющаяся в отрасли теоретическая база моделирования и сопровождения горных работ не обеспечена в требуемой мере современным геоинформационным фондом, способствующим надежному функционированию единой системе автоматизированного проектирования технологической системы шахты, обеспечивая интерактивное взаимодействие со многими отраслями знаний для создания и сопровождения качественного проекта освоения георесурсного потенциала.

2. На основании анализа уровня программной обеспеченности практики проектирования горных предприятий установлено, что в основном используются программные пакеты общего назначения, которые не охватывают весь функционал эффективного ведения и управления производством и недропользованием.

3. Анализ методической базы трехмерного моделирования полезных ископаемых свидетельствует о необходимости использования интеллектуальных систем, необходимых для перехода к полной автоматизации данного процесса.

4. Проведенный автором анализ направлений повышения эффективности методов проектирования горных предприятий, прогнозирования и оценки запасов месторождений свидетельствует, что в реальных условиях функционирования угледобывающей отрасли наиболее действенной мерой комплексного подхода к геоинформационному обеспечению практики проектирования месторождений является использование в современных ГГИС ряда информационных технологий современного уровня, способствующих повышению надежности результатов

прогнозирования, качества интеллектуального анализа данных и объективности нормативно-правового обеспечения ведения горных работ.

5. Обоснована цель диссертации, определен круг задач исследований и методы их реализации.

2. ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

2.1. Обоснование структуры геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений

В настоящее время предъявляются достаточно жесткие требования к уровню качества проектных решений по отработке запасов геоструктур и прогнозу возможного сбоя в ходе горных работ. Это обусловлено прежде всего высоким уровнем автоматизации рабочих процессов, выполняемых на шахте, ростом нагрузок на забои, увеличением эксплуатационной производительности добывающего и транспортного оборудования и рядом других факторов.

Проблема формирования технических условий на проектирование по имеющейся геологической информации о месторождении с корректным учетом комплекса нормативных требований полностью возлагается на специалистов-экспертов, на их личные знания, интуицию и сложившиеся традиции принятия решений, несмотря на попытки автоматизировать процесс поиска рациональных решений по освоению георесурсного потенциала угольных шахт.

Первые работы основоположников отечественной горной науки по обоснованию технологических и пространственно-планировочных решений с использованием экономико-математических методов явились своего рода начальным импульсом перехода к многомерному представлению и исследованию шахты как большой вероятностной системы с огромным

числом возможных состояний в фазовом пространстве, чему способствовали широкое внедрение средств вычислительной техники и математических методов.

На современном этапе получила развитие концепция динамического представления технологической системы угольной шахты. Выполненные в этом направлении работы, с одной стороны, способствуют формированию теоретической базы моделирования и управления производственными процессами шахты, а с другой, - формализации показателей качества функционирования всей технологической системы. К сожалению, следует констатировать, что вся имеющаяся в отрасли теоретическая база моделирования и сопровождения горных работ не обеспечена современной информационной базой - фундаментом, который позволил бы надежно функционировать единой системе автоматизированного проектирования технологической системы шахты, обеспечивая интерактивное взаимодействие со многими отраслями знаний для создания качественного проекта отработки запасов геоструктур.

Несмотря на то, что большинство необходимой для разработки рационального проекта шахты информации представлено в электронном виде, весь массив информации разрознен и показан в отдельных информационных системах. В этой связи в настоящее время весьма актуальной задачей становится формирование единой информационной базы, позволяющей в автоматизированном режиме проектировать рациональную технологическую систему любой шахты и аккумулировать всю имеющуюся информацию в 3D-модели угольного месторождения.

В результате проведенного системного анализа рекомендуется вариант структуры геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений (рисунок 13). В структуре интегрированной геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений выделяются три основные составляющие: подсистема обработки горно-геологических характеристик, содержащая более

эффективные и прогрессивные методы обработки и принципы интеллектуального анализа горно-геологических данных, подсистема обработки нормативно-методической и правовой документации угольной промышленности, содержащей тематическую подборку документов, [103] указатель российских и международных стандартов. Кроме того, вводится профильный глоссарий для интерактивного изучения нормативной базы в процессе проектирования и согласования с ней проектных решений, а также подсистема анализа и синтеза проектных решений, которая способна учитывать и анализировать имеющиеся данные о применении тех или иных проектных решений на российских и зарубежных шахтах. В свою очередь, каждая из этих составляющих имеет свою достаточно сложную структуру и систему взаимоувязанных модулей, хранящих в себе информацию с адресной привязкой к месторождению.

Например, геологическая база данных состоит из множества взаимосвязанных таблиц, хранящих в себе информацию о месторождении (рисунок 14).

Для реализации возможности автоматизированного проектирования технологических систем шахт также немаловажно учитывать принадлежность и взаимную увязку блоков 3D-модели угольного месторождения с объектами технологического комплекса поверхности шахты.[61]

Отличительным признаком геологической базы данных как составляющей единой информационной базы автоматизированного проектирования является привязка к «адресу» геоструктуры – территориальному признаку, на основании которого производится выбор информации для обработки в автоматизированном режиме.

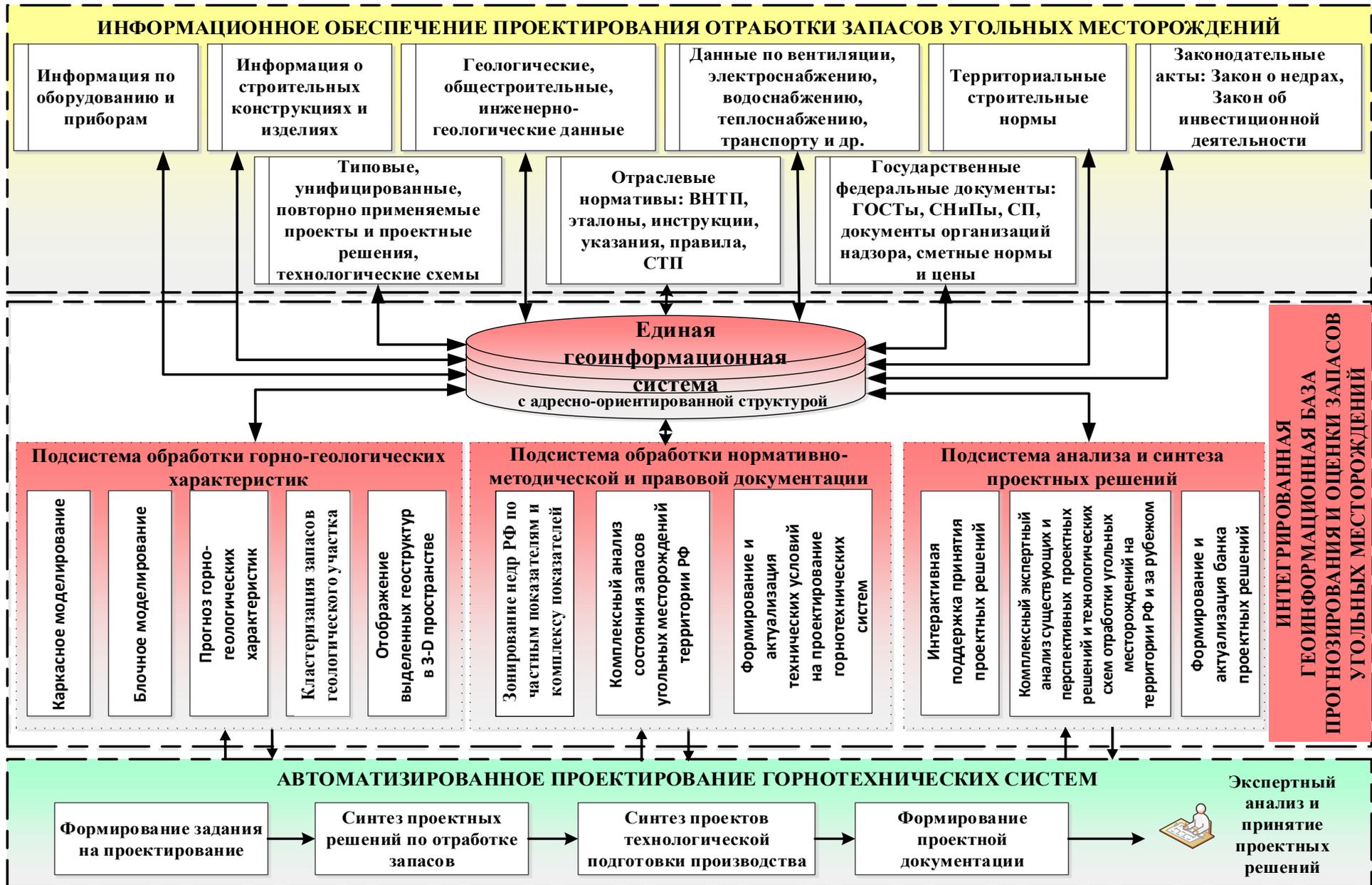


Рисунок 13- Структура интегрированной геoinформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений

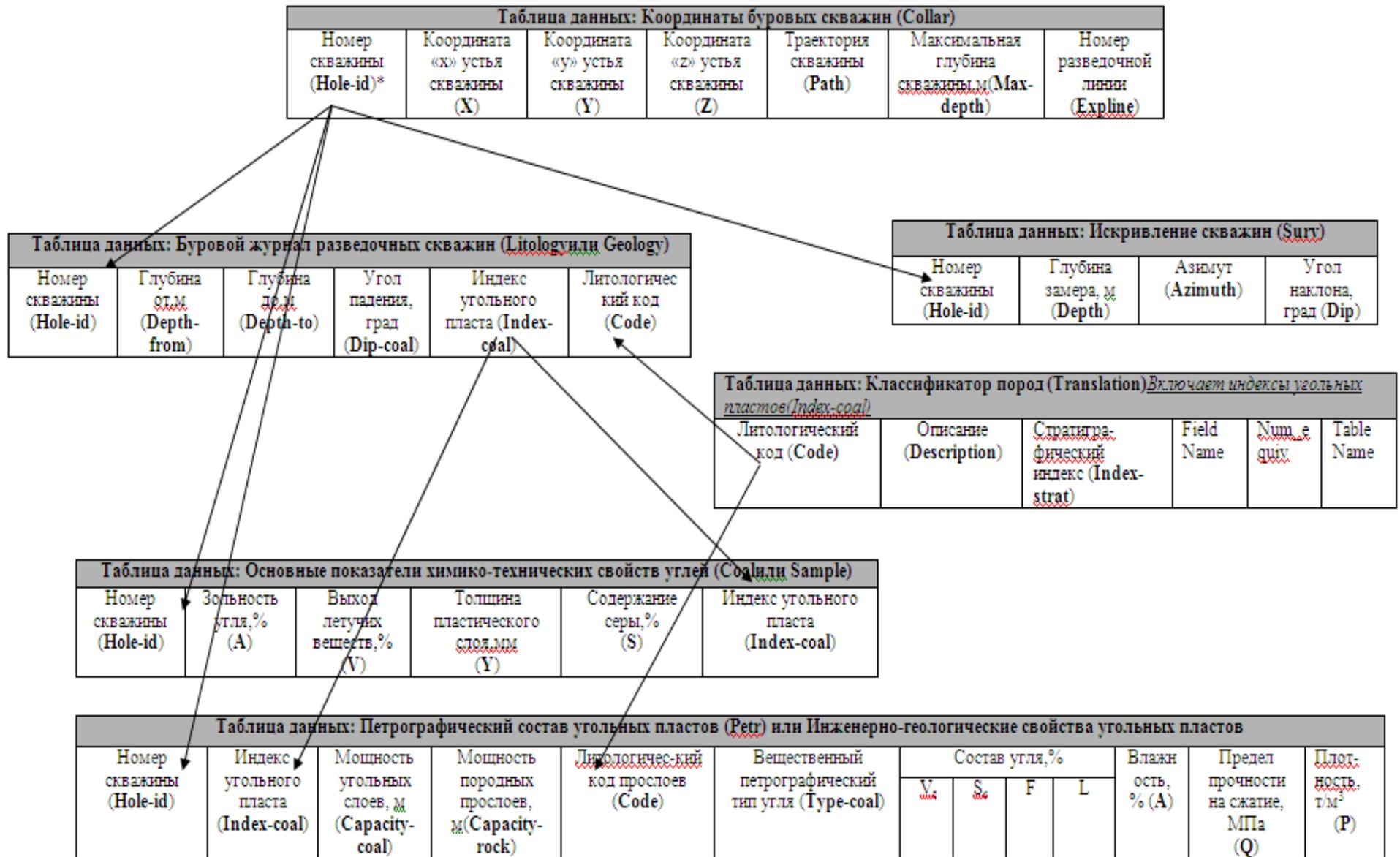


Рисунок 14- Структура геологической базы данных

Вторым основополагающим компонентом единой информационной базы является нормативно-методическая база. Она определяет, насколько корректно, с технологической и правовой точек зрения, будет выполнен проект шахты и обосновано стратегическое направление её развития. Отсутствие постоянного обновления нормативной документации может привести к принятию неверного проектного решения даже опытным специалистом.

Исключить необходимость регулярной актуализации нормативно-методической базы всей отрасли, помогла бы отраслевая информационно-справочная система, которая должна содержать тематическую подборку нормативных документов, указатель российских и международных стандартов, профильный глоссарий для интерактивного изучения нормативной базы в процессе проектирования и согласования с ней проектных решений.

Отраслевая информационно-справочная система должна формироваться и оперативно пополняться из нормативных баз федерального, регионального, административного и внутришахтного уровней. А дальнейшая выборка документации, необходимой конкретному специалисту шахты, связанному с проектными работами, будет производиться по территориальному признаку и его отношению к конкретному виду деятельности (рисунок 15).

Следующим компонентом единой информационной базы автоматизированного проектирования является база данных и база знаний о приемлемости технологических решений, которая содержит информацию об апробации различных проектных решений на шахте, в регионе, в Российской Федерации и за рубежом, сравнительный анализ геологических и технических условий конкретного предприятия и условий применимости данных технологий.



Рисунок 15- Уровни формирование нормативно-методической базы

Эта база должна носить рекомендательный характер и обеспечивать интерактивную поддержку принятия того или иного проектного решения специалистом. Вся информация и знания в подобной системе проходя экспертную оценку и позволяют предлагать объективному рассмотрению определенные проектные решения в автоматизированном режиме.

Таким образом, интегрированной геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений сможет в интерактивном режиме обеспечивать актуальной информацией процесс обоснования и принятия технологических решений на всём жизненном цикле шахты: от геологической разведки месторождения до её консервации и ликвидации горнодобывающего предприятия.

Под интерактивностью подразумевается состояние постоянной взаимосвязи этапов проектирования технологической системы шахты с объектами геологической, нормативно-методической базами и базой данных проектных решений информационного обеспечения работ в режиме реального времени.

Преимуществами использования интегрированной геоинформационной базы являются:

- интеграция всех геологических данных о месторождениях;
- учёт актуальной нормативно-методической базы при автоматизированном проектировании;
- использование передового мирового опыта на основании экспертной оценки целесообразности его реализации;
- связь функциональных элементов баз знаний в единую взаимодействующую систему;
- регулярное обновление данных для принятия оперативных решений;
- простота пользования и обучения специалистов.

Резюмируя вышесказанное, можно достаточно обоснованно утверждать, что создание интегрированной геоинформационной базы с адресно-ориентированной структурой для поиска и синтеза рациональных технологических и пространственно-планировочных решений по интенсивной отработке запасов геоструктур угольных месторождений является актуальной задачей на данном этапе функционирования угледобывающей отрасли. Её решение сократит затраты трудовых ресурсов и времени на принятие рациональных проектных решений, систематизирует всю информацию о месторождениях, в соответствии со всеми необходимыми нормами и правилами, предопределит переход к автоматизированному проектированию отработки запасов угольных месторождений и реализации, в перспективе, роботизированных технологий отработки запасов.

2.2. Геоинформационное обеспечение принятия технологических, инвестиционных и управленческих решений по интенсивной отработке запасов угольных месторождений

Горное предприятие является достаточно сложно организованной геосистемой, включающей в себя многокритериальные различные по своим строениям и свойствам природные и технологические объекты. Все эти объекты постоянно развиваются представляют собой огромный массив самой различной информации, такой как [145]:

- геологическая;
- геометрическая;
- технологическая (техническая);
- экологическая;
- экономическая;
- нормативно-правовая.

Геологическая информация содержит результаты геологических проб, различные горно-геологические характеристики пород, свойства и качество полезного ископаемого, а также сопровождающие его условия залегания. Геологическая информация играет очень важную роль при оценке запасов.

Геометрическая информация заключается в виде построений в 3-D пространстве участков месторождений полезных ископаемых, а также в проектировании технологического плана ведения горных работ.

Технологическая (техническая) информация представляет собой совокупность характеристик и параметров технического оборудования, имеющегося на предприятии, и всевозможных технологических процессов, таких как транспортировка, вентиляция, добыча георесурса и т.п.

К экологической информации относится выявление и описание закономерностей взаимодействия и взаимовлияния технологических

процессов, происходящих в процессе добычи полезного ископаемого, и естественных природных объектов (атмосфера, гидросфера, поверхность земли и т.п.).

С экономической точки зрения очень важна информация по эффективности и динамичности производства в целом, окупаемости и оценки получаемой на выходе продукции.

Нормативно- правовая информация отражает подборку нормативных документов, указатель российских и международных стандартов, профильный глоссарий для интерактивного изучения нормативной базы в процессе проектирования.

Важное значение имеет также постоянная динамика получения информации в связи с изменяющимися условиями во времени и пространстве. Необходимо также учитывать и результаты научно-исследовательских работ и практику отработки запасов другими предприятиями. Все виды вышеперечисленной информации составляют в конечном счете обеспечение для принятия горно-добывающим предприятием различных технологических, инвестиционных и управленческих решений по отработке запасов. Однако нельзя не заметить, что такой объем разнородной информации, необходимый для принятия оптимальных проектных решений и эффективного управления горным производством, возможно грамотно использовать лишь на основе применения современных информационных технологий на базе систем автоматизированного проектирования и автоматизированных систем управления. [43, 44]

В любой сфере процесс информационного обеспечения заключается в трех стадиях: сбор данных, обработка и хранение данных, анализ данных и принятие решений.

Соответственно, целью создания геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений является систематизация, формирование и использование информационных ресурсов горного предприятия, одноразовое хранение и многократное многоцелевое

использование, повышение аналитических возможностей обработки статистических данных на основе решения прикладных задач с привлечением показателей из различных форм управленческой и статистической отчетности, а также зарубежного опыта. Работа над формированием геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений — это основа создания единого (интегрированного) информационного пространства угольной промышленности РФ.

Проектирование такого пространства должно охватывать: все уровни системы (федеральный, региональный и районный (городской); все каналы взаимодействия по вертикали и горизонтали структурно-образующих компонентов информационно-телекоммуникационной системы; все технологические этапы обработки данных статистики (сбор, ввод, хранение, обработка и представление); существующие информационные базы.

Процесс формирования геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений заключается в едином методологическом подходе для генерации, обработки и хранения управленческой и статистической информации, включающем использование единой отраслевой информационно-справочной системы, нормативно-методической базы недропользования всей угольной промышленности, основанной на применении системы классификаторов и адресно-ориентированного подхода, баз данных и баз знаний о приемлемости технологических решений.

Ко всему прочему существует необходимость в учете и регулярной актуализации нормативно-методической базы недропользования всей угольной отрасли, которая должна содержать тематическую подборку нормативных документов, указатель российских и международных стандартов, профильный глоссарий для интерактивного изучения нормативной базы в процессе проектирования и согласования с ней проектных решений.

Отраслевая информационно-справочная система, с помощью которой определяется корректность проекта шахты и обоснование стратегических направлений её развития с технологической и правовой точек зрения, должна формироваться и оперативно пополняться из нормативных баз федерального, регионального, административного и внутришахтного уровней.

В настоящее время задействуются информационные ресурсы, которые представляют собой архив всех нормативных документов, ГОСТов и СНиПов для различных отраслей человеческой деятельности. Таковыми являются системы Техэксперт, Кодекс, Гарант, Консультант и др., однако информация в них не структурирована и не адаптирована к практике автоматизированного обоснования проектных решений, принимаемых горными инженерами.

Таким образом, можно сделать вывод, что одним из структурных элементов геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений должна быть база данных и база знаний о приемлемости технологических решений, которые содержат информацию об апробации различных проектных решений на шахте, в регионе, в Российской Федерации и за рубежом, сравнительный анализ геологических и технических условий конкретного предприятия и условий применимости данных технологий. Эти базы должны обеспечивать интерактивную поддержку принятия того или иного проектного решения специалистом. Вся информация и знания в подобной системе проходят экспертную оценку и позволяют предлагать объективному рассмотрению определенные проектные решения в автоматизированном режиме. Это позволяет в интерактивном режиме обеспечивать актуальной информацией процесс обоснования и принятия технологических решений на всём жизненном цикле шахты - от геологической разведки месторождения до консервации горных выработок или ликвидации горнодобывающего предприятия.

В геоинформационной базе прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений должны содержаться элементарные объекты, такие как

различные горно-добывающие предприятия и организации, отраслевые и территориальные объекты. Она должна затрагивать и включать все имеющиеся уровни систем государственного управления. Соответственно, такая база носит территориально-распределённый характер и позволяет учитывать условия, характерные для каждого конкретного региона или ведомства.

Все вышеперечисленные направления предполагают обязательное и объективное знание и учет уровня горного риска, принимаемого на себя недропользователем в ходе инвестирования, строительства и эксплуатации горного предприятия и напрямую определяемого достоверностью имеющейся информации о недрах.

Такое развитие геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений даст возможность со временем получить единое государственное хранилище данных по управленческой и статистической информации. Это хранилище будет содержать характерную информацию для каждого производственного объекта и позволять наблюдать за процессами в экологической, экономической, геологической и технологической сферах горнодобывающего предприятия.

2.3. Адресно-ориентированная систематизация георесурсов

Согласно последним мировым тенденциям геоинформатика является некой системой, в совокупности объединяющей в себе производство, науку и технологии. [97] Предметом изучения геоинформатики являются геосистемы, как природные, так и социальные, производственные, экономические. Современные информационные технологии, базирующиеся на базах и банках данных, позволяющие аккумулировать географические знания, дают возможность изучать геосистемы с различных сторон, понимать их функционирование в среде, структуру и развитие в динамике. Стоит помнить и о том, что на производстве первостепенно всегда стоят задачи оптимизации, учета и управления, поэтому геоинформатика неразрывно связана с ГИС-технологиями и предназначена обрабатывать пространственно-координатные данные с целью обеспечения решением вышеперечисленных задач. На основе полученных знаний в области геоинформатики в настоящее время очень быстро развивается индустрия специализированных программных продуктов, особенно в области географии, картографии и горного дела.[54, 67, 140, 145]

Рассматривая ГИС системы, можно выявить, что одним из их основополагающих элементов является визуализация данных на основе географических данных и построений в картографии. К программному обеспечению ГИС в обязательном порядке относятся высококачественная графика и различные способы изображения как карт, так и объектов, при чем достаточно часто с применением средств глобальных средств навигации.

В настоящее время со стороны государства во всех развитых странах для учета и ведения налогообложения давно используется кадастровая система регистрации объектов недвижимости. Кадастр земель и недвижимости в целом представляет собой интерес с научной точки изучения объектов и

оцифровки поверхности Земли. Возможность увязать современный кадастр с ГИС системами позволит совершить существенный скачок в развитии как в геоинформатике, так и в производственной среде горнодобывающих предприятий.

Современное состояние вопроса применения кадастровых данных в горном производстве, в частности при моделировании месторождений и дальнейшем использовании при принятии проектных решений, должно базироваться в первую очередь на единой системе государственных кадастров (ЕСГК) Российской Федерации.

Единая система государственных кадастров (ЕСГК) базируется на правовых, технологических и экономических аспектах и является географически-информационным комплексом территориально-распределенных государственных кадастров.

В состав ЕСГК входят нижеперечисленные группы государственных кадастров:

- кадастры природных ресурсов;
- кадастры недвижимости;
- регистры различного назначения.[147]

ЕСГК работает с пространственно-привязанными к объекту данными, поэтому очевидна его взаимосвязь с ГИС системами. В связи с тем, что в функционал ГИС-технологий входит аккумуляция и достоверность информации как об объектах, так о производственных, технологических и других мероприятиях, координатная привязка на основе кадастровых данных была бы актуальной. [119, 151]

С точки зрения дальнейшего развития ГИС сейчас следует обратить внимание на такую адресную систему, как Федеральная информационная адресная система (ФИАС).

В настоящее время на территории всей России с 1 ноября 2011 года в рамках реализации распоряжения Правительства Российской Федерации от 10.06.2011 № 1011-р. начала функционировать ФИАС - система,

обеспечивающая формирование, ведение и использование государственного адресного реестра.

1 июля 2014 года вступил в силу Федеральный закон от 28.12.2013 № 443-ФЗ «О федеральной информационной адресной системе и о внесении изменений в Федеральный закон «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации», который закрепил существование ФИАС и определил полномочия органов государственной власти и органов местного самоуправления в области отношений, возникающих в связи с ведением государственного адресного реестра, эксплуатацией федеральной информационной адресной системы, использованием содержащихся в государственном адресном реестре сведений об адресах.

Постановлением Правительства Российской Федерации от 29.04.2014 № 384 ФНС России определена оператором ФИАС, а Минфин России – органом нормативно-правового регулирования в сфере адресных отношений.

Целью создания ФИАС является формирование единого федерального ресурса, содержащего достоверную, единообразную, общедоступную, структурированную адресную информацию. Благодаря внедрению ФИАС эту информацию можно бесплатно получить через Интернет на официально зарегистрированном портале ФИАС. [147]

Условно ФИАС можно поделить на два больших вида информации: адресообразующий элемент и адресный объект.

Адресообразующий элемент используется для описания:

- субъектов Российской Федерации;
- округов (административно-территориальных единиц с особым статусом на территории субъекта Российской Федерации);
- административных районов, муниципальных районов, городских округов, внутригородских территорий городов федерального значения Москвы и Санкт-Петербурга, городских, сельских поселений;

- городов, населенных пунктов городского типа областного, окружного или районного подчинения;
- сельских населенных пунктов;
- элементов планировочной структуры территории;
- элементов улично-дорожной сети территорий населенных пунктов;
- автомобильных и железных дорог.

Также имеются дополнительные адресообразующие элементы:

- наименования садово-огороднических товариществ;
- наименование строительно-гаражных кооперативов;
- промышленные зоны;
- прочие адресные элементы, являющиеся дополнительными адресообразующими элементами адреса.

Адресный объект это уже объект недвижимости, который располагается на адресообразующем элементе. Адресный объект может содержать информацию о номерах отдельных домов, владений, домовладений, корпусов, строений и земельных участках.

На основании вышеизложенного анализа структур ФИАС и ЕСГК предложен адресно-ориентированный подход к систематизации георесурсов на основе объединенного классификатора. Данный классификатор должен присваиваться объектам 3-D модели, созданным в ГГИС и включать в себя кадастровый классификатор, адресный классификатор и классификатор георесурсов шахты (рисунок 16). В настоящее время классификатор георесурсов шахты требует детальной проработки в области структурирования данных и внедрения в производственную среду. Предлагаемый вариант данного классификатора должен содержать в себе такую актуальную информацию по предприятию, как код предприятия, код свиты пластов, код пласта, код региона пласта, коды произвольных классификационных признаков, номер участка недр.

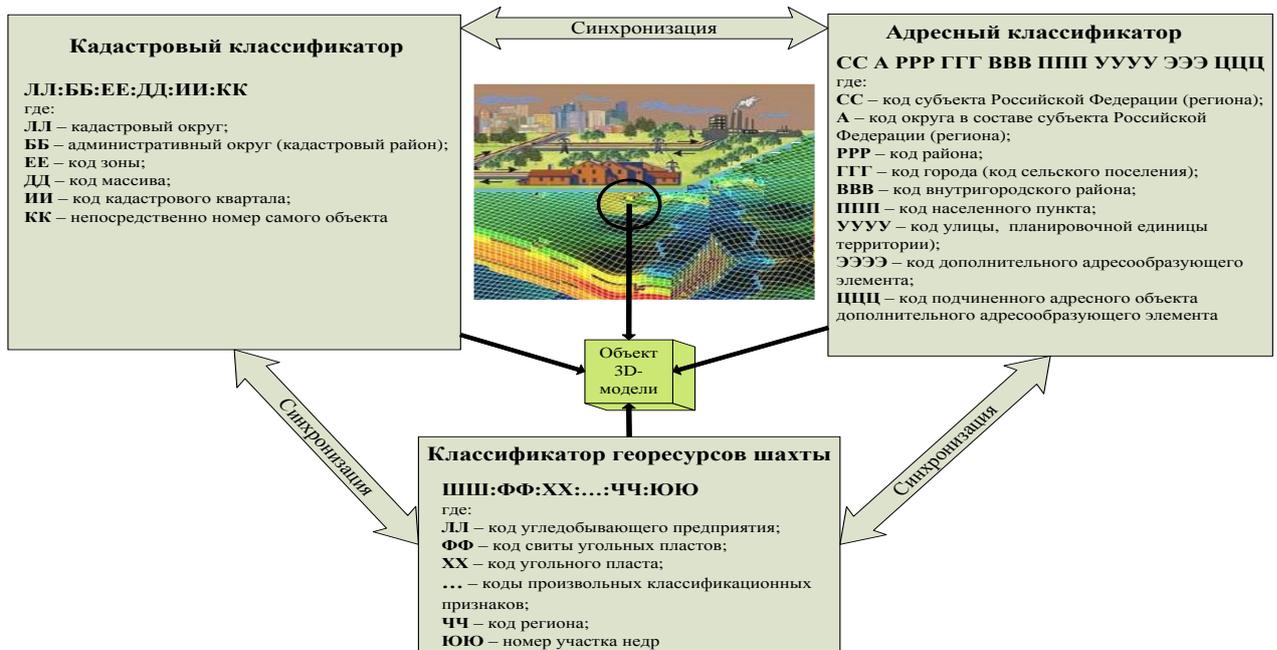


Рисунок 16- Адресное позиционирование объекта 3D-модели угольного месторождения

Предлагаемый объединенный классификатор позволит обеспечить интеграцию с федеральными адресной и кадастровой системами, а также с нормативно-правовыми системами при систематизации георесурсов.

2.4. Обоснование необходимости интеллектуального анализа горно-геологической информации при формировании геоинформационной базы

Анализ современных ГИС и концепций поэтапного проектирования шахт, оптимизации проектных решений на графах и сетях, принятия сложных решений, многокритериальной оптимизации и оценки качества проектов показывает, что в основном все вышеперечисленное в основном посвящено проектированию угольных шахт и сопровождению ведения горных работ. Из этого следует вывод о недостаточном рассмотрении проблем, связанных с обоснованием геометризации участком месторождения, пригодных для отработки. В пределах этих участков имеет место распространение различных геоструктур, отработка запасов которых требует использования адаптивных и проактивных к условиям их залегания технологий. Соответственно, при определении параметров шахтных полей становится очевидной необходимостью решения задач выделения геоструктур на основе корректного использования имеющейся информации и формировании проектных решений по отработке запасов угля.[16, 60]

В настоящее время вопросам интенсивной отработки запасов угольных месторождений посвящены многочисленные научно-исследовательские работы.[18, 40, 48, 99, 109] Однако, как правило, специалистов в первую очередь интересовали технические вопросы, такие как применимость того или иного комплекса оборудования в данных конкретных условиях. При этом практически не уделялось внимания качеству прогнозирования и оценки запасов с точки зрения возможности минимизировать потери при добычи, повысить уровень технологичности отработки запасов геоструктур всего месторождения.

При решении вопроса выделения геоструктур угольных месторождений необходима реализация методического подхода, основанного на применении

адаптивной и проактивной к горно-геологическим и горнотехническим условиям технологий отработки запасов. Основные горно-геологические характеристики, их обозначения, единицы измерения и области их реализации в практике проектирования приведены в таблице 2. Приведенные в таблице данные являются основными, без них весьма осложняется решение наиболее важных задач проектирования и моделирования, определения качественных параметров шахт.[7, 19, 20, 38, 51, 146]

Таблица 2. - Основные горно-геологические характеристики и область их реализации при проектировании технологических систем шахт

Горно-геологические характеристики	Условное обозначение	Область применения при проектировании и моделировании
Число рабочих пластов в шахтном поле	$n_{пл.р}$	Определение промышленных запасов, мощности шахты, схем вскрытия и подготовки запасов пластов, транспорта, вентиляции, энергоснабжения и др.
Общая мощность пластов, м	$m_{пл.и}$	Определение запасов шахтного поля, нагрузки на очистные забои, производительности труда, расчет параметров вентиляции, выбор очистного оборудования и др.
Средняя мощность пластов, м	$m_{пл.ср}$	Определение запасов, нагрузки на очистной забой, расчет параметров вентиляции и др.
Плотность угля, t / m^3	γ_i	Определение запасов, мощности шахты, нагрузки на очистной забой, выхода угля при проведении горных выработок, расчет параметров схем транспорта, подъема и др. Расчет норм выработки
Угол падения пластов, градус	α_i	Определение схем вскрытия и подготовки пластов, длины горных выработок, выбор средств транспорта, механизации очистных работ и пр.
Газоносность угольных пластов, (m^3 / m): природная остаточная	X_i $X_{ост.и}$	Определение нагрузки на очистной забой, сечений горных выработок, расчет количества воздуха для проветривания, выбор схемы и средств вентиляции, порядка отработки шахтного поля
Марка угля	M_y	Определение цены угля, схемы углетоковок подземных и на поверхности, выбор потребителя и др.
Зольность угля, %	A_i^c	Определение цены угля, схемы углетоковок подземных и на поверхности, выбор потребителя и др.
Теплотворная способность, ккал/кг	Q_i^T	Определение цены угля, эффективности технологии и способа выемки, выбор потребителя и др.
Устойчивость вмещающих пород (допустимая площадь обнажения кровли), m^2	$F_{обн.и}$	Выбор технических средств крепления и управления кровлей
Коэффициент крепости пород	f_p	Определение способа и скорости проведения горных выработок, расчет затрат на проведение горных выработок
Коэффициент крепости угля	f_y	Выбор способа выемки, расчет скорости подачи выемочной машины

Продолжение таблицы 2. - Основные горно-геологические характеристики и область их реализации при проектировании технологических систем шахт

Горно-геологические характеристики	Условное обозначение	Область применения при проектировании и моделировании
Мощность наносов, м	$H_{в.г}$	Выбор схемы вскрытия шахтного поля, вида подъема, схемы вентиляции, поределение объема и стоимости горных работ по вскрытию шахтного поля
Глубина расположения нижней границы шахтного поля, м	$H_{н.г}$	Выбор способа и схемы вскрытия шахтного поля, вида подъема, схемы вентиляции, расчет параметров подъема, водоотлива, определение объема и стоимости горных работ и др.
Расстояние между угольными пластами, м	h_{1-2} $h_{(i-1)-i}$	Выбор способа вскрытия угольных пластов, расчет объемов горных работ, построение графика отработки, выбора способа управления кровлей, способов охраны горных выработок, расчет метановыделения и т.д.
Размер шахтного поля по простиранию, м	$S_{ш.п}$	Определение запасов, выбор схем вскрытия и отработки шахтного поля, подготовки пластов, вентиляции, транспорта, расчет запасов шахтного поля и объемов горных выработок
Размер шахтного поля по падению, м	$H_{ш.п}$	Определение запасов, выбор схем вскрытия и отработки шахтного поля, подготовки пластов, вентиляции, транспорта, расчет запасов шахтного поля и объемов горных выработок
Нарушенность запасов угля (отношение площади нарушений к площади запасов), $m^2 / m^2, m / m$	$K_{нар}$	Выбор средств механизации очистных работ, расчет нагрузки на очистной забой
Относительная водообильность запасов m^3 / m	W_v	Расчет параметров водоотлива и стоимости водоотлива, выбор схемы подготовки и системы разработки
Балансовые запасы шахтного поля, млн.т.	$Q_{бал}$	Расчет мощности шахты и срока её службы
Промышленные запасы угля шахтного поля, млн.т.	$Q_{пр}$	Расчет мощности шахты и срока её службы

Надежная горно-геологическая и горнотехническая информация является базовой составляющей информационного обеспечения САПР шахты, технологически увязанное и согласованное в пространстве и во времени расположение горных выработок и средств механизации производственных процессов, эффективное освоение месторождения, - и объективно определить необходимые объемы капиталовложений и технико-экономические показатели эффективности производства.[56, 99, 115, 135–137]

При проектировании качество решения технологических задач таких, как рациональная раскройка шахтного поля, выбор схемы вскрытия и системы разработки пластов до настоящего времени, как правило, оценивается специалистами-экспертами на основе личных знаний, интуиции и сложившихся традиций, что не позволяет в автоматизированном режиме рассмотреть в должной мере все варианты, приемлемые для заданных горно-геологических и

горнотехнических условий. То есть проблема формирования комплекса технических условий на проектирование по имеющейся геологической информации о месторождении полностью возлагается на эксперта. К тому же для оценки запасов геоструктур или их частей, выделяемых вне зон геологических нарушений по условиям технологичности отработки запасов приходится классифицировать (структурировать) большие объемы горно-геологической и горнотехнической информации (таблица 2). Учитывая специфику поставленной задачи, ее решение рационально осуществлять с помощью современных методов интеллектуального анализа данных, решающих задачи кластеризации, применение которых позволит в сгруппировать и представить информацию в виде однородных кластеров со схожими внутри них характеристиками, а в дальнейшем на основании полученных кластеров синтезировать проектные решения по отработке запасов в автоматизированном режиме.[65]

К методам интеллектуального анализа данных, с помощью которых решаются задачи кластеризации относятся иерархическая кластеризация: агломеративный алгоритм, алгоритм k -средних, самоорганизующаяся сеть Кохонена, сеть с нечеткой самоорганизацией k -средних.

Сущность иерархической кластеризации состоит в том, что создается иерархия кластеров в виде древовидной структуры – дендрограммы. Корень дерева состоит из одного кластера, содержащего все наблюдения, а листья соответствуют индивидуальным наблюдениям. Критерием разделения или объединения наблюдений между кластерами может быть функция попарных расстояний между наблюдениями. К достоинствам такой кластеризации относятся её высокое качество и нетребуемое указание априори количества кластеров.

Алгоритм k -средних представляет собой автоматическую кластеризацию объектов на известное заранее количество кластеров. Сущность алгоритма заключается в случайной выборке k объектов, которые признаются центроидами кластеров, а затем остальные объекты оцениваются ближайшим

расстоянием к эталонным кластерам. Те же самые действия происходят в дальнейшем внутри каждого кластера. Алгоритм работает до тех пор, пока центры кластеров не перестают меняться и закрепляются за одними объектами. К достоинствам этого метода можно отнести быстроту и простоту реализации, а к недостаткам- необходимость заранее устанавливать число кластеров как константу.[78]

Алгоритм кластеризации сети с нечеткой самоорганизацией k-средних функционирует также как и алгоритм k-средних с четкой самоорганизацией. Отличие заключается в степени принадлежности каждого вектора ко всем кластерам, а не к одному. К основным достоинствам метода относятся быстрота процесса обучения и гарантированная сходимости к глобальному минимуму. Недостатки метода состоят в том, что, во-первых, число кластеров необходимо установить заранее как константу, а во-вторых, возрастает сложность реализации за счет применения аппарата нечеткой логики.[74]

Сеть Кохонена (рисунок 17) – это одна из разновидностей нейронных сетей, которые используют неконтролируемое обучение. При таком обучении обучающее множество состоит лишь из значений входных переменных, в процессе обучения отсутствует сравнение выходов нейронов с эталонными значениями. Основной принцип работы сетей – введение в правила обучения объекта информации относительно его расположения. В отличие от обычной классификации, где число групп объектов фиксировано и заранее определено набором идеалов, здесь ни группы, ни их число заранее не определены и формируются в процессе работы системы исходя из определённой меры близости объектов. Сущность работы сети заключается в том, что каждый нейрон сети соединен со всеми компонентами n-мерного входного вектора. Входным вектором является описание объекта, подлежащего кластеризации. Количество нейронов и выделенных сетью кластеров должно быть равным. За нейроны сети Кохонина принимаются взвешенные линейные сумматоры. Описание j-ого нейрона производится следующим образом (4):

$$w_j = (w_{1j}, w_{2j}, \dots, w_{mj}), \quad (4)$$

где m -число компонентов входных векторов, а w - вектор весов.

Входной вектор представляется в виде (5):

$$x_t = (x_{t1}, x_{t2}, \dots, x_{tm}) \quad (5)$$

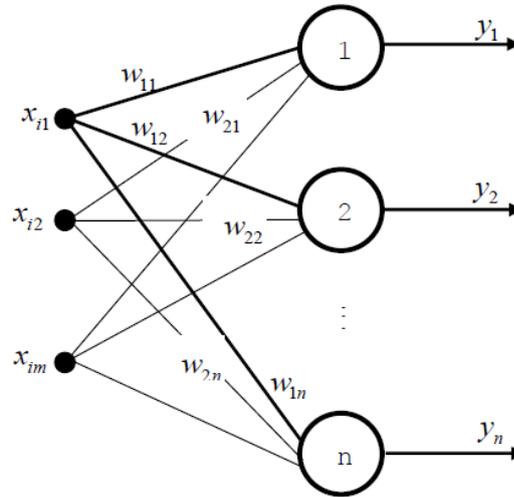


Рисунок 17- Структура сети Кохонена

Сеть Кохонена производит обучение без учителя. Для обучения сети применяются механизмы конкуренции. При подаче на вход сети вектора X побеждает тот нейрон, вектор весов которого в наименьшей степени отличается от входного вектора. Для нейрона победителя выполняется соотношение (6):

$$d(x, w_j) = \min_{1 \leq i \leq n} (x, w_i), \quad (6)$$

где n – количество нейронов, j - номер нейрона-победителя, $d(x, w)$ - расстояние (в смысле выбранной метрики) между векторами X и W .

Чаще всего в качестве меры расстояния используется евклидова мера (7):

$$d(x, w_i) = \|x - w_i\| = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_j - w_{ij})^2}. \quad (7)$$

Вокруг нейрона победителя образуется окружение, или радиус обучения. Радиус обучения определяет сколько нейронов, кроме нейрона-победителя, участвуют в обучении на данной итерации. Под радиусом в данном случае подразумевается расстояние в пространстве векторов весов нейронов. То есть любой нейрон, расстояние от вектора весов которого до вектора весов нейрона-

победителя менее радиуса обучения, участвуют в коррекции весов на данной итерации. Радиус обучения максимален на первой итерации и уменьшается с увеличением числа итераций таким образом, что в конце обучения корректирует свои веса только нейрон-победитель.

Веса нейрона-победителя и всех нейронов, лежащих в пределах его радиуса обучения, подвергаются обучению по правилу Кохонена (8):

$$w_i^{(k+1)} = w_i^{(k)} + \eta_i^{(k)} [x - w_i^{(k)}], \quad (8)$$

где x - входной вектор, k -номер цикла обучения, $\eta_i^{(k)}$ -коэффициент скорости обучения i -го нейрона из радиуса обучения в k -ом цикле обучения.

Веса нейронов, находящихся за пределами радиуса обучения не изменяются. Коэффициент скорости обучения $\eta_i^{(k)}$ разбивается на две части: функцию соседства $\eta_i(d, k)$ и функции скорости обучения $a(k)$:
 $\eta_i^{(k)} = \eta_i(d, k)a(k)$.

В качестве функции соседства применяется или константа (9):

$$\eta_i(d, k) = \begin{cases} const, & d_i \leq \sigma(k), \\ 0, & d_i > \sigma(k) \end{cases}, \quad (9)$$

или Гауссовая функция (10):

$$\eta_i(d, k) = e^{-\frac{d_i}{2\sigma(k)}}. \quad (10)$$

При этом лучший результат получается при использовании Гауссовой функции расстояния d_i - расстояние между i -м нейроном и нейроном-победителем. При этом $\sigma(k)$ является убывающей функцией от номера цикла обучения. Наиболее часто используется функция, линейно убывающая от номера цикла обучения.

Функция скорости обучения $a(k)$ также представляет собой функцию, убывающую от номера цикла обучения. Наиболее часто используются два варианта этой функции: линейная и обратно пропорциональная от номера цикла обучения вида (11):

$$a(k) = \frac{A}{k + B}, \quad (11)$$

где A и B – константы.

Применение этой функции приводит к тому, что все векторы из обучающей выборки вносят примерно равный вклад в результат обучения.

Обучение состоит из двух основных фаз: в первоначальной фазе выбирается достаточно большое значение скорости обучения и радиуса обучения, что позволяет расположить векторы нейронов в соответствии с распределением примеров в выборке. На заключительной фазе производится точная подстройка весов, когда значения параметров скорости обучения много меньше начальных. Обучение продолжается до тех пор, пока погрешность сети при p входных векторах не станет малой величиной (12):

$$E = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p \|x_i - w_j\|^2, \quad (12)$$

где w_j - вектор весов нейрона-победителя.

В сети Кохонена входные значения желательно нормировать. Для этого следует использовать одну из формул (13):

$$x_{Hi} = \frac{x_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2}}, \quad x_{Hi} = \frac{x_i}{[x_i]}, \quad (13)$$

где x_{Hi} - нормированный компонент входного вектора.[49]

Анализируя вышеизложенное, можно сделать вывод о том, что для решения поставленной задачи наиболее подходящим методом являются самоорганизующиеся сети Кохонена, так как в отличие от обычной классификации, где число групп объектов фиксировано и заранее определено набором идеалов, здесь ни группы и ни их число заранее не определены и формируются в процессе работы системы исходя из определённой меры близости объектов. То есть при обучении сеть Кохонена старается понять закономерности именно самой структуры данных и выделить с этим учетом кластеры. В случае невозможности соотношения некоторого наблюдения с

известным сети эталоном, она учтет степень его новизны и выделит новый кластер данных. К тому же сети Кохонена предоставляют возможность автоматической кластеризации данных и визуализации многомерных данных на двумерной карте и обучения без учителя.

Таким образом, процесс зонирования участков геоструктур по технологичности их отработки одной из монотехнологий заключается в выделении из них геоструктур и субструктур при помощи сетей Кохонена. Использование самоорганизующихся сетей Кохонена при выделении геоструктур не только позволит в автоматизированном режиме кластеризовать горно-геологические данные по техническим условиям на проектирование, но и обосновать рациональные варианты данных технологического кластера отработки запасов, а также автоматически синтезировать и обосновывать параметры технологической системы освоения геологической структуры в целом.

2.5. Автоматизированный анализ и синтез проектных решений при формировании геоинформационной базы

В настоящее время усложнение горно-геологических условий добычи угля связано с ростом глубины ведения горных работ. Кроме того, на угледобывающих предприятиях наблюдается уменьшение количества выемочных участков, что приводит к повышению уровня концентрации горных работ, и, как следствие, увеличения нагрузки на лаву. Это повышает требования к качеству проектирования и уровню промышленной безопасности.[148–150]

Необходимость существенного обновления нормативной базы, использования новейших достижений в теории и практике подземной угледобычи предопределили дальнейшее развитие научных исследований, посвященных развитию методологической базы проектирования горнотехнических систем. [57]

В результате проведенного автором анализа установлено, что для повышения эффективности проектирования угольных шахт необходимо формировать соответствующие базы данных и знаний, а также корректировать их наполнение в результате уточнения горно-геологических и горнотехнических условий добычи полезных ископаемых. Данную задачу целесообразно решать с использованием интегрированной геоинформационной базы, что впоследствии позволит осуществлять обоснование пространственно-планировочных решений по отработке запасов в автоматизированном режиме.

При проектировании основной задачей является выбор одного или нескольких вариантов технологической схемы подготовки и отработки запасов угольных шахт из множества допустимых по определенному условию. В итоге, выбранные варианты должны соответствовать

комплексному критерию для обеспечения рациональности и прогрессивности принимаемых проектных решений.

Как правило, в производственной практике обоснование рациональной технологической схемы реализуется в два этапа: формирование и промышленная оценка отобранных вариантов технологических схем специалистами-экспертами. В ходе промышленной оценки зачастую экспертам приходится «ослаблять» первоначальные требования к эталонным технологическим схемам в связи с невозможностью реализации в условиях данного производства. Отсюда возникают опасения возможности исключения наиболее рационального варианта технологической схемы из рассмотрения. [17, 18, 53, 69] До сего времени задача автоматизированного поиска рационального варианта технологической схемы отработки запасов конкретного участка угольного месторождения не имеет должного решения.

В общем случае поиск необходимого решения заключается в генерации некоторого множества возможных для данного участка месторождения технологических схем, а затем на основании неких критериев, включающих экспертную оценку и методические рекомендации по определению наиболее подходящего варианта, рекомендуемого к производственному использованию. [11, 104, 114]

Реализация данной задачи должна основываться на применении современных интеллектуальных технологий, таких как интеллектуальный анализ данных, экспертные системы и компьютерное моделирование. Кроме того необходимо формирование глобальной базы данных и знаний о принципах и специфике конструирования технологических схем, целях и особенностях их функционирования в производственной среде. [85] Структурный вид модели выбора и обоснования проектных решений, которая учитывает интеллектуальную составляющую проектирования данного процесса и включает в себя банки и базы прикладных знаний, представлена на рисунке 18. [11, 47, 53, 101]

Суть автоматизированного подхода в данном случае состоит в том, что в процессе проектирования необходимо выделить по возможности все ситуации, связанные с выбором наилучшего проектно-технологического решения, и для каждой ситуации решить задачу определения оптимального решения, причем в процессе постановки подобной задачи необходимо стремиться максимально расширить множество рассматриваемых решений.

Автоматизированный подход к поиску и синтезу проектных решений реализуется в общем случае в три этапа.

Первый этап состоит в выборе наилучшей технической идеи или принципа конструирования проектного решения;

Второй этап основывается на поиске наилучшей структуры или схемы в рамках выбранного проектного решения. На данном этапе происходит так называемая, структурная оптимизация.

Третий этап заключается в определении наилучших значений параметров для выбранной схемы. Этот этап относится к задачам параметрической оптимизации.

Для решения задач параметрической и структурной оптимизации в основном разрабатывают и используют детерминированные и статистические методы математического программирования. Для решения задач первого этапа разрабатывают подходы и методы эвристического программирования. [70, 73]

Методика синтеза и принятия проектных решений предполагает систематический учет всех факторов, оказывающих существенное влияние на объект проектирования, и целенаправленный поиск искомого решения. В основу методики заложен системный подход, то есть объект и процесс проектирования рассматриваются как система, взаимодействующая со смежными системами и окружающей средой.



Рисунок 18- Общий структурный вид модели выбора и обоснования проектных решений

Процесс принятия проектных решений состоит из следующих этапов:

- формулирование задачи в общем виде;
- обоснование необходимости решения задачи;
- уточнение задачи;
- выделение частных задач;
- поиск проектных решений;
- принятие проектного решения (оценка);
- конкретизация решений;
- экспериментальная проверка;
- внесение изменений.

Изложенная выше методика процесса синтеза и принятия проектных решений базируется на накоплении знаний и дает возможность существенно минимизировать затраты трудовых ресурсов и времени на их рациональное принятие. Реализация данного методического подхода в рамках интегрированной геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений предопределяет возможность перехода к автоматизированному проектированию отработки запасов угольных месторождений и в дальнейшем влечет возможность к переходу на полностью роботизированные технологии в горном производстве.

ВЫВОДЫ

1. Доказана необходимость формирования геоинформационной базы как основы создания единого (интегрированного) информационного пространства угольной промышленности РФ, позволяющего решить проблемы систематизации, формирования и использования информационных ресурсов горного предприятия, одноразового хранения и многократного многоцелевого использования геоинформации, повышения аналитических возможностей обработки статистических данных на основе решения прикладных задач с привлечением показателей из различных форм управленческой и статистической отчетности, а также зарубежного опыта.

2. Предложен адресный подход к формированию базы георесурсов позволяющий обеспечить интеграцию с федеральными адресной и кадастровой системами, а также с нормативно-правовыми системами посредством разработанного адресного классификатора.

3. Обоснованы механизмы интеллектуального анализа больших массивов пространственных данных, позволяющие в автоматизированном режиме выделять горно-геологические геоструктуры, пригодные для отработки одной монотехнологией. Показано, что такого рода кластеризация запасов позволяет перейти к автоматическому синтезированию и обоснованию параметров технологической системы освоения геологической структуры в целом.

4. Разработана структура интегрированной геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений обеспечивающая постоянную актуализацию данных с учетом меняющихся тенденций и мирового опыта за счет модульности и открытой архитектуры системы.

5. Показано, что использование интегрированной геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольного

месторождения позволит сократить затраты трудовых ресурсов и времени на принятие рациональных проектных решений, позволит систематизировать всю информацию о месторождениях, в соответствии со всеми необходимыми нормами и правилами, предопределит переход к автоматизированному проектированию отработки запасов угольных месторождений и реализации, в перспективе, роботизированных технологий отработки запасов.

3. РАЗРАБОТКА НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ РЕАЛИЗАЦИИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Методические основы принципов формирования геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений для автоматизированного проектирования выемочных участков угольных шахт базируются на алгоритмах информационной и математической формализации типовых технологических систем разработки и интерактивного их размещения их в прогнозируемой горно-геологической среде угольного пласта таким образом, чтобы удовлетворялись все технологические требования по вентиляции, горному оборудованию и т.д.

Для реализации данной задачи необходимо выделение следующих этапов решения:

1. Построение 3D-блочной модели месторождения и заполнение ее геологическими данными;
2. Оптимизация 3D-блочной модели с помощью сплайнов;
3. Выделение технологических кластеров на основе имеющихся горно-геологических и горно-технических условий в 3D-блочной модели месторождения;
4. Работа с программными средствами автоматизированного конструирования технологических схем отработки выемочного участка на основе технологической кластеризации.

3.1. Цифровое 3D-моделирование угольных месторождений на основе использования теории сплайнов

На сегодняшний день компьютерная 3D-блочная модель месторождения строится на основе математической модели, являющейся базовым элементом при подсчете запасов. С помощью математической модели месторождения осуществляется геометризация запасов (построение подсчетных блоков), выявляется оптимальное положение контуров месторождения, проводится подсчет запасов при различных качественных характеристиках полезного ископаемого и т.д. В основе построения математической модели запасов лежат представления о закономерностях распределения качественных характеристик полезного ископаемого в объеме недр. Это распределение зависит от геолого-геохимических особенностей процесса углеобразования, свойства структуры вмещающих пород, а также от геометрии проб, с помощью которых ведется изучение указанного объема.

Математическое моделирование месторождений является наиболее применяемым в горном деле. В общем случае, математическая модель месторождения- это числовое представление качественных характеристик и структуры и формы данного месторождения. Подобное математическое описание дает возможность решать необходимые для эффективного управления производством задачи при помощи компьютерной техники.[107] Как правило, в практике моделирования в основном используются аналитические модели. Сущность таких моделей заключается в описании горно-геологических характеристик и самих форм полезного ископаемого с помощью ряда аналитических функций, имеющих вид $f(x, y, z)$.

Основы математического моделирования месторождений были заложены в середине XX столетия В.М. Крейтером, Д. Криге, Ж. Матероном, М.

Давидом и др. В большинстве этих работ содержание полезного ископаемого в любом объеме недр $V(x,y,z)$ рассматривалось как величина случайная, которая до проведения исчерпывающего опробования может быть оценена лишь с определенной вероятностью. При этом, можно задать распределение (ряд) вероятностей $F_v(c)$, соответствующих различным по величине значениям этого содержания, а величину объема $V(x,y,z)$ - принять различной - от объема пробы (или любой ее части) до объема блока и т.д. Одновременно, подчеркнем, что в зависимости от величины объема $V(x,y,z)$ вид распределения вероятностей $F_v(c)$ будет различным. На практике, предполагается, что $F_v(c)$ соответствует определенному размеру $V(x,y,z)$ реальных проб. Тогда, функция распределения содержания $F_v(c)$ в таких пробах или ее эмпирическое приближение - гистограмма будут иметь один вид.[28]

Вопрос о виде распределения $F_v(c)$ (нормальное, логнормальное, трехпараметрическое и др.) был предметом обширной дискуссии, но многие авторы сошлись на необходимости логнормального его представления, как близкого к реальным наблюдениям, так и достаточно удобного для использования. Большинство задач по оценке запасов сводилось не к построению $F_v(c)$ для каждого объема $V(x,y,z)$, а к определению среднего содержания C_v в этом объеме (14):

$$C_v = \int C dF(c), \quad (14)$$

где C - содержание полезного ископаемого (угля) в данной точке блока.

Для объемов, соответствующих размерам проб, Д. Криге был разработан метод оценки содержания в данной точке путем усреднения содержаний в ближайших опробованных точках с весами, убывающими по мере увеличения расстояния от рассматриваемой точки. Этот метод получил название кригинга. В основе кригинга лежит понятие так называемой автокорреляционной функции (или вариограммы), характеризующей изменение (уменьшение) зависимости между содержаниями в пробах по мере увеличения расстояния между ними. Кригинг получил широкое

распространение в задачах оценки запасов, особенно после внедрения компьютерной техники в практику этих задач. На рисунке 19 изображена схема кригинга гистограмм.

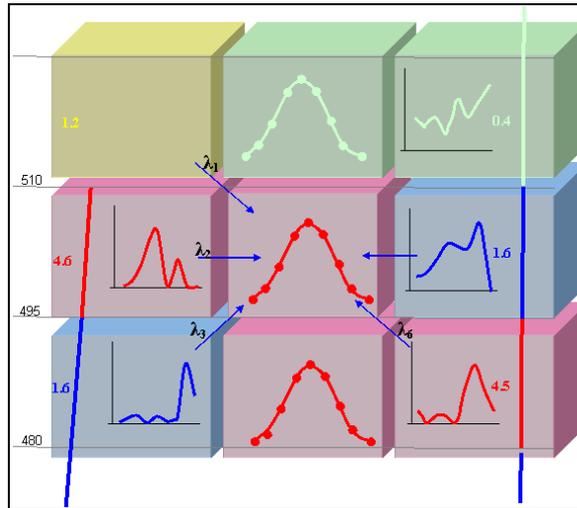


Рисунок 19- Схема кригинга гистограмм

При этом были разработаны методы так называемого логарифмического кригинга, дизъюнктивного кригинга и др. Для применения кригинга необходимо было в первую очередь по данным опробования оценить корреляционную функцию (или вариограмму). От корректности ее оценки зависит точность подсчета запасов. В связи с этим были рассмотрены (Ж. Матерон, Де Вийс, Д. Мишель и др.) вопросы изменения этих функций в зависимости от геометрии проб, ориентации линий опробования по отношению к угольному пласту и др. Детально вопрос о влиянии геометрии проб на вид этих функций изучался Де Вийсом. Им были предложены эмпирические формулы для учета такого влияния, однако эффективность их использования осталась спорной. Вместе с тем этот вопрос весьма существенно влияет на решение задачи кригинга.

Перечисленные выше представления послужили предпосылкой для развития компьютерных технологий построения математических моделей месторождений. Ниже будут описаны основные из этих технологий. Но необходимо подчеркнуть, что все они ориентированы на то, чтобы в отдельных элементарных блоках недр (ячейках) по результатам опробования

оценить среднее содержание полезного ископаемого (рисунок 20), и затем интерполировать эти величины в те ячейки, где результаты опробования отсутствуют. [14]

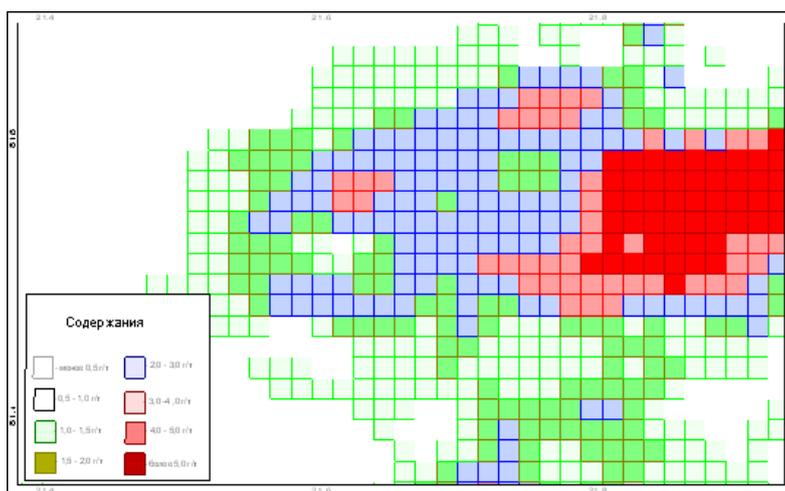


Рисунок 20- Фрагмент блочной модели месторождения

С учетом изложенного представляется возможным дать неформальное определение математической модели месторождения, поскольку общепринятого определения этого понятия в литературе до сих пор не существует. Предлагаемые определения заключаются в следующем: *Математическая модель* месторождения представляет собой систему (трехмерную матрицу) элементарных блоков (ячеек) с заданной вероятностью (гистограммой) распределения содержаний угля и известным элементарным объемом.

Ячейками модели называются привязанные в пространстве прямоугольные параллелепипеды фиксированного размера, из которых составлена трехмерная матрица модели и каждому из которых приписано распределение вероятностей содержаний полезного компонента, определяемое в элементарных объемах.

Элементарным объемом называется тот объем недр, для которого оценивается содержание. Таким объемом, может быть объем пробы фиксированного диаметра и длины, объем группы проб, объединенных на высоту уступа или по заданным кондициям, выемочный объем,

соответствующий определенному уровню селективности добычи. При изменении элементарного объема (так называемое изменение геометрии проб) меняется и гистограмма распределения содержаний в этом объеме.

Зона минерализации - область трехмерного пространства, окружающая полезное ископаемое, в пределах которого строится математическая модель месторождения. Данные опробования, оказавшиеся за пределами зоны минерализации, при построении модели не используются.[15, 35]

Наиболее популярной и часто используемой технологией построения математической модели месторождения является технология, разработанная и реализованная в виде пакета программ компанией DATAMINE. Технология состоит в следующем:

1. По геологическим данным и данным опробования в диалоговом режиме строятся каркасные модели зон минерализации. Каркасные модели представляют собой триангуляцию поверхностей, ограничивающих эти зоны. Модель далее строится только в тех ячейках, центры которых попадают внутрь каркасной модели.

2. Методом кригинга данных опробования оцениваются средние содержания в ячейках модели, находящихся в пределах каркасной модели. При этом используются только те пробы, которые также оказались внутри каркасной модели.

3. Ячейки с близкими содержаниями полезного ископаемого объединяются в пространственные блоки, которым приписывается общее среднее содержание. Понятие коэффициента угленосности не используется. Параметры кригинга определяются по результатам предварительного геостатистического исследования.

4. Каждому блоку приписываются запасы угля, равные их объему на плотность.

5. При подсчете запасов по заданному бортовому содержанию складываются запасы всех блоков, среднее содержание в которых превосходит заданное бортовое содержание.

Не уменьшая положительных сторон этой технологии, стоит указать на имеющиеся недостатки. Если каркасная модель зоны минерализации строится грубо, с включением пропластков, то подсчет запасов соответствует технологиям отработки с низкой селективностью, т.е. с высоким уровнем разубоживания и потерь. По сравнению с результатами селективной отработки такая оценка запасов обычно дает больший объем угля и более низкие содержания. Глубинная причина этих недостатков состоит в том, что ячейкам модели пытаются приписать детерминированные значения содержаний полезного компонента в условиях, когда данных для этого недостаточно. Действительно, при расстояниях между разведочными линиями в несколько десятков метров и радиусе корреляции содержаний порядка 5 - 10 м ячейка, находящаяся между разведочными линиями, может оказаться безугольной или угольной, с высоким или низким содержанием. Это будет установлено в ходе эксплуатационной разведки. На стадии же детальной разведки можно говорить лишь о вероятности этих событий.

Французской школой геостатистики (Фонтенбло) разработан метод статистического моделирования. Метод состоит в том, что на основании данных опробования и статистических параметров поля концентрации полезных компонентов с помощью датчика случайных чисел последовательно генерируются возможные детальные картины размещения содержаний полезного ископаемого в пространстве (метод Монте-Карло). По ним оцениваются запасы и их параметры, соответствующие различным уровням селективности отработки. Каждая из этих картин вполне может не соответствовать истинному размещению запасов, но если оценки по достаточно крупным блокам мало отличаются друг от друга, то подсчет запасов по этим блокам считается достоверным. В противном случае блок считается недоразведанным. При всей привлекательности, этот подход требует значительных вычислительных ресурсов и связан с произволом при выборе статистических характеристик поля концентраций. Последние могут быть сравнительно точно установлены для всего месторождения в целом,

однако, часто, отдельные участки месторождения представлены различным структурами и текстурами угля, что приводит к изменению статистических параметров поля от участка к участку, а данных для достоверной оценки этих изменений недостаточно.[42]

В практике многих горных компаний (в особенности на территории СНГ) в последние годы приобретает популярность технология GEOSTAR и подобные ей другие технологии.

Их сущность состоит в следующем:

- в пределах разведочных пересечений (по скважинам, канавам, подземным выработкам) на основе разведочного опробования при заданных условиях выделяются угольные интервалы, т.е. интервалы опробования, в пределах которых залежи угля являются кондиционными по мощности и содержанию.

- по отдельным разрезам или горизонтам (в зависимости от принятой методики подсчета) эти интервалы увязываются с использованием геологических данных о морфологии и структуре угольного пласта. Эта операция является неформальной и проводится в интерактивном режиме тем или иным способом (курсором указываются объединяемые угольные интервалы, либо по крайним точкам этих интервалов проводится контур и т.д.).

- в пределах отстроенных таким образом сечений угольных пластов оценивается, с использованием методов кригинга, среднее содержание металла, коэффициент угленосности, площадные запасы и т.д.

- полученные на разрезах (планах) запасы распространяются на соответствующие объемы методом призм, пирамид и др.

Из исследования общих особенностей этих технологий можно увидеть, что в части геометризации запасов они воспроизводят (с использованием вычислительной техники) традиционный подход к подсчету запасов, а в части оценки средних - опираются на методы кригинга. Не вдаваясь в детальное обсуждение, можно сделать вывод, что все проблемы, связанные с

неоднозначностью решения задачи геометризации запасов, присущи этим технологиям, хотя в целом они имеют, существенные преимущества.

Однако не стоит забывать, что одна из особенностей строения угольных месторождений состоит в наличии относительно четких контактов угольных пластов и вмещающих пород. Это значительно упрощает решение вопросов проектирования технологии горных работ и обоснования пространственно-планировочных решений. К тому же физико-механические и качественные характеристики угля в пределах одного пласта, как правило, не имеют чрезвычайной изменчивости, что позволяет оперировать их средними величинами. Осадочное происхождение месторождений также дает возможность рассматривать толщу вмещающих пород как единый горный массив, обладающий усредненной по мощности горно-геологической информацией, особенно при пологом и горизонтальном залегании месторождений. Таким образом, наиболее важными являются данные об изменчивости мощности вмещающих пород и угольных пластов в пределах месторождения, которые можно получить с помощью моделирования. [15, 25]

Метод обратных расстояний – это основной метод, который в настоящее время используется для моделирования месторождений. Но часто на производстве сталкиваются с проблемой большого диапазона изменения качественных характеристик. В этом случае метод обратных расстояний не эффективен, поскольку не позволяет достаточно гибко учитывать резкие скачки показателей в окрестности какой-либо точки. Когда необходимо учитывать экстремальные значения (резкое убывание или возрастание показателя горно-геологической характеристики) лучше использовать сплайны. К тому же сплайны в компьютерной графике часто используются для построения кривых линии или криволинейных поверхностей, поэтому с их помощью достаточно легко производить реконструкцию 3-D поверхностей по имеющимся горно-геологическим данным.

Применение сплайнов для описания горно-геологических характеристик месторождения дает возможность повысить качество трехмерного моделирования месторождения.

В настоящее время методы, основанные на сплайнах, заняли прочное место среди наиболее мощных средств вычислительной математики. Если еще в начале 70-х годов прошлого столетия слово "сплайн" звучало подчас экзотически даже для многих математиков, то в настоящее время оно стало общепринятым не только среди специалистов по теории приближения и вычислительной математики, но и среди инженеров, связанных с решением прикладных задач на ЭВМ. Популярность сплайнов объясняется в основном двумя причинами. Во-первых, сплайны представляют собой чрезвычайно мощное и гибкое средство решения разнообразных задач приближения функций. А эти задачи, помимо их самостоятельного значения, лежат в основе многих методов вычислительной математики. Во-вторых, алгоритмы, построенные с помощью сплайнов, эффективно реализуются на ЭВМ. [24]

Таким образом, разработанные методы аппроксимации кривых и поверхностей с помощью сплайнов могут послужить эффективной базой для математического моделирования объектов сложной геометрической формы, каким и является угольное месторождение.

Применительно к горным объектам для построения трёхмерной модели угольного месторождения используются векторные, каркасные и блочные модели геологических тел. Формированию каркасных моделей предшествует создание векторных моделей тел. Векторные модели могут создаваться с использованием модели геологических проб, которые, в свою очередь, могут быть представлены в виде кондиционных интервалов. Для ускорения создания векторных моделей (при наличии геологических разрезов на бумажных носителях) их векторизованные изображения могут быть построены на плоскости разреза также при помощи сплайнов как контуры создаваемой модели геологического объекта. Каркасные модели тел в зависимости от способа создания могут быть слоевыми или поверхностными,

причем границы слоя (поверхности) могут также определяться при помощи сплайнов.

Но наибольшую ценность для 3D-моделирования угольных месторождений метод сплайнов представляет при создании блочной модели месторождения, которая формируется в границах ее каркасной модели. В блочной модели определение показателей качества полезного ископаемого в блоках осуществляется на нормализованной модели геологических проб с использованием метода сплайнов.

Обращаясь к более детальному анализу природы изучаемого вопроса, следует иметь в виду, что оценка среднего в каждом объеме - это лишь небольшая, и часто недостаточная информация для подсчета запасов и проектирования горных работ. Каждый объем $V_{i,j,k}$ можно представить как совокупность более мелких объемов, например проб заданной геометрии, в каждой из которых можно определить значение показателя качества полезного ископаемого, а весь объем охарактеризовать после этого гистограммой (или функцией) распределения показателей $F_{i,j,k}(c)$ с помощью метода сплайнов.

Основная идея применения сплайнов состоит в следующем. Интервал, на котором восстанавливают функцию, разбивают на подинтервалы, на каждом из которых функцию задают полиномом достаточно низкой степени и обеспечивают непрерывность кривой в точках “склейки” путем приравнивания значений полиномов на границах подинтервалов. При этом важным условием является также непрерывность нескольких производных. Таким образом, сплайном P_n называют совокупность многочленов P_{ni} степени n , заданных на i -том шаге дискретизации и удовлетворяющих условию (15):

$$P_{ni}(t_i) = P_{n(i-1)}(t_i), \quad (15)$$

где степени n сплайн-функциями, составленными из «кусочков» многочленов данной степени, которые состыкованы так, чтобы получившаяся функция была непрерывной и имела несколько непрерывных производных (рисунок 21).[58]

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что метод сплайнов наиболее эффективен для применения в области добычи данных по причине того, что он не опирается на предположения о типе и не накладывает ограничений на класс зависимостей (например, линейных, логистических и т.п.) между предикторными и зависимыми (выходными) переменными.

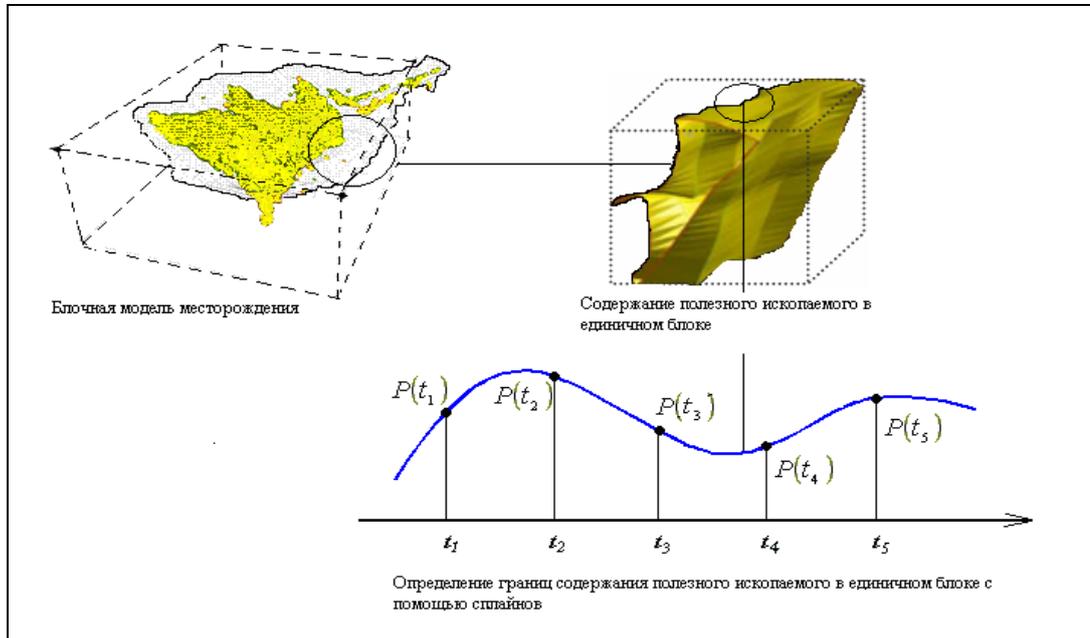


Рисунок 21- Определение границ распределения полезного ископаемого при помощи сплайнов.

А следовательно, он позволяет получить содержательные модели (т.е. модели, дающие достаточно точные предсказания) даже в тех случаях, когда связи между предикторными и зависимыми переменными имеют немонотонный характер и сложны для приближения параметрическими моделями. В условиях моделирования угольных месторождений данный метод, реализуясь на ЭВМ, полностью себя оправдывает и позволяет быстро, гибко и точно формировать границы распределения качественных показателей полезного ископаемого в недетерминированных условиях.

3.2. Повышение качества прогнозной геологической информации при автоматизированном проектировании отработки запасов пластовых месторождений

В современных программных продуктах для прогноза горно-геологических данных по имеющимся скважинам в большинстве случаев применяется метод взвешенных обратных расстояний, который, в свою очередь, не позволяет оценить ошибку интерполяции и чувствительность к присутствию в данных экстремальных значений. Для повышения точности прогноза рекомендуется метод сплайн-функций Грина.[1, 95]

Формула Грина имеет самостоятельное значение в математике и довольно широко применяется в различных приложениях векторного анализа. Стоит отметить, что впервые формула появилась еще у Л. Эйлера в 1771 г., однако полный вывод этой формулы (вместе с другими формулами) и ее значение было определено английским физиком и математиком Дж. Грином в 1828 г. Формула Грина связывает двойной и криволинейный интегралы (криволинейные области).

Область (D) являет собой «криволинейную трапецию» (рисунок 22), ограниченную контуром (L), состоящим из кривых ((16), (17)):

$$(PQ): y = y_0(x) \quad (a \leq x \leq b), \quad (16)$$

$$(RS): y = Y(x) \quad (a \leq b \leq x), \quad (17)$$

и двух отрезков PS и QR, параллельных оси y .

Можно предположить, что в области (D) задана функция $P(x, y)$ непрерывная вместе со своей производной $\frac{dP}{dy}$.

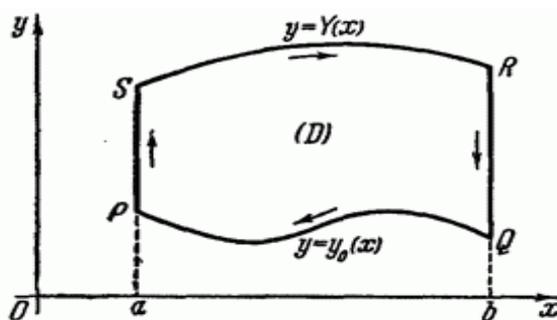


Рисунок 22- Область D, ограниченная прямыми, параллельными оси Y

Далее следует процедура вычисления двойного интеграла по формуле (18):

$$\iint_{(D)} \frac{dP}{dY} dx dy \quad (18)$$

Исходя из теоремы приведения двойного интеграла к повторному, в случае криволинейной области интеграл (19)

$$\iint_{(P)} f(x, y) dP = \int_b^a dx \int_{y_0(x)}^{Y(x)} f(x, y) dy, \quad (19)$$

приобретает вид (20):

$$\iint_{(D)} \frac{\partial P}{\partial y} dx dy = \int_b^a dx \int_{y_0(x)}^{Y(x)} \frac{\partial P}{\partial y} dy \quad (20)$$

Внутренний интеграл в этом случае вычисляется с помощью первообразной функции P(x, y) (21), а именно:

$$\iint_{(D)} \frac{dP}{dy} dy = P(x, y) \Big|_{y=y_0(x)}^{y=Y(x)} = P(x, Y(x)) - P(x, y_0(x)). \quad (21)$$

В результате преобразований имеет место запись выражения вида (22):

$$\iint_{(P)} \frac{\partial P}{\partial y} dx dy = \int_a^b P(x, Y(x)) dx - \int_a^b P(x, y_0(x)) dx. \quad (22)$$

Каждый из этих двух интегралов может быть заменен криволинейным интегралом ((23), (24)):

$$\int_a^b P(x, Y(x)) dx = \int_{(SR)} P(x, y) dx, \quad (23)$$

$$\int_a^b P(x, y_0(x)) dx = \int_{(PQ)} P(x, y) dx. \quad (24)$$

Исходя из этого получаем (25):

$$\begin{aligned} \iint_{(D)} \frac{\partial P}{\partial y} dx dy &= \int_{(SR)} P(x, y) dx - \int_{(PQ)} P(x, y) dx = \\ &= \int_{(SR)} P(x, y) dx + \int_{(QP)} P(x, y) dx. \end{aligned} \quad (25)$$

При рассмотрении интеграла по всему контуру (L) области (D), прибавив к правой части полученного равенства еще интегралы (26):

$$\int_{(PS)} P(x, y) dx \text{ и } \int_{(RQ)} P(x, y) dx, \quad (26)$$

очевидно, равные нулю, ибо отрезки (PS) и (DQ) перпендикулярны к оси x, можно получить (27):

$$\iint_{(D)} \frac{\partial P}{\partial y} dx dy = \int_{(PS)} P dx + \int_{(SR)} P dx + \int_{(RQ)} P dx + \int_{(QR)} P dx \quad (27)$$

Правая часть этого равенства представляет собой интеграл, взятый по всему замкнутому контуру (L), ограничивающему область (D), но в

отрицательном направлении. В соответствии с соглашением, установленным насчет обозначения криволинейных интегралов по замкнутому контуру, можно окончательно переписать полученную формулу в виде (28):

$$\iint_{(D)} \frac{\partial P}{\partial y} dx dy = - \int_{(L)} P(x, y) dx. \quad (28)$$

Хотя формула (28) выведена в предположении правой ориентации осей, но, как легко убедиться, она сохраняется без изменения и при левой ориентации (лишь положительное направление обхода контура станет иным).

Выведенная формула справедлива и для областей более сложного вида, чем рассмотренная: достаточно предположить, что область (D) разделяется прямыми, параллельными оси y , на конечное число криволинейных трапеций указанного вида.

Аналогично записывается и формула (29):

$$\iint_{(D)} \frac{\partial Q}{\partial x} dx dy = \int_{(L)} Q(x, y) dy. \quad (29)$$

в предположении, что функция Q непрерывна в области (D) вместе со своей частной производной $\frac{\partial Q}{\partial x}$. При этом сначала за область (D) принимается криволинейная трапеция вида, изображенная на рисунке 23. Она ограничена кривыми ((30), (31))

$$(PS): x = x_0(y) \quad (c \leq y \leq d) \quad (30)$$

$$(QR): x = X(y) \quad (c \leq y \leq d), \quad (31)$$

а также двумя отрезками (PQ) и (RS), параллельными оси x . Затем формула обобщается, как и выше приведенная, на случай области, разделенной прямыми, параллельными оси x , на конечное число криволинейных трапеций этого вида. [93, 94]

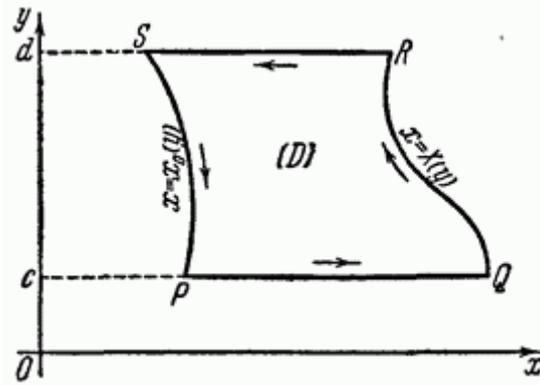


Рисунок 23- Область D, ограниченная прямыми, параллельными оси x

Наконец, если область (D) одновременно удовлетворяет условиям обоих случаев, то есть разделяется как на конечное число трапеций первого типа, так и (независимо от этого) на конечное число трапеций второго типа, то для нее справедливы обе формулы (28) и (29). Безусловно, в предположении непрерывности функций P, Q и их производных $\frac{dP}{dy}, \frac{dQ}{dx}$. Вычитая формулу (28) из (29), можно получить формулу Грина (32):

$$\int_{(L)} P dx + Q dy = \iint_{(D)} \left(\frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\partial P}{\partial y} \right) dx dy. \quad (32)$$

Исходя из сравнительных испытаний различных методов аппроксимации, наиболее целесообразным для восстановления функции изменчивости природных характеристик угольных месторождений можно назвать метод сплайн-функций Грина, основанный на формуле Грина, представленной выше.[1]

Согласно этому методу восстанавливаемая непрерывная функция (33):

$$Y(\bar{t}), t = (x, y) \quad (33)$$

имеет вид (34):

$$Y(\bar{t}) = \sum_{k=1}^N b_k G_{M,2}(\bar{t} - \bar{t}_1, \dots, \bar{t} - \bar{t}_M) + \sum_{k=1}^{ii} b_{N+k} \prod_{l=1}^2 t^{-L,l,k}, \quad (34)$$

где $-b_k$ коэффициент сплайн-функции;

b_{N+K} - коэффициенты полинома степени M ;

$ii = \frac{(2+M-1)!}{2(M-1)}$ - число коэффициентов полинома двух переменных степени

M ;

В общем виде функция Грина для двухмерной поверхности будет выглядеть следующим образом (35):

$$G_{M,2} = \left(\sum_{i=1}^2 t_i^2 \right)^{M-1} \ln \left(\sum_{i=1}^2 t_i^2 \right), \quad (35)$$

где $G_{M,2}$ – функция Грина для двухмерной поверхности.

Для прогнозирования горно-геологических условий разработки угольных пластов с помощью метода сплайн-функции Грина предусматривается пространственная трехмерная ориентация в пределах рассматриваемого выемочного участка геометрических и физико-механических свойств угольных пластов и вмещающих боковых пород. С этой целью выемочное поле помещается в геодезическое координатное пространство $D(x,y,z)$.

Нулевая точка пересечения геодезических координат помещается за пределы выемочного поля. При этом x -я координата ориентируется по простиранию, y -я координата – вкrest простирания залегания угольных пластов, а z -я координата обеспечивает продолжительные отметки в любой точке выемочного участка. Поэтому $z=0$ помещается ниже уровня проектируемого горизонта (рисунок 25).

Ко всему прочему современные программные продукты позволяют моделировать месторождение в 3D-пространстве, для практического применения сплайн-функции Грина, которая работает в двухмерном пространстве, стратиграфическую толщу горного массива необходимо представить в виде совокупности угольных пластов S_y и толщ междупластья S_M . При этом стоит учитывать, что угольные пласты S_y включают в себя совокупность угольных пачек S_{yp} , породных прослоев S_{pp} , вмещающих

пород почвы S_{VP} , «ложной» кровли S_{LK} , непосредственной кровли S_{NK} и основной кровли S_{OK} .

Таким образом, вся стратиграфическая толща горного массива выемочного участка представляется совокупностью угольных пластов S_Y и толщ междупластья S_M (рисунок 24, рисунок 25)

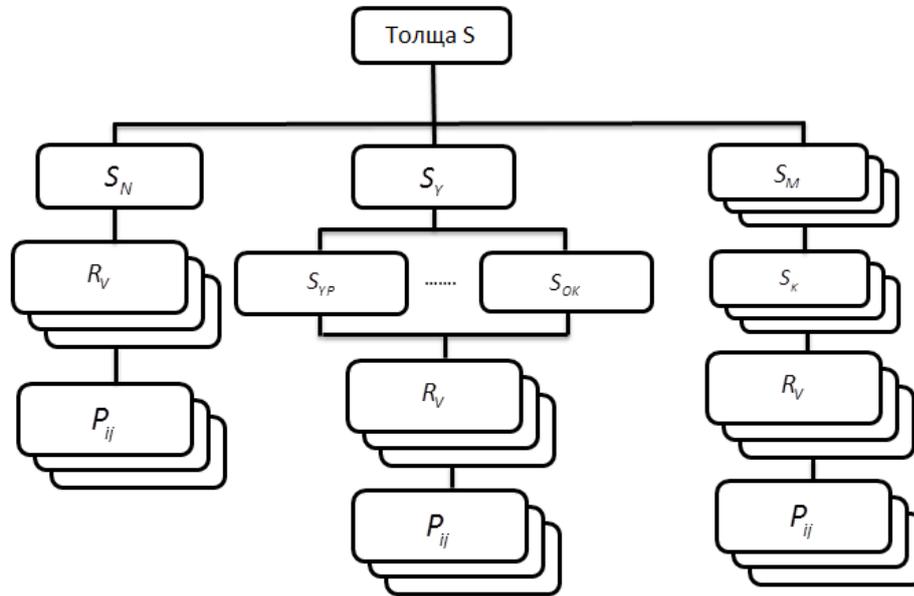


Рисунок 24- Схема модельно-структурированного представления углевмещающей толщи

В свою очередь угольные пласты описываются совокупностью угольных пачек S_{YP} , породных прослоев S_{PP} , вмещающих пород S_{VP} , ложной кровли S_{LK} , непосредственной кровли S_{NK} и основной кровли S_{OK} (36).

$$S_Y : S_{YP} \cdot S_{PP} \cdot S_{VP} \cdot S_{LK} \cdot S_{NK} \cdot S_{OK} \quad (36)$$

Каждый слой $S_k, k = \overline{1, a}$ толщи складывается из суммы j -го числа литотипов $L, S_k \in L_j, j = \overline{1, b}$, которые также имеют i -ое число природных факторов, свойств (P). Вследствие того, что в условиях реального месторождения могут встречаться явные изменения гипсометрии и конфигураций слоев толщи S_k , представленные различными геологическими нарушениями, не представляется возможным описать природные свойства

того или иного пласта функцией одного вида. Поэтому слой S_k будет включать в себя множество регионов R , то есть $S_k \in R_v, v = \overline{1, d}$, и

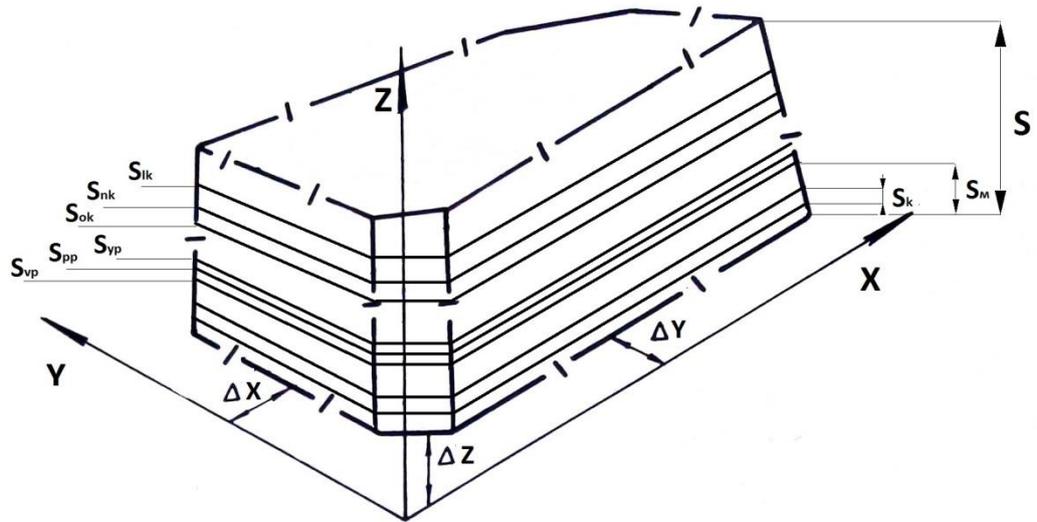


Рисунок 25 - Модельно-структурированное представление углевмещающей толщи

приближающие функции каждого k -го природного свойства восстанавливаются по региону R .

Так как моделируется пластовое месторождение, то предполагается, что свойства в границах выделенного пласта, пропластка, толщи неизменны по всей его мощности, что позволяет пренебречь координатой Z и перейти в двухмерную систему координат.

Исходя из этого, какой-либо показатель свойств рассматриваемого угольного пласта можно представить как сумму функциональных зависимостей природных свойств P в каждом из регионов a, b, c, d (37):

$$S = \sum_{k=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^c \sum_{y=1}^d P_{kjiv} \quad (37)$$

Аппроксимация изменчивости природных факторов совершается по данным геологической разведки, полученным в рамках случайной сети скважин, закрепленных в геодезическом пространстве $D(x, y)$ и показателями

их свойств, вследствие чего модель i -го показателя будет являться функциональной зависимостью (38)

$$P_i = f(x, y). \quad (38)$$

Такое представление геологической информации позволит с помощью компьютерных средств составить множество функциональных зависимостей, которые достаточно полно описывают динамику природных факторов в исследуемой углевмещающей толще.[2]

Для того чтобы применить сплайн-функции Грина в автоматизированном режиме, блочная 3D-модель месторождения должна содержать необходимую информацию, а именно: высотную отметку почвы пласта, мощность угольных пачек угольного пласта, прочность угольных пачек на сжатие, мощность породных прослоев, прочность породных прослоев на сжатие, зольность угля, выход летучих веществ, мощность пород «ложной» почвы, прочность пород ложной кровли, мощность j -го литотипа кровли, прочность j -го литотипа кровли, мощность j -го литотипа почвы, прочность j -го литотипа почвы, мощность пород междупластья, прочность пород междупластья, газоносность угольного пласта, газообильность горных выработок.[63]

Прогноз необходимого природного свойства в любой точке пространства $D(x, y, z)$ выемочного поля программно осуществляется следующим образом:

1. Вводится исходная характеристическая информация для работы сплайн-функции Грина, координаты x, y разведочных скважин (аргументы) и данные о природных свойствах горного массива по каждой скважине (значение функции). В качестве природных свойств используется информация о характеристиках угольного пласта, боковых пород, газообильности и т.д. (таблица 3);

Таблица 3 - Характеристики геологической толщи

Природное свойство	Значение	Размерность
Высотная отметка почвы пласта		м

Продолжение таблицы 3 - Характеристики геологической толщи

Природное свойство	Значение	Размерность
Мощность угольных пачек пласта		м
Прочность угольных пачек на сжатие		мПа
Мощность породных прослоек		м
Прочность породных прослоек на сжатие		мПа
Зольность угля		%
Мощность пород ложной кровли		м
Прочность пород ложной кровли		мПа
Мощность j-го литотипа кровли		м
Прочность j-го литотипа кровли		мПа
Мощность j-го литотипа почвы		м
Прочность j-го литотипа почвы		мПа
Мощность пород междупластья		м
Прочность пород междупластья		мПа
Газообильность угольного пласта		$м^3/Т$
Водообильность пласта		$л/сек$

2. Производятся расчеты сплайн-функции Грина и формируется файл с коэффициентами аппроксимации модели соответствующего свойства. Этой модели присваивается номер записи по порядку поступления исходной информации. Для каждого региона, выделенного в пределах пласта или слоя боковых пород, резервируется до 30 записей с формированием моделей природных свойств в порядке таблицы 3. Получаем файл с информацией, представленной в таблице 4., в котором содержатся данные о принадлежности номеров записей соответствующим пластам и регионам;

3. Вводим координаты интересующей нас прогнозной точки $N(x,y)$ и шифр ее принадлежности к k -ому пласту;

Таблица 4 - Информация о принадлежности номеров записей (природных свойств) пластам и регионам

Шифр пласта	Шифр региона	Номера записей								
		Высотная отметка почвы пласта								
1	1	1	2	3	4	5	6	7	8	и т.д.
1	1	31	32	33	0	0	34	35	36	
1	2	45	46	47	48	49	50	51	52	
2	3	68	69	70	71	72	73	74	0	
2	4	89	90	91	92	93	94	95	0	

4. Производится расчет принадлежности точки $N(x,y)$ некоторому региону R ;

5. Сравниваются шифр пласта, шифр региона и выбирается необходимый номер записи (из таблицы 4). По номеру записи считываются коэффициенты построенной модели, подставляются координаты точки $N(x,y)$ и выполняется прогнозный расчет природного свойства в заданной точке пространства выемочного участка.

3.3. Разработка алгоритма автоматизированного прогнозирования горно-геологических параметров угольных месторождений

Горно-геологические условия представляют собой совокупность характеристик компонентов геологической среды исследуемой территории, влияющих на условия проектирования, строительства и разработки месторождения полезного ископаемого (угленосных толщ, угольных пластов). Понятие «горно-геологические условия» относится к числу неуправляемых факторов и включает в себя геологические, гидрогеологические, инженерно-геологические условия, а также элементы горнотехнической системы, надежное исследование и прогнозирование которых позволяет построить рациональную технологическую схему шахты, а также достоверно определить необходимые объемы капиталовложений. Характеристика горно-геологических условий является комплексной и трудоемкой задачей за-за большого количества учитываемых параметров, что создает определенные трудности по их формализации и прогнозированию.[8]

В результате проведенного анализа была разработана блок-схема алгоритма автоматизированного прогнозирования горно-геологических параметров с помощью сплайн-функций Грина, которая представлена на рисунке 26.

В блоке 1 осуществляется построение каркасной модели месторождения в горно-геологическом программном пакете Micromine (далее MICROMINE). Построение каркаса производится путем создания вертикального поперечного разреза, на котором отображены скважины и интерпретированные по ним полигоны. Далее для придания трехмерного объёма устанавливается соединение между полигоном одного среза и полигоном следующего среза, создавая в процессе работы трехмерную форму. Этот процесс и называется построением каркаса или каркасным моделированием, с помощью которого строится сеть взаимосвязанных 3D-треугольников, представляющих собой поверхность.

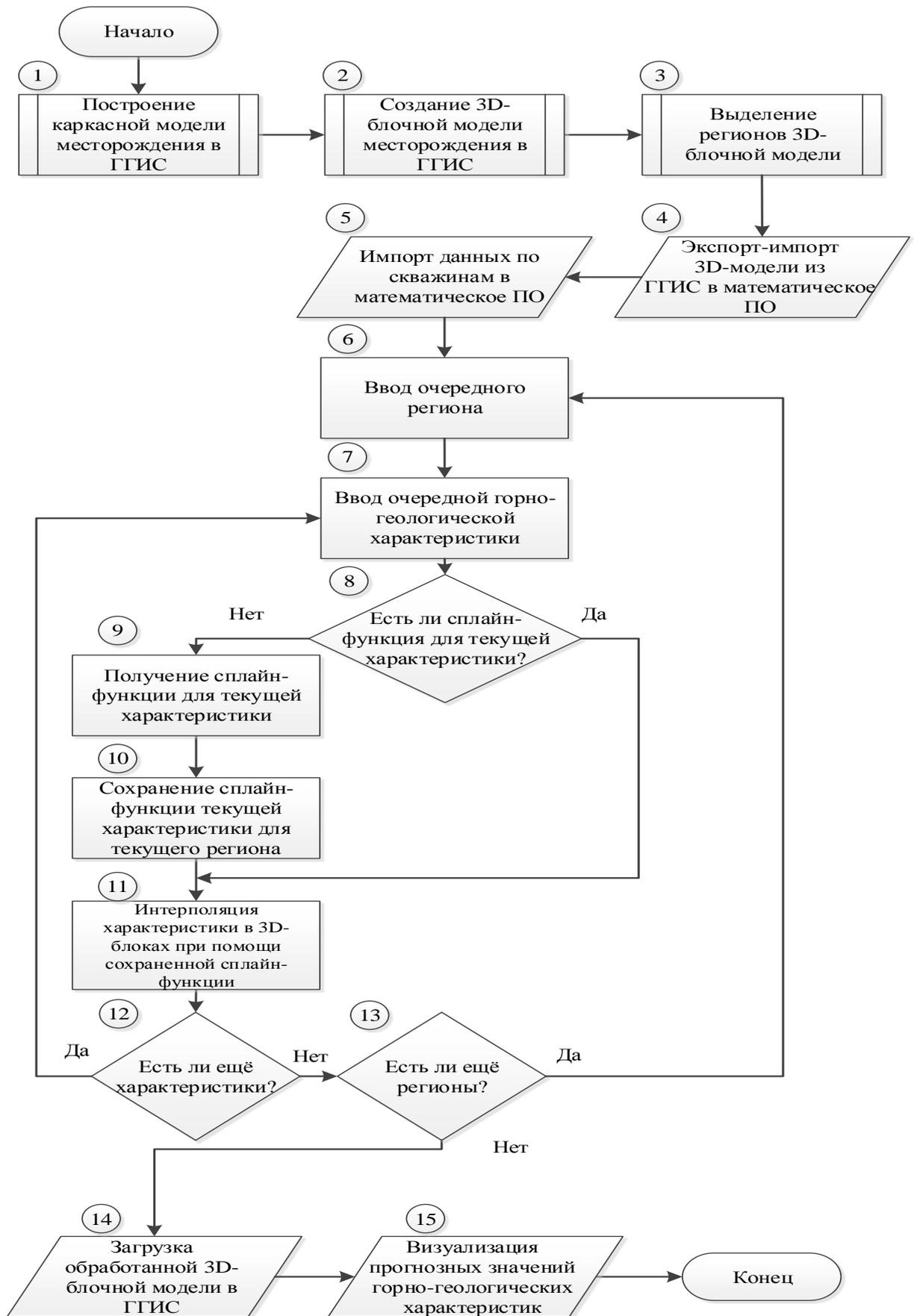


Рисунок 26- Блок-схема алгоритма автоматизированного прогнозирования горно-геологических параметров с помощью сплайн-функций Грина

Блок 2 реализует создание 3D-блочной модели месторождения в MICROMINE. После построения каркаса пласта необходимо создание блочной модели месторождения – трехмерной модели участка пространства, построенной путем разбиения этого участка на элементарные ячейки (блоки), которые имеют форму параллелепипеда и содержат в себе различные характеристики объекта.

В блоке 3 происходит выделение по имеющимся каркасным моделям блоков 3D-модели для каждого пласта (пропластка, толщи междупластья и т.п.), а затем выполняется присвоение кода принадлежности к некоторому региону R для каждого блока 3D-модели.

Экспорт-импорт 3D-модели из MICROMINE в программный пакет математического моделирования Matlab (далее MATLAB) производится в блоке 4. Данные пустой блочной модели месторождения выгружаются из MICROMINE в файл и загружаются в MATLAB стандартными методами.

Блок 5 реализует импорт данных по скважинам в MATLAB. Загрузку в MATLAB геологической базы данных, содержащей данные по разведочным скважинам необходимо произвести для получения сплайн-функции по каждому показателю для регионов 3D-модели.

В блоке 6 осуществляется ввод очередного региона и выбор его для обработки в MATLAB.

Блок 7 реализует выбор необходимого горно-геологического параметра для прогнозирования в MATLAB.

В блоке 8 устанавливается наличие сплайн-функция для текущего показателя. Если таковая имеется, то возможен переход к интерполяции данных в блоках 3D-модели, а если функция отсутствует – следует получить требуемую сплайн-функцию для текущего показателя.

Блок 9 позволяет получить необходимую сплайн-функцию для того или иного показателя путем обработки данных по геологоразведочным скважинам, с помощью которых программа MATLAB восстановит

функциональную зависимость по одной из горно-геологических характеристик;

В блоке 10 программа MATLAB производит сохранение сформированной ранее сплайн-функции в банк данных с указанием кода региона.

Интерполяция показателя в блоках 3D-модели при помощи сохраненной сплайн-функции осуществляется в блоке 11.

Для каждого блока, находящегося в текущем регионе, по его координатам x, y , подставленным в сохраненную (либо уже имеющуюся) функциональную зависимость, вычисляется прогнозное значение необходимой природной характеристики среды.

В блоке 12 устанавливается необходимость интерполяции других показателей в рассматриваемом регионе 3D-модели месторождения. Если показатели есть, то следует ввести следующий показатель и повторить цикл. Если же для всех показателей региона функциональные зависимости выявлены, осуществляется переход к следующему шагу.

Блок 13 реализует процедуру принятия решения: существуют ли еще регионы в рассматриваемой 3D-модели месторождения. Если регионы есть, то рекомендуется ввести следующий необходимый регион и повторить цикл. Если же для всех регионов все функциональные зависимости выявлены, а данные параметры интерполированы, то сформированная 3D-блочная модель с полученными прогнозными значениями горно-геологических характеристик для каждого блока выгружается из MATLAB в виде файла.

В блоке 14 файл, содержащий в себе закодированные геологические структуры и вычисленные с помощью сплайн-функций прогнозные значения искомым горно-геологических характеристик, выгружается из MATLAB и загружается в MICROMINE.

При визуализации в блоке 15 обработанной 3D-модели в MICROMINE осуществляется наглядная интерпретация природной изменчивости горно-геологических условий, интерполированных при помощи сплайн-функций Грина.[64]

3.4. Формирование нейросетевой модели распознавания геоструктур в 3D-блочной модели пластового месторождения

При проектировании отработки запасов угольных месторождений, а именно при раскройке шахтных полей, большое значение имеет обоснованность решений по оценке сложности геологических условий месторождения и принятия рациональных технологических схем отработки запасов выемочных единиц (участков). Поиск и выбор прогрессивного варианта технологического решения при отработке запасов базируется на выделении однородных геологических структур (геоструктур), запасы которых подлежат отработке с учетом однородности строения и возможных крупных нарушений, служащими основой для деления месторождения на геологические блоки с целью отработки запасов каждого блока только по одной технологии - монотехнологии. Размеры и размещение каждой геоструктуры на шахтопласте определяется, как правило, фактическим положением природных объектов (дизъюнктивные нарушения, изломы, складки, некондиционные запасы угля), а также технологических объектов (границы шахтного поля, охранные целики, отработанные участки). Описание геоструктуры осуществляется путем задания таких параметров и критериев, как однородность геологического строения, мощность, угол падения и внутреннее строения пласта, относительное постоянство основных показателей качества и технологических свойств угля, выдержанность элементов залегания пластов и других. В итоге, выявляются участки с примерно одинаковыми горно-геологическими условиями ведения горных работ и общность горнотехнических условий отработки запасов геоструктуры.[3, 38]

Исходной информацией для поиска и выбора рационального технологического решения является геологическая и горнотехническая информация, включающая основные сведения об угленосности, составе и

строении угленосной толщи, тектонике, гидрогеологии, устойчивости вмещающих пород, газоносности, геотермии и о газодинамических явлениях в пределах участка шахтного поля, с запасами, подлежащими отработке в течение рассматриваемого периода времени. Эта информация является многомерной характеристикой условий ведения горных работ.[9, 10]

Для объективного выделения геоструктур и принятия проектных решений эксперту необходимо анализировать большой объем горно-геологических характеристик, в 3D-моделях месторождений. Однако в современных горно-геологических программных пакетах отсутствуют штатные средства для автоматизированного распознавания геоструктур. Другими словами, на горнодобывающих предприятиях имеются 3D-модели, например, построенные в ПО Micromine и включающие в себя первичные данные, полученные на этапе геологической разведки месторождения (данные по скважинам), информацию, полученную на этапах каркасного моделирования, прогнозирования горно-геологических и горнотехнических условий залегания полезного ископаемого и формирования блочной 3D-модели месторождения. Таким образом, информация, подлежащая обработке при автоматизированном распознавании геоструктур, представляет собой данные, содержащиеся в геометризованных частях месторождения (блоках) с условно одинаковыми свойствами в пределах этого блока (рисунок 27).

При выборе метода автоматизированного выделения геоструктур были проанализированы сферы человеческой деятельности, связанные с необходимостью обработки большого объема подобной информации. Практически во всех сферах возникают задачи анализа данных, принципы отбора которых заданы нечетко. Однако современные компьютеры, обладая огромным быстродействием и возможностью обрабатывать большие объемы информации, часто не в состоянии справиться с поставленной задачей так, как это сделал бы человек.

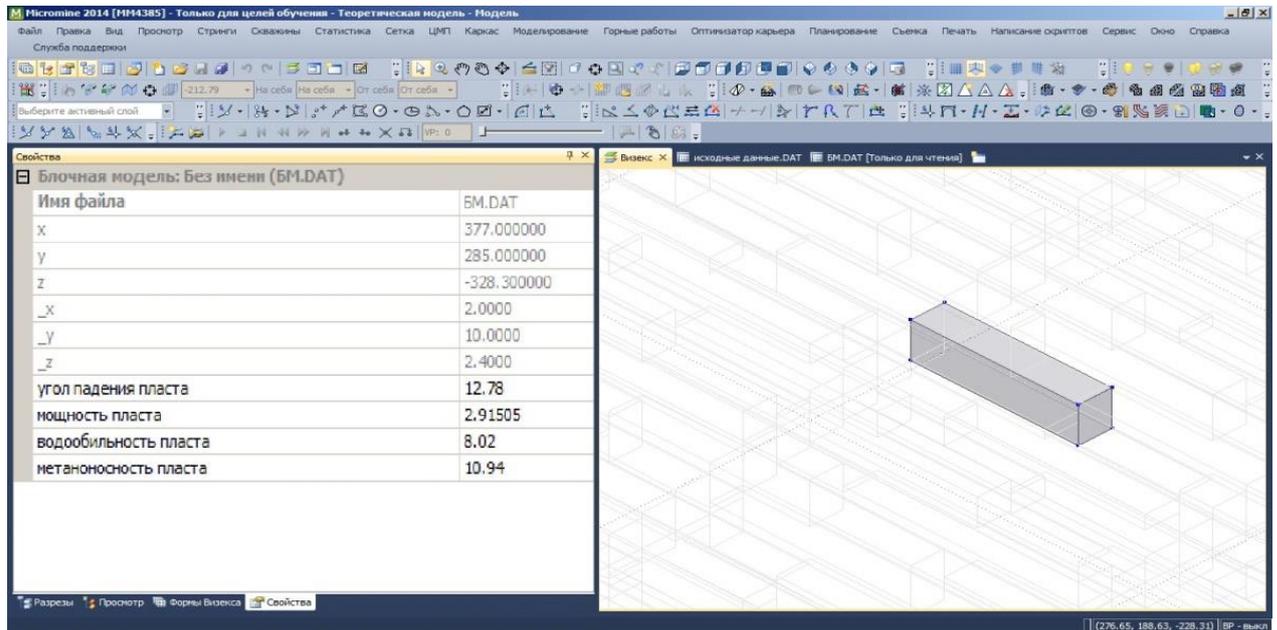


Рисунок 27- Блок модели месторождения и его свойства.

Идея перехода от обработки заложенных в компьютер алгоритмов некоторых формализованных знаний к реализации в нем собственных человеку приемов обработки информации привела к появлению искусственных нейронных сетей (ИНС) для кластеризации большого количества данных. Кластеризация – это автоматическое разбиение элементов некоторого множества на группы в зависимости от их схожести. ИНС – математическая модель, а также её программное или аппаратное воплощение, построенная по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей – сетей нервных клеток живого организма.[36]

На основе анализа методов ИНС рекомендуется использовать метод нейронных сетей Кохонена для автоматизированной кластеризации запасов угольных месторождений.

В результате исследований была сформирована интегрированная модель распознавания геоструктур в блочной 3D-модели угольного месторождения для обоснования рациональных проектных решений в автоматизированном режиме (рисунок 28).

В модели распознавания геоструктур угольного месторождения выделены три составляющие: входная геологическая информация, 3D-модель

месторождения, реализованная в ГГИС и самоорганизующаяся нейронная сеть кластеризации данных.

Алгоритм эксплуатации нейросетевой модели распознавания геоструктур реализуется в 5 этапов:

1. Создание трехмерной модели месторождения в ГГИС, предусматривающее создание каркасной модели, построение блочной модели, прогноз горно-геологических условий.

2. Экспорт блочной 3D-модели месторождения (в виде файла данных) для последующей обработки в пакете нейросетевого анализа.

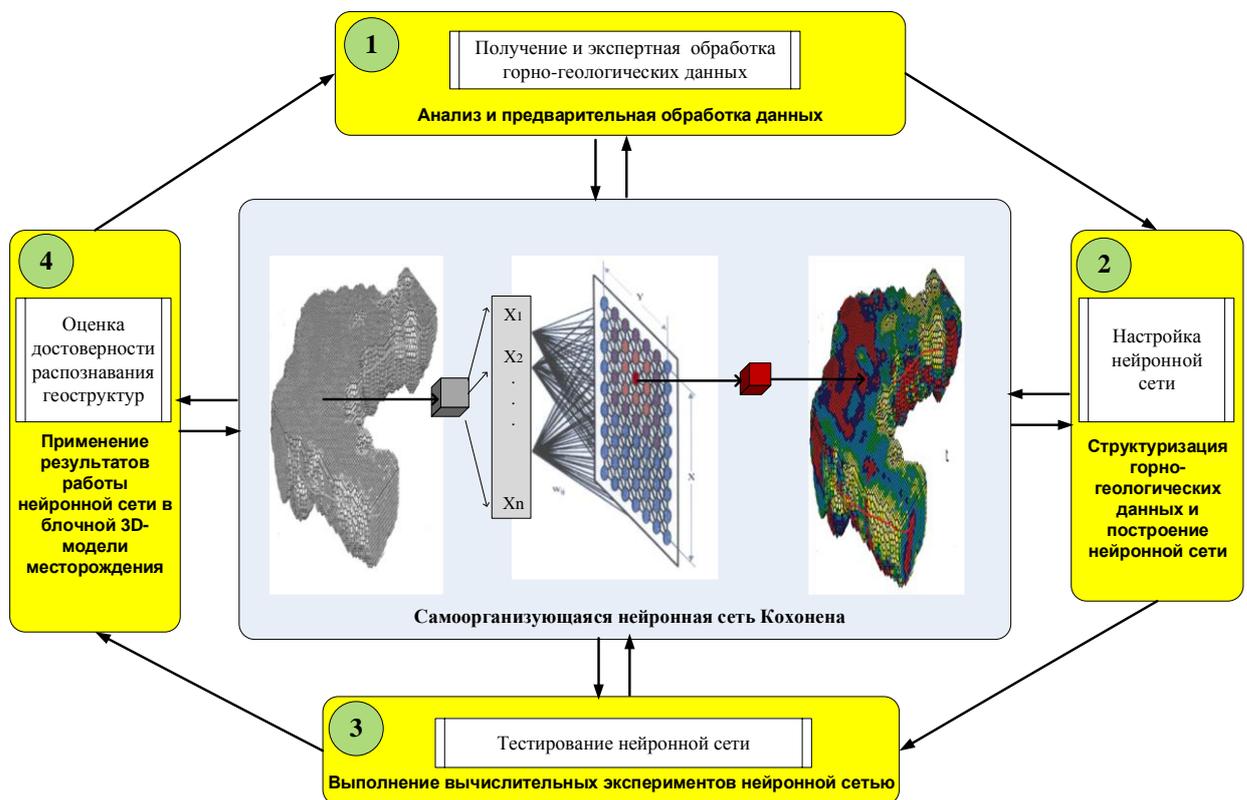


Рисунок 28- Нейросетевая модель распознавания геоструктур в блочной 3D-модели угольного месторождения.

3. Кластеризация данных методом самоорганизующихся нейронных сетей Кохонена, включающая создание сети с заданными параметрами, обучение сети; построение, визуализация и анализ двумерных карт; присвоение номера кластера блокам.

4. Экспорт полученных результатов работы нейросетевой модели (в виде файла данных кластеризации).

5. Импорт файла данных кластеризации в ГГИС с целью отображения геоструктур в трёхмерном пространстве для дальнейшего синтеза проектных решений.[66]

Проверка работоспособности методических принципов кластеризации запасов шахтопластов позволяет утверждать о возможности объективного автоматизированного выделения геоструктур, отработка запасов которых будет технологичной и в должной мере безопасной.

ВЫВОДЫ

1. Учитывая современные требования к проектам высокопроизводительных выемочных участков и тенденции использования информационных технологий в проектировании горнотехнических систем, предложено применять для автоматизированного анализа и синтеза проектных решений один из горно-геологических программных пакетов совместно с инструментами прогнозирования горно-геологических характеристик, технико-экономических показателей и технологических мероприятий, реализуемых в течение всего периода отработки запасов.

2. В результате анализа геологической и горнотехнической информации было выявлено, что поиск и выбор прогрессивного варианта технологического решения по отработке запасов базируется на выделении однородных геологических структур (геоструктур), запасы которых подлежат отработке с учетом таких критериальных признаков как однородность геологического строения, так и наличие участков, расположенных между крупными тектоническими нарушениями, служащими основой для деления месторождения на геологические блоки с целью отработки запасов каждого блока только по одной технологии - монотехнологии.

3. На основании того, что для объективного выделения геоструктур и принятия проектных решений, эксперту необходимо анализировать большой объем горно-геологических характеристик, представляемых в 3D-моделях месторождений (а в современных горно-геологических программных пакетах отсутствуют штатные средства для автоматизированного распознавания геоструктур) было обосновано применение прогрессивных методов искусственного интеллекта, в

частности для автоматизированной кластеризации запасов угольных месторождений - метод нейронных сетей Кохонена.

4. В качестве наиболее эффективного метода для восстановления функции изменчивости природных характеристик угольных месторождений рекомендован метод сплайн-функций Грина, основанный на формуле Грина.

5. Разработан алгоритм автоматизированного прогнозирования горно-геологических характеристик угольных месторождений в трехмерном пространстве, который позволяет составить множество функциональных зависимостей, достаточно полно описывающих динамику природных характеристик исследуемой углевлещающей толщи.

6. Разработана нейросетевая модель распознавания геоструктур в блочной 3D-модели угольного месторождения, которая способна «работать» в условиях неполной и нечеткой информации о месторождении, и алгоритм ее эксплуатации, который позволяет давать рекомендации по их использованию при обосновании пространственно-планировочных и технологических решений.

4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ БАЗЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ПРАКТИКЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ШАХТ

4.1. Рекомендации по выбору прикладных программных пакетов, используемых при прогнозировании и оценке запасов угольных месторождений

Сейчас наука и технологии, особенно информационные, тесно переплетены в единое целое. И не вызывает сомнений тот факт, что одно без другого уже не существует. Любая концептуальная теория практически всегда имеет программную реализацию, особенно это видно на примере созданных программных продуктов для горнодобывающей промышленности. Огромное количество успешно применяемых на производстве прикладных программных пакетов только доказывает возможность и необходимость их использования для решения практических задач. В горном направлении на сегодняшний день достаточно много горно-геологических программ, ориентированных на подсчет и оценку запасов. Развитие этого программного ряда можно продолжить путем совершенствования и включения в существующие модули программные реализации методов кластеризации, распознавания образов и прогнозирования, основанные на теории самоорганизующихся сетей Кохонена и теории сплайнов

Был проведен анализ программно-прикладных средств и пакетов горно-геологического моделирования [12, 45, 55, 68, 79, 118], кластеризации методом сетей Кохонена [2, 36, 46, 49, 50, 59, 82, 83, 89, 113, 143, 144] и прогнозирования методом сплайнов [30, 34, 46, 80, 84–86, 90, 91, 96], на

основании которого предлагается ряд рекомендаций по их выбору для практического использования на производстве и при формировании геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений.

Анализ Internet –источников, таких как <http://technology.infomine.com>, <http://www.infomine.com/suppliers>, <http://www.miningsoftware.org> и др.[121–125], показал, что сегодня на рынке программного обеспечения для горнодобывающего производства наметились тенденции к укрупнению и консолидации, т.е. переход от количества к качеству. Постоянно обновляемый перечень программных продуктов, представленный на странице <http://technology.infomine.com/softwaremine>, включает в себя десятки сотен прикладного программного обеспечения, из которого можно выделить лишь несколько горно-геологических глобальных систем. Создание таких мощных систем для горного производства требует не только материальных, интеллектуальных затрат, но и единого концептуального подхода к проектированию. Задачи обработки пространственно-координатной горно-геологической информации, построения адекватных условиям 3-D моделей месторождения, интеллектуального анализа горно-геологических данных, применения ситуационного моделирования в условиях недетерминированной среды – все это необходимо учитывать при создании современной горно-геологической системы высокого интеллектуального уровня, отвечающей мировым требованиям производства. Решение подобных задач подвластно лишь специализированным коллективам разработчиков.[12]

Основные компании, производящие горно-геологические программные пакеты были представлены в разделе 1. [126–130]

Рассмотрим наиболее распространенные программные пакеты подробнее.

Самой часто используемой и распространенной среди мировых горнодобывающих предприятий является горно-геологической система DATAMINE (Constellation Software Inc, Canada). На рынке горного

программного обеспечения данная система существует с 1968 года. Считается, что DATAMINE достаточно проверенная система, отвечающая самым необходимым функциям при проектировании и ведении горных работ. Интернет источник: <http://www.dataminesoftware.com>.

Конкурирующей с DATAMINE по мощности является австралийская система горного профиля MICROMINE (Micromine Pty Ltd, Australia). В настоящее время она используется по всему миру многими крупными горнодобывающими компаниями. Эта система предназначена для визуализации и обработки горно-геологических данных в 3-D пространстве. Мощный программный пакет MICROMINE охватывает весь производственный цикл: от геологической разведки до контроля над горным производством и ведения сопутствующей документации. MICROMINE является инновационной системой, реализующей в себе научно-методические подходы в области проектирования и сопровождения горных работ, именно это отличает ее и дает преимущества на рынке. В состав MICROMINE входят следующие модули: апробирование, разведка, каркасное моделирование, оценка запасов, маркшейдерская съемка, оптимизация, документация. Достоверным Интернет-источником компании является: <http://www.micromine.com>.

Еще одной австралийской системой, предназначенной для горно-геологического моделирования месторождений является система VULCAN. Эта система имеет практически все те же самые функции и предназначения, что и DATAMINE и позволяет проектировать и сопровождать горные работы как открытым, так и подземным способом добычи. Наиболее подробно ознакомиться с работой программного пакета можно в Интернете: <http://www.maptek.com>.

SURPAC (Dassault Systèmes Geovia). Geovia, ранее известная как Gemcom Software, с 2012 года является частью Dassault Systèmes, компании, которая воплощает принцип 3D-взаимодействия (3DEXPERIENCE). В настоящее время деятельность Geovia сфокусирована на горнодобывающей отрасли.

Основной целью компании является моделирование и анализ нашей планеты с целью повышения прогнозируемости, эффективности, безопасности и устойчивости характера использования природных ресурсов. Простота использования, совместимость с наиболее распространенными системами управления базами и банками данных, высококачественная 3D-графика позволяют утверждать, что Geovia по праву занимает одну из лидирующих позиций в мировой практике использования программных продуктов горного профиля. Сайт в интернете: <http://www.geovia.com/>.

В системе TECHBASE (TECHBASE International Ltd, USA) используется СУБД оригинальной архитектуры, однако можно считывать текстовые ASCII-файлы с данными. Возможности системы следующие: интерполяция на основе геостатистики, блочно-каркасное моделирование залежей, расчет устойчивости откосов, расчет оптимальных границ карьера, подсчет запасов и календарное планирование горных работ, моделирование течения подземных вод, экспорт-импорт данных в различные системы (AutoCAD, dBase и т.д.). TechBase может быть установлена на IBM-совместимых персональных компьютерах, машинах семейства MACINTOSH, рабочих станциях IBM, Hewlett-Packard, Sun Microsystems. Сайт в интернете: <http://www.techbase.com>.

GEOSTAT (SGS Geostat, Canada) предлагает пакеты для моделирования рудных тел, подсчета запасов и планирования горных работ для геологии, горного дела и экологии. Пакет POLYCAD предназначен для подсчета запасов по методу полигонов Вороного (многоугольников близости при подсчете горизонтальными сечениями). Сайт в интернете: <http://www.geostat.com>.

INTERGRAPH (Hexagon AB, USA). Корпорация Intergraph® - мировой лидер в области разработки инженерного ПО для проектирования предприятий, управления пространственными ресурсами и обеспечения безопасности, позволяющего визуализировать пространственные данные любой степени сложности. Службы обеспечения безопасности,

промышленные предприятия, правительственные, федеральные и муниципальные органы власти более 60 стран мира используют технологии Intergraph для организации крупных массивов данных в легко-читаемые визуальные представления, способствующие принятию обоснованных и оперативных решений. В октябре 2010 года корпорация Intergraph была приобретена группой компаний Hexagon AB и в настоящий момент полностью входит в ее состав. Подразделение Intergraph Security, Government & Infrastructure (SG&I) (в дословном переводе означающее Безопасность, Правительство и Инфраструктура) - ведущий мировой производитель геопространственных решений для таких отраслей как: общественная безопасность, государственное и муниципальное управление, транспорт, фотограмметрия, инженерные коммуникации, телекоммуникации. Intergraph Government Solutions (IGS) – новое независимое подразделение, отвечающее за работу с федеральными и оборонными ведомствами правительства США. Intergraph SG&I является одним из двух подразделений корпорации Intergraph, входящей в состав Группы компаний Hexagon AB. Сайт в интернете: <http://www.intergraph.com>.

Системой заточенной под оптимизацию добычи полезных ископаемых открытым способом является австралийский программный продукт NVP Scheduler. Отличительной особенностью его является совместимость с другими программными продуктами, как AutoCAD, Surpac, Datamine и другими. Интернет-источник <http://www.earthworks.com.au>.

При наличии такого огромного разнообразия на рынке программного обеспечения горного профиля достаточно сложным оказывается выбор пакета прикладных программ, который бы смог отвечать всем интересующим и необходимым для конкретного производства функциям. [131, 132] Основными аспектами при выборе ПО для моделирования горно-геологических объектов с использованием прогрессивных методов прогнозирования и оценки запасов месторождений должны являться:

- бюджет, возможный для приобретения горно-геологического ПО;

- функционал, требуемый для конкретного производства с учетом имеющихся на рынке программных продуктов.

Для реализации подсистемы обработки горно-геологических характеристик геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений в программном пакете горной направленности необходимо следующее:

- возможность экспорта горно-геологических данных, полученных в результате проб в стандартные программные продукты (например, MS Excel);

- возможность каркасного и блочного моделирования;

- возможность импорта горно-геологических данных в блочную модель месторождения, полученных в результате работы алгоритма автоматизированного прогнозирования горно-геологических характеристик с помощью сплайн-функции и нейросетевой модели распознавания геоструктур. Это позволит улучшить качество прогнозирования и даст возможность получить визуализацию автоматизированного зонирования горно-геологических данных;

- необходимо наличие сопровождающей документации;

- необходимо наличие технической поддержки;

- необходимо наличие открытой архитектуры;

- анализ существующих программных продуктов, реализующих возможности прогнозирования и оценки запасов;

- принятие решения по выбору программного продукта;

- уточнение всех интересующих вопросов с поставщиком ПО;

- тестовая эксплуатация ПО на реальных производственных задачах.

Для реализации 3D-модели угольного месторождения, входящей в геоинформационную базу прогнозирования и оценки запасов, было принято решение использовать программный продукт Micromine в связи с его дружественным интерфейсом и наличием документации на русском языке.

Наиболее заслуживающим внимания программным средством, в котором реализована технология прогнозирования методом сплайнов, является система MATLAB. Для использования теории нейронных сетей Кохонена была выбрана программа Deductor.

Выбор системы MATLAB не случаен, поскольку данная программа достаточно гибка в использовании в части программирования и дает возможность производить численные расчеты с их последующей визуализацией. Кроме того MATLAB дает возможность безболезненно для основной архитектуры ПО расширять или изменять математический функционал программы. Для MATLAB характерен собственный универсальный язык программирования сродни C++.[74, 133]

Программа Deductor - аналитическая платформа, позволяющая в сжатые сроки создать эффективную систему поддержки принятия бизнес-решений. Благодаря мощным механизмам импорта, с помощью Deductor возможно создание единой аналитической надстройки над всеми существующими в компании системами сбора и хранения данных. Уникальность данного решения состоит в том, что Deductor, при необходимости, автоматически объединит данные из разрозненных источников. Реализованные в Deductor технологии позволяют на базе единой архитектуры пройти все этапы построения аналитической системы: от создания хранилища данных до автоматического подбора моделей и визуализации полученных результатов. Deductor предоставляет инструментальные средства, необходимые для решения самых разных аналитических задач. Корпоративная отчетность, прогнозирование, сегментация, поиск закономерностей - эти и другие задачи, где применяются такие методики анализа как OLAP, Knowledge Discovery in Databases и Data Mining.[120, 134]

В связи с тем, что при формировании геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов предусмотрено использование импорта-экспорта данных между различными информационными системами, считаю обоснованным применение в целях программной реализации распознавания

геоструктур угольных месторождений использовать ПО Deductor, имеющее широкие возможности интеллектуального анализа данных.

Как отмечалось выше для крупных предприятий закупка программного обеспечения требует детальной проработки. Стандартные рекомендации по приобретению и внедрению программного обеспечения включают в себя следующие пункты:

1. Выбор конфигурации программного продукта, возможности которой наиболее полно соответствуют задачам горнодобывающего предприятия и учитывают совместимость с действующим программным обеспечением и оборудованием.

2. Утверждение приобретения программного продукта согласно политике горного предприятия.

3. Получение лицензии на приобретение и использование программного продукта в рамках работ горнодобывающего предприятия.

4. Подготовка инфраструктуры к внедрению программного продукта.

5. Внедрение программного продукта на горнодобывающем предприятии. На этом этапе производится настройка программного обеспечения, обучение специалистов базовым приемам использования данного программного пакета с учетом специфики производства и составляется первоначальное техническое задание на доработку функциональных возможностей ПО.

6. Эксплуатация программного продукта в экспериментальном режиме, но на реальных данных горнодобывающего предприятия.

7. Ввод программного продукта в промышленную эксплуатацию.

8. Сопровождение программного продукта.

9. Изготовление необходимой для горнодобывающего предприятия документации.

4.2. Рекомендации по использованию алгоритма прогнозирования горно-геологических параметров в условиях шахты имени «7 Ноября» ОАО «СУЭК-Кузбасс»

При построении 3D-блочной модели реального месторождения в программном продукте MICROMINE сначала следует отстроить каркасы пластов, кровли и почвы, которые будут впоследствии использоваться для определения принадлежности каждого блока 3D-модели к ранее выделенным слоям, толщам, регионам (рисунок 29.)

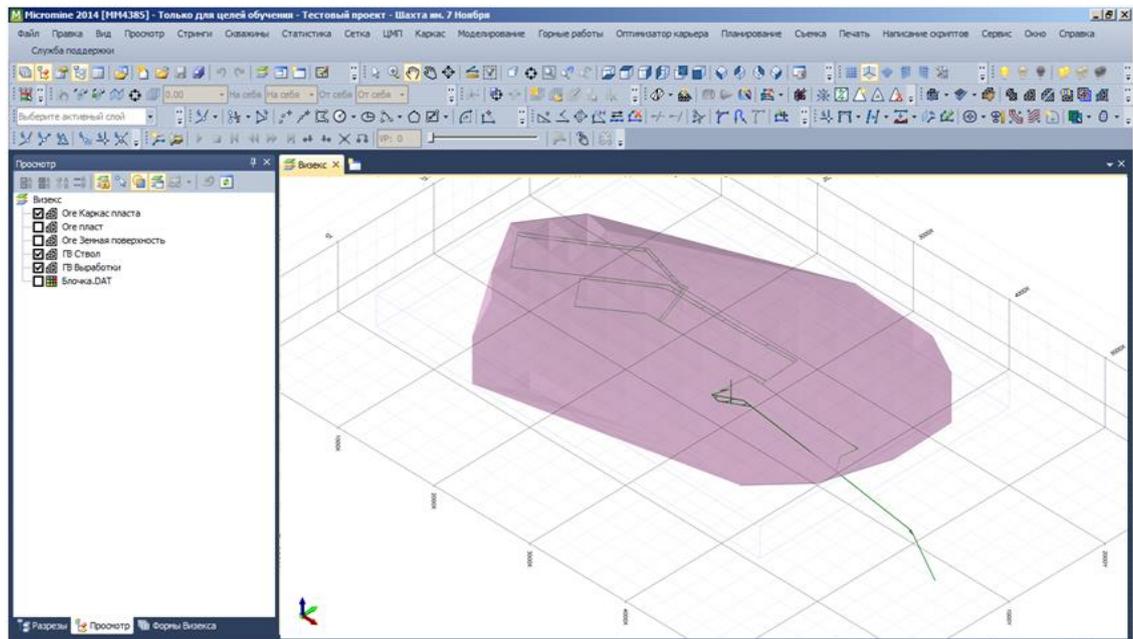


Рисунок 29- Каркасная модель пласта шахты имени 7 Ноября (Кузбасс).

Далее производится построение пустой блочной модели угольного месторождения, которая содержит в себе координаты каждого геологического блока. Следует отметить, что на рассматриваемом участке шахты имени 7 Ноября отсутствуют какие-либо явные геологические нарушения, в связи с чем 3D-модель будет иметь всего один регион.

Выгружаем для дальнейшей обработки блоки, попавшие в каркас, в виде таблицы Excel из программного продукта MICROMINE в программу математического моделирования MATLAB (рисунок 30).

Пустая блочная модель шахты им. 7 Ноября - Microsoft Excel

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
2375	X	Y	Z	X	Y	Z				
2376		820	1720	-34	10	20	4			
2377		820	1725	-33	20	10	2			
2378		820	1725	-34	20	10	4			
2379		820	1730	-35	30	10	2			
2380		820	1730	-34	20	20	4			
2381		820	1735	-34	30	10	2			
2382		820	1735	-35	30	10	4			
2383		820	1735	-35	30	10	2			
2384		820	1735	-29	20	10	4			
2385		820	1740	-30	40	10	2			
2386		820	1745	-29	10	20	4			
2387		820	1745	-30	20	10	2			

Рисунок 30- Подготовка данных для выгрузки в программный продукт MATLAB

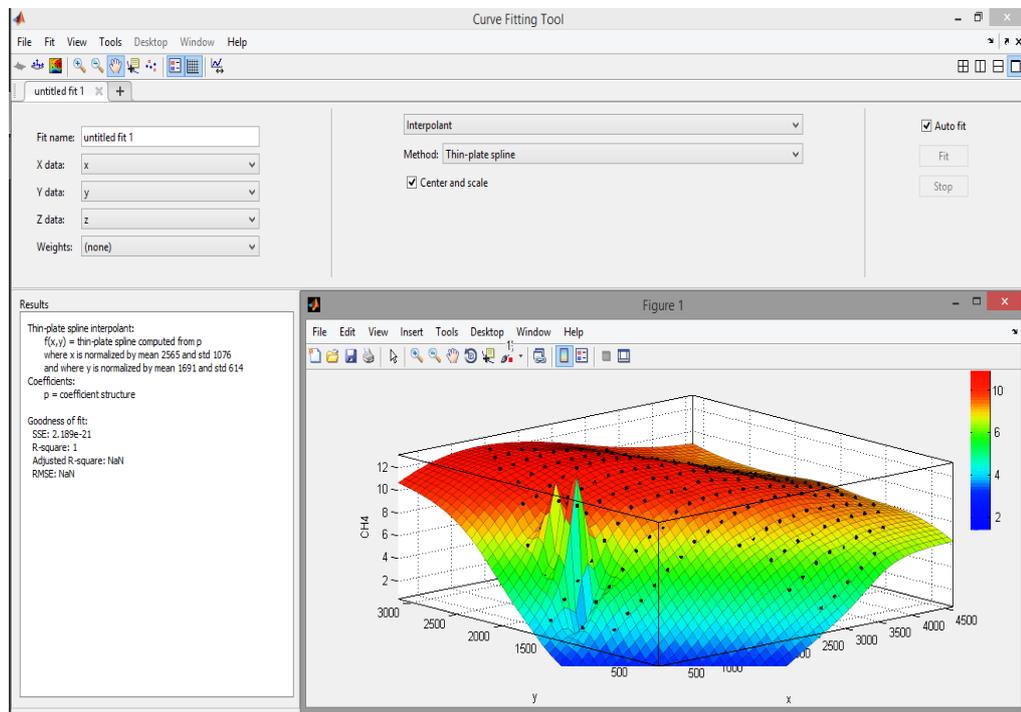


Рисунок 31- Графическая интерпретация изменения метаноносности на обрабатываемом участке шахтного поля шахты имени 7 Ноября

Одновременно с этим необходимо загрузить в MATLAB базу данных по скважинам месторождения, где с помощью интерполяции сплайнами по имеющимся данным по скважинам программа восстановит функциональные зависимости (рисунок 31, 32) по метаноносности угольного пласта. Для этого используется CurveFittingToolbox – пакет расширения MATLAB для различных прикладных задач аппроксимации и интерполяции данных.

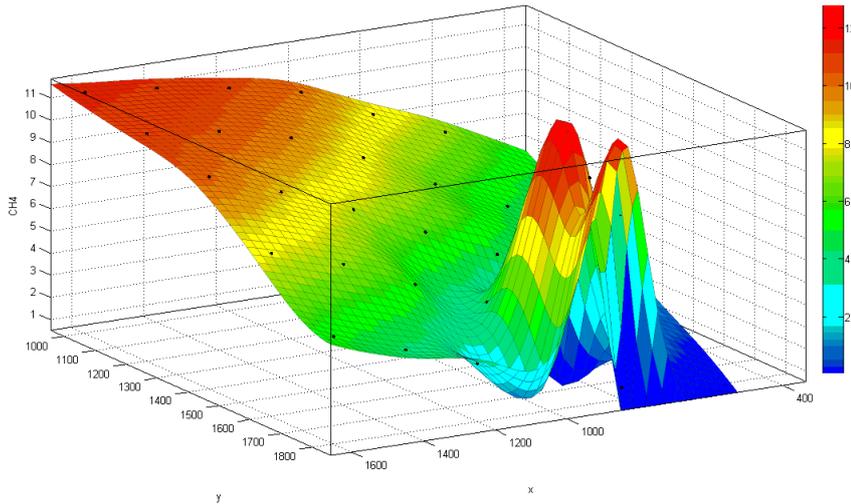


Рисунок 32-Участок шахтного поля шахты имени 7 Ноября с наиболее характерными изменениями метаноносности угольного пласта.

Стоит заметить, что при интерполяции стандартными методами, прогнозные значения будут в определенной мере отличаться, так как сплайн-функция наиболее гибко и точно описывает природную изменчивость горно-геологических данных (таблица 5.).

Таблица 5 -Сравнительная таблица результатов прогнозирования метана при помощи метода обратных расстояний и сплайн-функции

X	Y	Z	CH4 метод обратных расстояний	CH4 метод сплайн- функций
820	1720	-34	11,33619	11,33619
820	1725	-33	11,21939	11,22451
820	1725	-34	11,1961	11,13694
820	1730	-35	10,88722	11,10451
820	1730	-34	10,70666	11,10676

Продолжение таблицы 5 -Сравнительная таблица результатов прогнозирования метана при помощи метода обратных расстояний и сплайн-функции

X	Y	Z	CH₄ метод обратных расстояний	CH₄ метод сплайн- функций
820	1735	-34	10,67801	11,00801
820	1735	-35	10,61126	11,00633
820	1735	-35	10,5358	11,0043
820	1735	-29	10,4774	11,0024
820	1740	-30	10,42958	11,0066
820	1745	-29	9,99496	10,52503
820	1745	-30	9,72336	10,01002
820	1745	-31	9,30651	9,36678
825	1755	-30	8,76536	9,26255
825	1755	-29	8,70323	9,07496
825	1755	-31	8,51437	8,52003
825	1755	-30	8,45082	8,41128
825	1755	-29	8,39166	8,35246
825	1755	-31	8,35823	8,44825
825	1765	-30	8,11827	8,42174

Для каждого блока по его координатам x, y , подставленным в необходимую функциональную зависимость, вычисляется прогнозное значение метаноносности угольного пласта. Затем блоки обратно загружаются в 3D-модель и представляют нам наглядную интерпретацию изменения содержания метана на участке месторождения (рисунок 33).

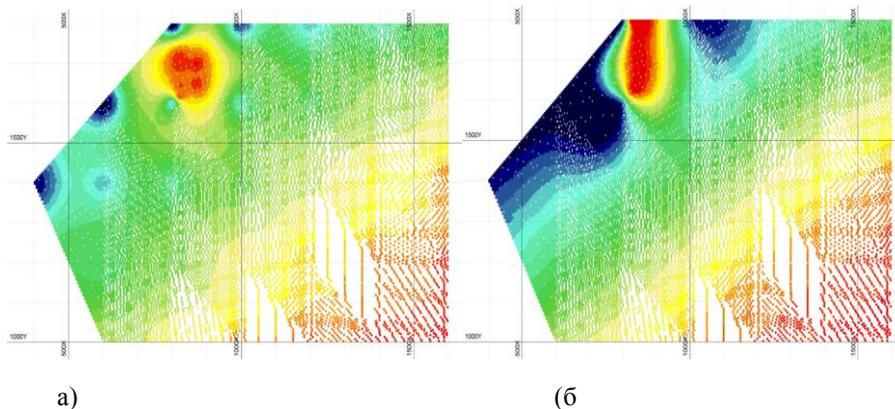


Рисунок 33- Графическая интерпретация прогноза метаноносности на участке месторождения при помощи: а) стандартных методов интерполяции; б) интерполяции сплайн-функцией

Таким образом, можно сделать вывод о том, что сплайн-функции обладают исключительно хорошими аппроксимативными свойствами, а также универсальностью и обеспечивают простоту реализации вычислительных алгоритмов, полученных на их основе. Прогнозирование пространственной изменчивости горно-геологических данных при помощи сплайн-функции Грина, в свою очередь, позволит обеспечить большую надежность и достоверность полученных результатов, а также найдет свое применение во многих современных программных продуктах для прогнозирования горно-геологических условий в трехмерном пространстве.

4.3. Апробация нейросетевой модели распознавания геоструктур для угольного пласта В-26 поля шахты «Северная» ОАО «СУЭК-Кузбасс»

Процесс распознавания геоструктур реализовывался на тестовом примере. В качестве объекта исследований был принят участок пласта размером 800*800 метров. Этапы 1-3 алгоритма эксплуатации модели выполнялись стандартными методами и средствами ПО Micromine, в результате чего был выгружен файл в виде электронной таблицы MSEXcel (рисунок 34), содержащей данные по 95820 блокам 3D-модели.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	x	y	z	_x	_y	_z	угол падения	мощность пласта	водобильность	метаноносность							
2	3	1	-395,8	2	2	0,6	14	3,23008	16	19							
3	1	5	-396,1	2	10	1,2	14	3,2302	15,99	18,99							
4	5	5	-395,65	2	10	0,3	13,99	3,23039	15,99	18,99							
5	3	6	-395,95	2	8	0,9	13,99	3,23035	15,99	18,99							
6	1	2	-394,45	2	4	2,1	14	3,23008	16	19							
7	9	4	-393,55	2	8	2,1	13,98	3,23049	15,97	18,97							
8	3	5	-394,3	2	10	2,4	13,99	3,23031	15,99	18,99							
9	5	5	-394	2	10	3	13,99	3,23044	15,99	18,99							
10	7	5	-393,85	2	10	2,7	13,98	3,23062	15,98	18,98							
11	1	7	-394,6	2	6	1,8	13,99	3,23044	15,99	18,99							
12	9	9	-393,7	2	2	2,4	13,96	3,23087	15,95	18,95							
13	9	1	-391,9	2	2	1,2	13,98	3,23045	15,97	18,97							
14	7	5	-392,2	2	10	0,6	13,98	3,23045	15,98	18,97							
15	9	6	-392,05	2	8	0,9	13,97	3,23066	15,96	18,96							
16	5	17	-395,65	2	14	0,3	13,94	3,23277	15,93	18,93							
17	1	20	-396,25	2	20	1,5	13,92	3,23371	15,91	18,91							
18	3	20	-395,95	2	20	0,9	13,92	3,23376	15,91	18,91							
19	5	27	-395,8	2	6	0,6	13,86	3,23742	15,82	18,83							
20	7	13	-393,85	2	6	2,7	13,96	3,23187	15,95	18,95							
21	5	16	-394	2	12	3	13,94	3,2325	15,93	18,93							
22	1	20	-394,6	2	20	1,8	13,92	3,23375	15,91	18,91							
23	3	20	-394,3	2	20	2,4	13,92	3,23381	15,9	18,9							
24	9	20	-393,7	2	20	2,4	13,9	3,23306	15,87	18,85							
25	7	23	-394	2	14	3	13,89	3,23545	15,86	18,86							

Рисунок 34- Файл входного набора данных.

В качестве программного обеспечения, позволяющего работать с методом самоорганизующихся сетей Кохонена, использовалось ПО Deductor. Описание компонент векторов входного набора данных для ПО Deductor (п.4 алгоритма) представлено в таблице 6.

Таблица 6 - Компоненты векторов входного набора данных

№	Название компонента (параметра)	Диапазон значений
1.	Координата центра блока по оси X, м	1,0-799,0
2.	Координата центра блока по оси Y, м	1,0-799,0
3.	Координата центра блока по оси Z, м	(-414,1)-(-131,65)
4.	Угол падения пласта, град.	9,0-24,0
5.	Мощность пласта, м	1,64-3,60
6.	Водообильность, л/с	1,0-16,0
7.	Метаноносность пласта, м ³ /т	1,0-20,0

Согласно пункту 5 алгоритма эксплуатации модели, было произведено создание сети Кохонена. Компоненты векторов входного набора данных для сети соответствуют столбцам файла входного набора данных (рисунок 37), а входные векторы, содержащие значения этих компонент при различных условиях получения статистической информации, соответствуют строкам файла входного набора данных (рисунок 34). Обучение сети производилось на входном наборе данных. В качестве способа начальной инициализации карты принималась инициализация из собственных векторов; функция соседства – ступенчатая; автоматическое определение числа кластеров. Основные параметры обучаемой сети приведены на рисунке 35.

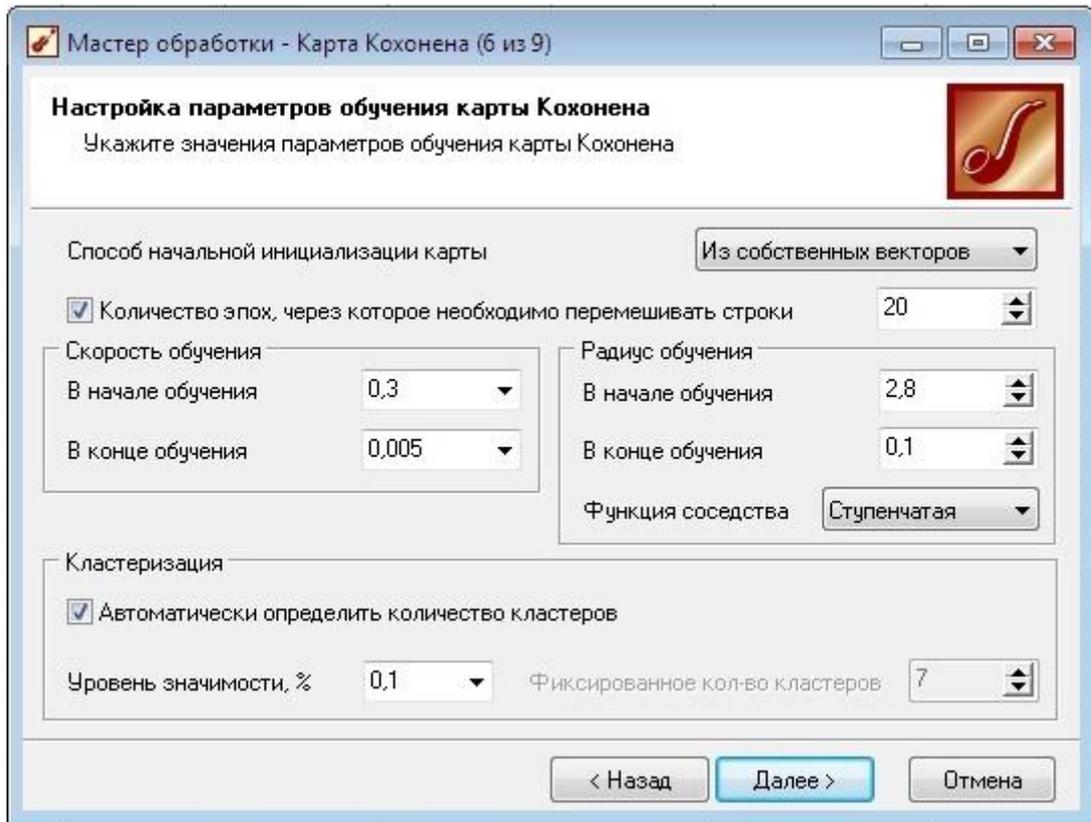


Рисунок 35- Параметры обучения сети Кохонена.

Всего было проведено 500 эпох обучения, результаты которого представлены в виде карт-разверток (рисунок 36) по мощности пласта, углу падения, метаноносности, водообильности.

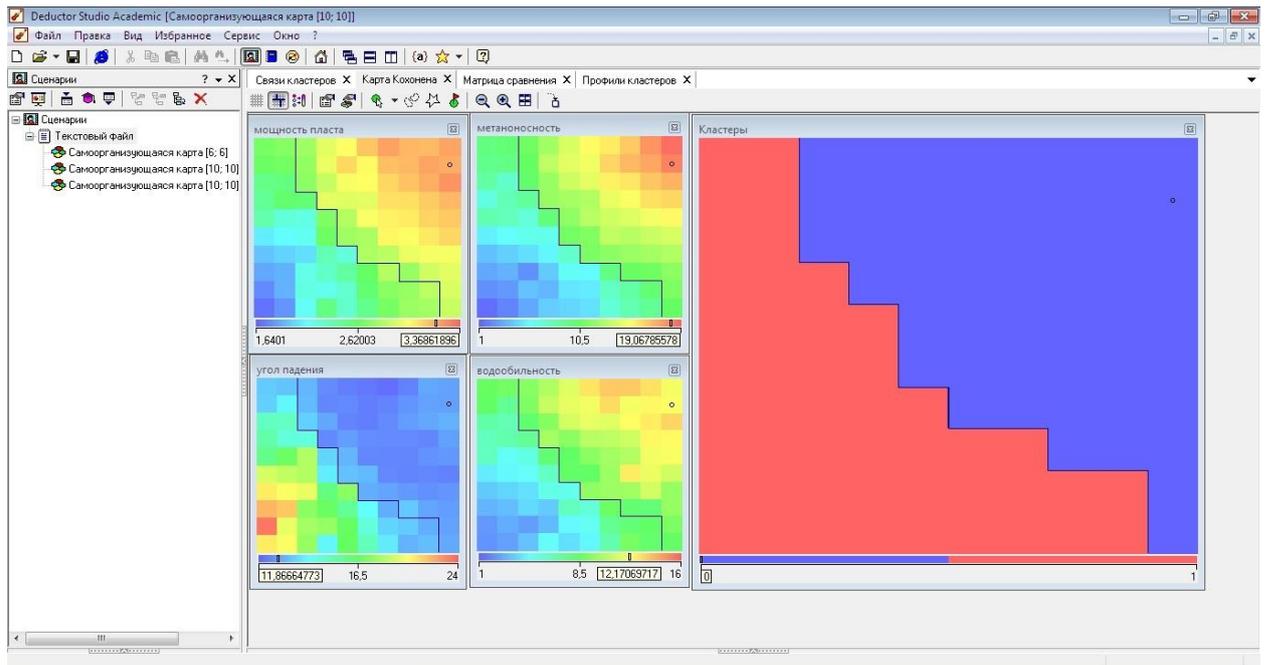


Рисунок 36- Карты-развертки при анализе геологических данных.

В результате анализа были выделены два кластера. Данные кластеризации были выгружены из ПО Deductor (п.6 алгоритма эксплуатации модели), затем импортированы и визуализированы в ПО Micromine (п.7 алгоритма эксплуатации модели) (рисунок 37).

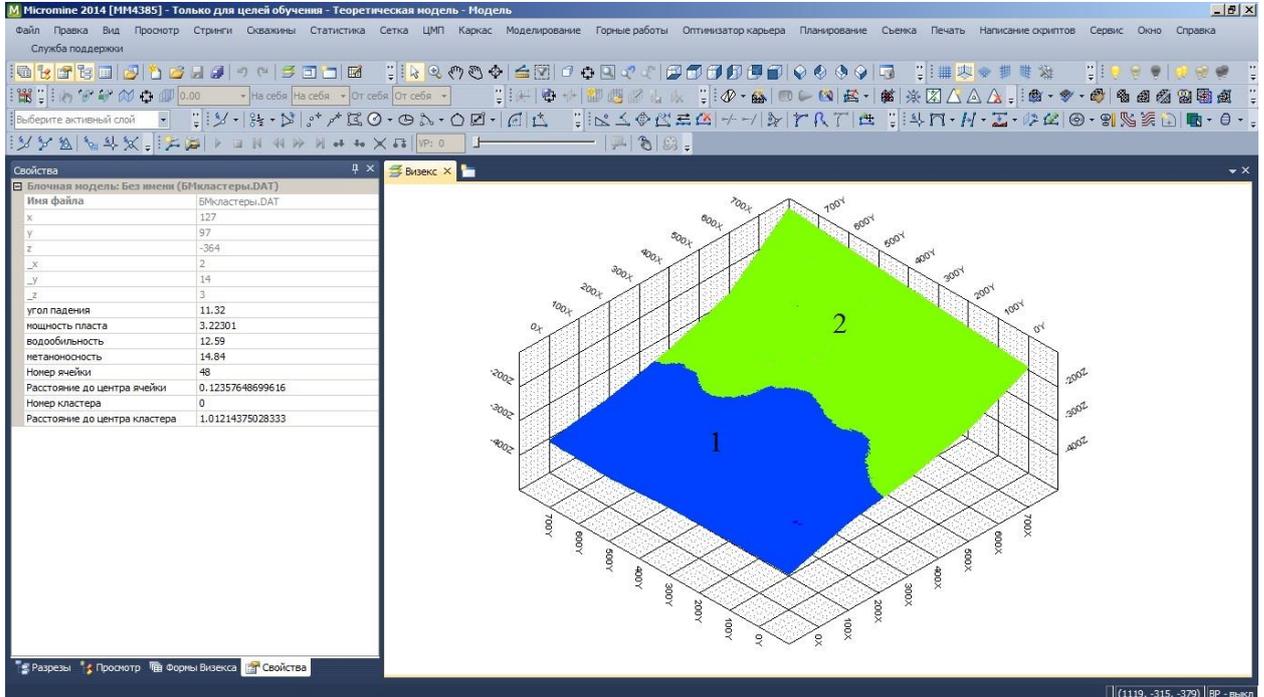


Рисунок 37- Окно визекса ПО Micromine. Геоструктуры.

Первый кластер характеризуется углом падения до $12,4^\circ$ и мощностью пласта от 1,6 до 2,9 м, а второй- углом падения от $11,6^\circ$ до 24° и мощностью пласта от 2,7 до 3,6 м. На рисунке 38 представлена детализация горно-геологических характеристик, выделенных геоструктур.

Геоструктура 1

Геоструктура 2

Имя поля	Допустим...	Минимум	Максимум
x	52451	1	473
y	52451	1	799
z	52451	-414.100000...	-307.449999...
_x	52451	2	4
_y	52451	2	20
_z	52451	0.300000000...	3.000000000...
угол падения	52451	9.000000000...	12.42000000...
мощность пласта	52451	1.640100000...	2.935710000...
водообильность	52451	7.000000000...	16.00000000...
метаносность	52451	10.06000000...	20.00000000...

Имя поля	Допустим...	Минимум	Максимум
x	43369	317	799
y	43369	1	799
z	43369	-353.949999...	-131.650000...
_x	43369	2	2
_y	43369	2	20
_z	43369	0.300000000...	3.000000000...
угол падения	43369	11.65000000...	24.00000000...
мощность пласта	43369	2.701060000...	3.599960000...
водообильность	43369	1.000000000...	10.74000000...
метаносность	43369	1.000000000...	10.23000000...

Рисунок 38- Горно-геологические характеристики выделенных геоструктур.

На основании «Временных норм технологического проектирования угольных и сланцевых шахт» (ВНТП-1-92) можно констатировать, что отработку запасов геоструктур №1 и №2 возможно производить по системе в варианте «длинные столбы с обрушением кровли в выработанном пространстве (ДСО)». Причем отработка запасов геоструктуры №1 целесообразна лавами по восстанию пласта, учитывая значительную водообильность и среднюю мощность пласта, а для геоструктуры №2 - система ДСО по простиранию пласта.

Таким образом, проверка работоспособности методических принципов кластеризации запасов шахтопластов позволяет утверждать о возможности объективного автоматизированного выделения геоструктур, отработка запасов которых будет технологичной и в должной мере безопасной. Это утверждение является основанием для реализации модели распознавания геоструктур угольного пласта В-26 поля шахты «Северная» ОАО «СУЭК-Кузбасс».

Геологические данные ш Северная [Режим совместимости] - Microsoft Excel

№ п/п	Номер скважины	Координата (X)	Координата (Y)	Отметка кровли пласта, м	Отметка почвы пласта, м	Мощность пласта (по нормали), м	Крепость угля, МПа	Зольность угля с учетом прослоек, %	Влажность пласта, %	Природная метаногенность угля, м ³ /т с б.м.
1	1511	1924.80	1968.70	279.96	277.37	2.59	1.50	35.00	4.00	1.00
2	1514	1735.53	2265.79	214.73	212.05	2.69	1.50	29.00	4.00	2.00
3	1513	1529.89	2399.05	199.05	196.45	2.60	1.60	37.00	4.00	0.50
4	1519	1111.61	2678.12	175.35	173.00	2.35	1.70	30.00	4.00	1.50
5	1520	928.18	2846.93	188.30	186.35	1.95	1.40	32.00	4.00	1.00
6	1515	1959.22	2093.39	263.02	260.16	2.86	1.50	32.00	4.00	2.00
7	1207	2056.21	2288.30	261.71	259.00	2.71	1.60	28.00	4.00	1.50
8	1210	1864.40	2446.37	336.41	334.14	2.27	1.40	21.00	4.00	2.00
9	1212	1667.18	2592.35	201.38	198.69	2.69	1.70	34.00	4.00	1.00
10	1221	1402.91	2699.34	183.93	181.29	2.64	1.60	35.00	4.00	2.00
11	1218	1251.86	2881.07	177.32	174.73	2.59	1.50	29.00	4.00	0.50
12	1215	1071.93	3053.40	179.22	176.47	2.75	1.40	30.00	4.00	1.50
13	1541	2365.50	2451.89	307.43	304.62	2.81	1.70	31.00	4.00	1.00
14	1542	2275.79	2542.95	273.33	270.72	2.61	1.60	31.00	4.00	2.00
15	1547	2159.42	2623.47	245.21	242.72	2.49	1.50	30.00	4.00	1.50
16	1546	2058.24	2709.83	225.75	223.04	2.71	1.40	29.00	4.00	2.00
17	1549	1966.77	2776.92	218.18	215.27	2.91	1.70	32.00	4.00	1.00
18	1550	1861.93	2857.71	206.50	203.57	2.93	1.60	32.00	3.95	2.00
19	1552	1749.15	2947.58	192.10	189.39	2.71	1.50	34.00	4.00	0.50
20	1555	1647.77	3018.72	202.89	200.14	2.75	1.40	31.00	4.00	1.50
21	1558	1529.33	3124.35	161.26	158.53	2.73	1.70	32.00	4.00	1.00
22	1569	1407.37	3219.37	159.55	156.58	2.87	1.60	30.00	4.00	2.00
23	1565	1320.13	3293.07	164.87	161.77	3.10	1.50	29.00	4.00	1.50
24	1564	1275.13	3326.96	171.82	169.20	2.62	1.40	26.00	4.00	2.00

Рисунок 39- Файл данных геологоразведки по пласту В-26.

По данным геологоразведки (рисунок 39) была построена 3D-блочная модель пласта (рисунок 40).

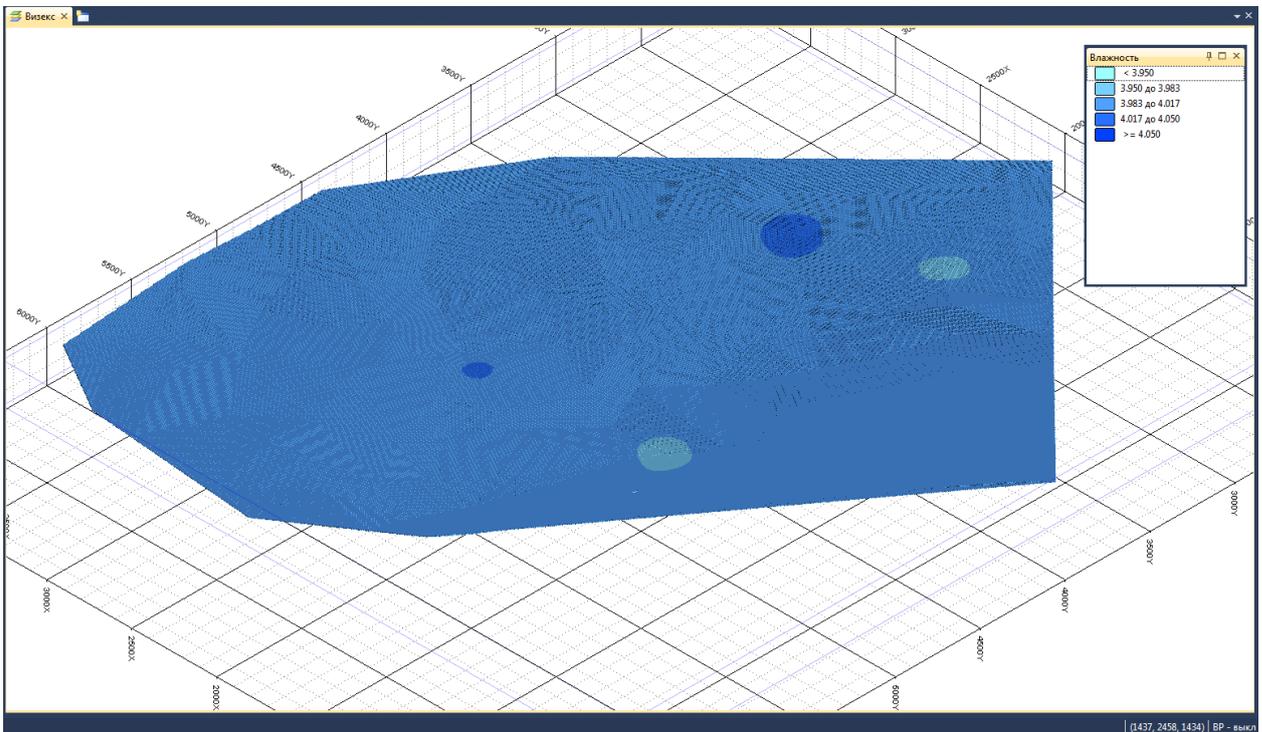


Рисунок 40- 3D-блочная модель пласта В-26.

Последующие этапы алгоритма реализации модели распознавания геоструктур были реализованы аналогично тестовому примеру. Было

проведено 500 эпох обучения, результаты представлены в виде карт-разверток (рисунок 41) мощности пласта, его зольность, природной метаноносности, крепости угля, влажности.

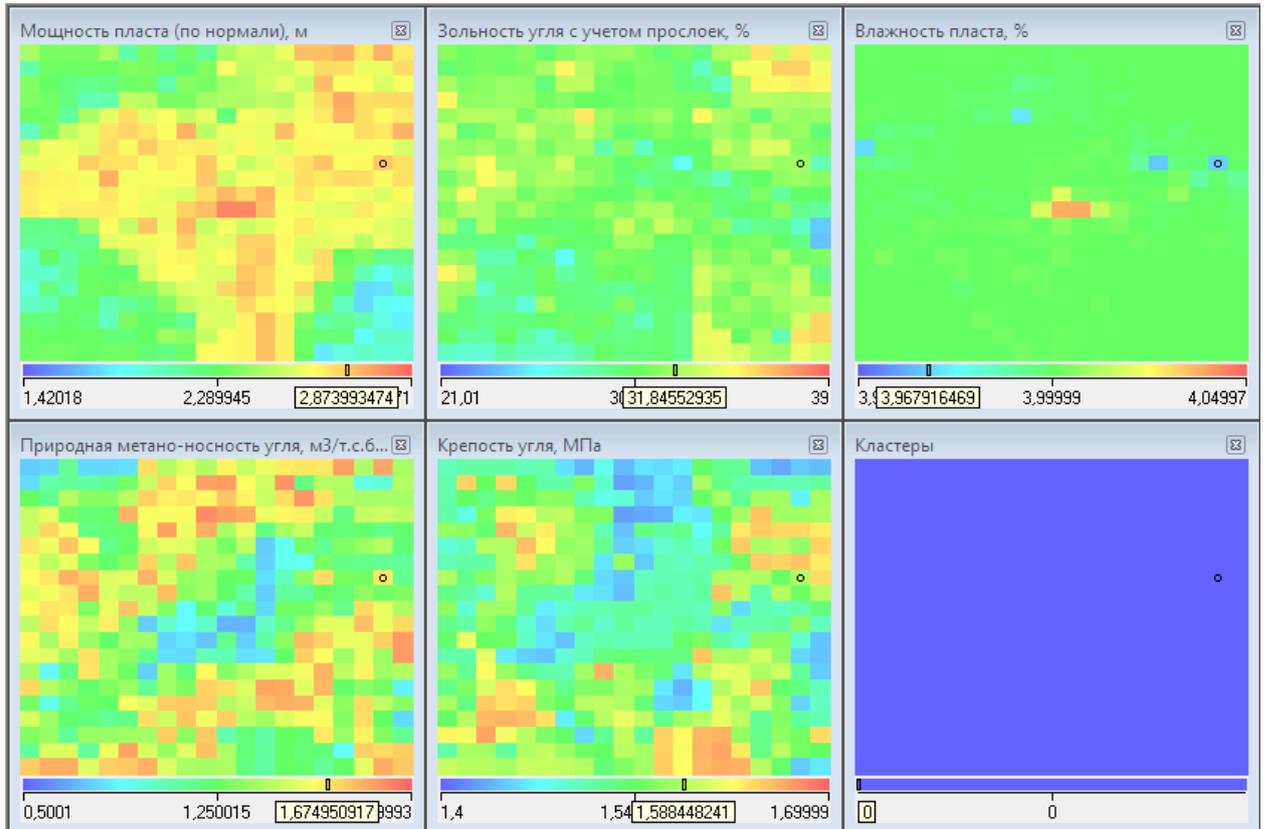


Рисунок 41- Карты-развертки при анализе данных блочной модели пласта В-26.

В результате эксплуатации модели был выделен один кластер данных. Это свидетельствует о том, что все запасы пласта В-26 представлены единой геологической структурой. Результаты подтверждены практикой отработки запасов пласта В-26 в соответствии с реальным техническим проектом, соответствующим требованиям «Временных норм технологического проектирования угольных и сланцевых шахт». Следовательно, можно констатировать, что все запасы пласта В-26 должны обрабатываться по длинностолбовой системе лавами по простиранию с полным обрушением кровли в выработанном пространстве, так как рассматриваемый пласт характеризуется пологим залеганием, не является склонным к внезапным выбросам угля и газа, имеет низкий уровень обводнённости (рисунок 42).

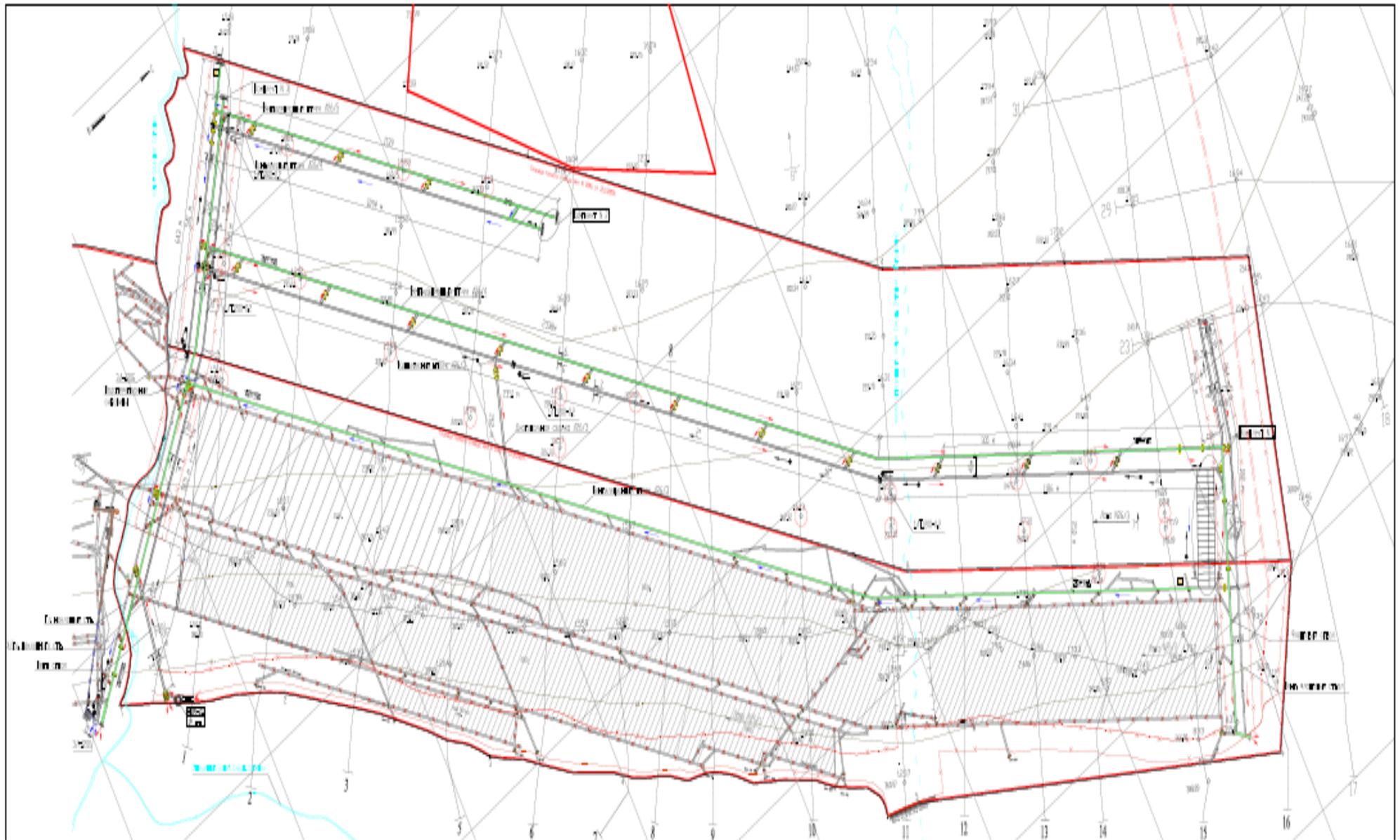


Рисунок 42- Схема горных выработок шахты по пласту В-26 в период освоения проектной мощности.

Таким образом, использование модели распознавания геоструктур в блочной 3D-модели угольного месторождения позволяет выделять участки шахтопласта с выдержанными параметрами и пригодные для отработки монотехнологией. В дальнейшем это дает возможность производить объективный выбор прогрессивных пространственно-планировочных и технологических решений и оптимизировать их параметры в автоматизированном режиме.

ВЫВОДЫ

1. Приведены рекомендации по выбору и приобретению программных продуктов для формирования геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений.

2. Рассмотрен пример создания 3D-блочной модели угольного месторождения с последующей реализацией алгоритма автоматизированного прогнозирования горно-геологических параметров с помощью сплайн-функций Грина

3. Показано, что использование нейросетевой модели распознавания геоструктур и алгоритма ее применения в блочной 3D-модели угольного месторождения позволяет выделять участки шахтопласта с выдержанными параметрами и пригодные для отработки монотехнологией.

4. Сформированы рекомендации по организации работ при формировании геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной задачи разработки научно-методического обеспечения геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений, имеющей существенное значение для практики автоматизированного проектирования предприятий угольной промышленности и развития системы знаний по специальности 25.00.35 «Геоинформатика».

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Осуществлен анализ результатов научных исследований, тенденций и направлений совершенствования теории и практики создания систем автоматизированного проектирования горных предприятий с учетом позитивной динамики развития трехмерного моделирования угольных месторождений.

2. Установлено, что при наличии в настоящее время мощных и высокоразвитых систем автоматизированного проектирования на первый план выходят вопросы совершенствования методов трехмерного моделирования угольных месторождений, позволяющих эффективно прогнозировать характеристики горно-геологических условий их залегания и зонировать их в автоматизированном режиме.

3. Обоснована необходимость разработки и сформирована структура интегрированной геоинформационной базы прогнозной оценки запасов угольных месторождений, освоение запасов которых должно быть реализовано на базе технологических систем, адаптивных к специфике их природной аккумуляции.

4. Предложены нейросетевая модель распознавания природных геоструктур, способная «работать» в условиях неполной и нечеткой

информации о месторождении, и алгоритм ее практической реализации.

5. Разработана теоретическая база синтеза подсистем, для включения их в состав ГГИС в качестве структурных элементов, с целью обеспечения наиболее адекватного прогнозирования горно-геологических характеристик углевмещающей толщи и зонирования их с учётом необходимости обеспечения технологичности отработки запасов угля.

6. Разработаны методические рекомендации по использованию результатов исследований в практике автоматизированного проектирования 3D-моделей угольных месторождений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамова О.В. Методы и модели оптимизации технологических схем подготовки и отработки выемочных полей пологих пластов Кузбасса: дисс... канд. техн. наук: 05.15.02/ Абрамова Ольга Витальевна. – М.: МГИ, 1991. – 160 с.
2. Абрамова Т.В., Ваганова Е.В., Горбачев С.В., Сырямкин В.И., Сырямкин М.В. Нейро-нечеткие методы в интеллектуальных системах обработки и анализа многомерной информации. – Томск: ТГУ, 2014. – 510 с.
3. Бобер Е.А., Егоров П.В., Косьминов Е.А., Красюк Н.Н., Кузнецов Ю.Н., Решетов С.Е. Основы горного дела. Учебник для вузов. – М.: Изд-во Моск. гос. горн. ун-та, 2000. – 408 с.
4. Бойко В.В., Савинков В.М. Проектирование баз данных информационных систем. 2-е изд. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 350 с.
5. Боярский Э.Ф., Рогозов В.В. Цифровое моделирование угольных пластов. – М.: Недра, 1992. – 127 с.
6. Букринский В.А. Геометрия недр. – М.: Недра, 1985. – 526 с.
7. Бурчаков А.С., Жежелевский Ю.А., Ярунин С.А., и др. Технология и механизация подземной разработки пластовых месторождений. Учеб. по спец. «Подзем. разраб. месторождений полез. ископаемых». – М.: Недра, 1989. – 430 с.
8. Бурчаков А.С., Кузнецов Ю.Н. Структура, математическая постановка и реализация прогнозных разработок при проектировании угольных шахт // Применение ЭВМ и математических методов в горном деле. Труды 17-го Международного симпозиума. 1982. Т. 1. С. 97–102.
9. Бурчаков А.С., Малкин А.С., Еремеев В.М., и др. Проектирование предприятий с подземным способом добычи полезных ископаемых. Справочник. – М.: Недра, 1991. – 399 с.
10. Бурчаков А.С., Малкин А.С., Устинов М.И. Проектирование шахт. Учеб.

для вузов. 3-е изд. – М.: Недра, 1985. – 399 с.

11. Бурчаков А.С., Харченко В.А., Кафорин Л.А. Выбор технологических схем угольных шахт. – М.: Недра, 1975. – 272 с.

12. Васильев П.В. Развитие горно-геологических информационных систем // ВИОГЕМ [Электронный ресурс]. URL: <http://www.uran.donetsk.ua/~masters/2007/ggeo/seleznev/stat.htm> (дата обращения: 13.04.2016).

13. Васильев С.П. Шахтная геология угольных месторождений. Учеб. пособие для горных техникумов. – М.: Углетехиздат, 1955. – 212 с.

14. Вилесов Г.И., Ивченко А.Н., Диденко И.М. Методика геометризации месторождений. – М.: Недра, 1973. – 176 с.

15. Вылегжанин В.Н. Физические и геомеханические основы оптимизации угольных шахт. Под ред. Г.И. Грицко. – Новосибирск: Наука Сиб. отд-ние, 1981. – 209 с.

16. Вылегжанин В.Н., Витковский Э.И., Потапов В.П., Грицко Г.И. Адаптивное управление подземной технологией добычи угля. – Новосибирск: Наука Сиб. отд-ние, 1987. – 232 с.

17. Георгиевский В.В. Оптимальное планирование развития горных работ на шахтах. – М.: Недра, 1979. – 248 с.

18. Гинкель В.К. Повышение уровня прогрессивности проектов выемочных участков шахт на основе ситуационного моделирования отработки запасов угля: дисс... канд. техн. наук: 25.00.21/ Гинкель Виталий Константинович. – М.: МГГУ, 2012. – 119 с.

19. Гинкель В.К., Стадник Н.М. Классификация геологических нарушений при технологическом картографировании / Кузнецов Ю.Н., Стадник Д.А., Федаш А.В. Проектирование отработки запасов выемочных участков на базе технологического картографирования. Учеб. пособие для студ. вузов. – М.: Горная книга, 2012. С. 58–60.

20. Гинкель В.К., Стадник Н.М. Исследование эффективности комплекса технологических мероприятий, реализуемого при ведении очистных работ в

- сложных горно-геологических условиях / Кузнецов Ю.Н., Стадник Д.А., Федаш А.В. Проектирование отработки запасов выемочных участков на базе технологического картографирования. Учеб. пособие для студ. вузов. – М.: Горная книга, 2012. С. 60–66.
21. Гойзман Э.И. Моделирование производственных процессов на шахтах. – М.: Недра, 1977. – 192 с.
22. Голицын М.В., Макарова Е.Ю., Пронина Н.В. Методика поисков и разведки угольных месторождений. Учеб. пособие для студентов, обучающихся по направлению 020300–«Геология» и по специальности 020305–«Геология и геохимия горючих ископаемых». – М.: КДУ, 2009. – 132 с.
23. Грошенкова О.В., Решетов С.Е., Осыка Я.С. Изучение технологической схемы угольной шахты как объекта проектирования. Лабораторный практикум. – М.: МГГУ, 2006. – 107 с.
24. Гудков В.М., Васильев А.А., Николаев К.П. Прогноз и планирование качества полезного ископаемого. – М.: Недра, 1976. – 191 с.
25. Гудков В.М., Хлебников А.В. Математическая обработка маркшейдерско-геодезических измерений. Учеб. по спец. «Маркшейд. дело». – М.: Недра, 1990. – 334 с.
26. Джонс Дж. К. Методы проектирования. Пер. с англ. 2-е изд. – М.: Мир, 1986. – 326 с.
27. Добров Г.М. Прогнозирование науки и техники. – М.: Наука, 1969. – 208 с.
28. Дремуха А.С., Ершов В.В. Системный анализ и математические методы обработки геолого-маркшейдерской информации. Учеб. пособие для слушателей спец. фак. – М.: Моск. горн. ин-т, 1989. – 71 с.
29. Еремеев В.М., Диколенко Е.Я. Автоматизированное проектирование угольных шахт. Под ред. Ю.Н. Кузнецова. – Липецк: Липецкое издательство, 1997. – 192 с.
30. Еремин Н.А. Моделирование месторождений углеводородов методами

нечеткой логики. – М.: Наука, 1994. – 462 с.

31. Ершов В.В. Горно-геологические факторы освоения месторождений полезных ископаемых. Учеб. пособие. – М.: Моск. горн. ин-т, 1980. – 67 с.
32. Ершов В.В. Основы горнопромышленной геологии. Учеб. для горн. спец. вузов. – М.: Недра, 1988. – 326 с.
33. Ершов В.В., Дремуха А.С., Трость В.М. Автоматизация геолого-маркшейдерских графических работ. Производственно-практическое издание. – М.: Недра, 1990. – 347 с.
34. Ершов В.В., Ермолов В.А. Геолого-маркшейдерское управление качеством и запасами минерального сырья. Учеб. пособие для слушателей спец. фак. – М.: Моск. горн. ин-т, 1989. – 80 с.
35. Ершов В.В., Попова Г.Б., Новиков А.А. Основы геологии. Учеб. для вузов по направлению «Геология» и горн. спец. 2-е изд. – М.: Недра, 1994. – 355 с.
36. Жданов А.А. Автономный искусственный интеллект. 2-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 359 с.
37. Железнова Н.Г., Кузнецов Ю.Я., Матвеев А.К., Череповский В.Ф. Запасы углей стран мира. – М.: Недра, 1983. – 167 с.
38. Заволокин Д.В. Обоснование рациональных проектных решений по отработке запасов геоструктур угольных месторождений: дисс... канд. техн. наук: 25.00.21/ Заволокин Дмитрий Викторович. – М.: МГГУ, 2009. – 116 с.
39. Звягин П.З. Проектирование и расчеты элементов разработки пластовых месторождений. Утв. ГУУЗом НКТП в качестве учебника для горных вузов. Под ред. Н.В. Грачева. – Ленинград; Москва: Онти. Глав. ред. горно-топливной лит-ры, 1935. – 444 с.
40. Казанин О.И., Козулин В.В., Барабаш М.В., Ютяев Е.П. О проектировании технологических схем подготовки и отработки выемочных участков угольных пластов // Уголь. 2010. № 6. С. 24–28.
41. Казанин О.И., Коршунов Г.И., Розенбаум М.А., Шабаров А.Н., Демура В.Н., Артемьев В.Б., Ясюченя С.В., Копылов К.Н., Ютяева Е.П., Мешков А.А., Лупий М.Г., Феофанов Г.Л. Библиотека горного инженера/ Сиб. угол.

- энергет. компания. СУЭК. Т. 3: Подземные горные работы. кн. 12:
Технологические схемы подготовки и отработки выемочных участков на шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс»: альбом. 2-е изд. – 2014. – 256 с.
42. Калинин В.М. Математическое моделирование и прогноз показателей месторождений. – М.: Недра, 1993. – 319 с.
43. Капралов Е.Г., Кошкарев А.Б., Тикунов В.С., и др. Основы геоинформатики: в 2 кн. Учеб. пособие для студ. вузов. Под ред. В.С. Тикунова. – М.: Академия, 2004. – кн.1 – 352 с.; кн. 2 – 480 с.
44. Капутин Ю.Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика. – Санкт-Петербург: Недра, 2002. – 424 с.
45. Капутин Ю.Е. Информационные технологии планирования горных работ (для горных инженеров). – Санкт-Петербург: Недра, 2004. – 424 с.
46. Капутин Ю.Е. Моделирование месторождений и оценка минеральных ресурсов (с использованием СТУДИИ 3). Учеб. курс. – Санкт-Петербург: Горный Институт, 2007. – 188 с.
47. Кафорин Л.А. Исследования и выбор рациональных схем и способов вскрытия и подготовки пологих пластов средней мощности: дисс... канд. техн. наук: 11.00.11/ Кафорин Леонард Алексеевич. – М.: МГИ, 1971.
48. Кириченко Ю.В., Стадник Д.А., Каширский А.С. Основы проектирования бестраншейных переходов // Горный информационно-аналитический бюллетень. Проектирование и организация горнотехнических систем. Отдельные статьи (вып. 3). 2013. № 12. С. 31–35.
49. Кохонен Т. Самоорганизующиеся карты [Электронный ресурс]. Пер. 3-го англ. изд. 2-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. – 655 с.
50. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – М.: Горячая линия-Телеком, 2002. – 382 с.
51. Кузнецов К.К., Еремеев В.М. Эффективность освоения проектных показателей угольных шахт. – М.: Недра, 1985. – 247 с.
52. Кузнецов Ю.Н., Петров А.Е., Стадник Д.А., Стадник Н.М. Основные этапы и направления развития информационного обеспечения САПР

- отработки запасов угольных месторождений // Уголь. 2014. № 12(1065). С. 82–85.
53. Кузнецов Ю.Н., Постников В.И., Стадник Д.А., Гинкель В.К., Стадник Н.М. Разработка методической базы реализации ситуационного моделирования отработки запасов выемочных участков угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. Проектирование и организация горнотехнических систем. Отдельные статьи (вып. 2). 2012. № 11. С. 3–23.
54. Кузнецов Ю.Н., Стадник Д.А. Структура системы технологического картографирования отработки запасов выемочных участков угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 2. С. 233–238.
55. Кузнецов Ю.Н., Стадник Д.А. Концепция проектирования и управления отработкой запасов выемочных участков на базе информационных технологий // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2009. № 4. С. 279–285.
56. Кузнецов Ю.Н., Стадник Д.А. Методические принципы автоматизированного проектирования раскройки рабочих ступеней шахтных полей / Библиотека горного инженера. Пути повышения эффективного и безопасного освоения пластовых месторождений полезных ископаемых подземным способом. Сб. науч. трудов (вып. 2). Сиб. угол. энергет. компания (СУЭК). Под ред. В.Б. Артемьева и др. – М.: Горное дело, ООО «Киммерийский центр», 2014. С. 155–158.
57. Кузнецов Ю.Н., Стадник Д.А., Оганесян А.С. Методические принципы прогнозирования развития горных работ на угольных шахтах на базе нечеткого моделирования // Горный информационно-аналитический бюллетень. Проектирование и организация горнотехнических систем. Отдельные статьи (вып. 1). 2011. № 12. С. 3–12.
58. Кузнецов Ю.Н., Стадник Д.А., Стадник Н.М. Повышение качества 3D моделирования угольных месторождений на основе использования теории сплайнов // Горная промышленность. 2010. № 6(94). С. 60–61.

59. Кузнецов Ю.Н., Стадник Д.А., Стадник Н.М. Методические принципы кластеризации запасов угольных пластов, проектируемых к отработке // Горный информационно-аналитический бюллетень. Проектирование и организация горнотехнических систем. Отдельные статьи (вып. 2). 2012. № 11. С. 24–30.
60. Кузнецов Ю.Н., Стадник Д.А., Стадник Н.М. Научно-методические основы синтеза адаптивных технологических систем высокопроизводительных угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. Проектирование и организация горнотехнических систем. Отдельные статьи (вып. 3). 2013. № 12. С. 21–30.
61. Кузнецов Ю.Н., Стадник Д.А., Стадник Н.М., Волкова Ю.В. Теоретические основы формирования и реализации адресно-ориентированной информационной базы для автоматизированного проектирования технологической системы шахты // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 1. С. 77–87.
62. Кузнецов Ю.Н., Стадник Д.А., Стадник Н.М., Какорина Н.М. Прогнозирование горно-геологических условий проектируемых шахт на базе цифровых трехмерных моделей угольных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. Проектирование и организация горнотехнических систем. Отдельные статьи (вып. 3). 2013. № 12. С. 3–9.
63. Кузнецов Ю.Н., Стадник Д.А., Стадник Н.М., Какорина Н.М., Волков С.С. Повышение качества прогнозной геологической информации при автоматизированном проектировании отработки запасов пластовых месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 3. С. 164–171.
64. Кузнецов Ю.Н., Стадник Д.А., Стадник Н.М., Какорина Н.М., Чижов В.Н. Основные принципы разработки и практической реализации алгоритма автоматизированного прогнозирования горно-геологических параметров угольных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. № 12. С. 108–114.

65. Кузнецов Ю.Н., Стадник Д.А., Стадник Н.М., Каширский А.С. Методические принципы интеллектуального анализа горно-геологических данных на основе кластеризации при проектировании шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. Проектирование и организация горнотехнических систем. Отдельные статьи (вып. 3). 2013. № 12. С. 10–20.
66. Кузнецов Ю.Н., Стадник Д.А., Стадник Н.М., Курцев Б.В. Автоматизированное распознавание геоструктур пластовых месторождений // Горный журнал. 2016. № 2. С. 86–91.
67. Кузнецов Ю.Н., Стадник Д.А., Федаш А.В. Проектирование отработки запасов выемочных участков на базе технологического картографирования. Учеб. пособие для студ. вузов. – М.: Горная книга, 2012. – 181 с.
68. Куприянов В.В., Фомичева О.Е. Интеллектуализация технологий автоматизированных систем. – М.: МГГУ, 1994. – 101 с.
69. Курносов А.М., Устинов М.И., Набродов И.П., Др. И. Методы оптимального проектирования угольных шахт. Под ред. А.М. Курносова. – М.: Недра, 1974. – 368 с.
70. Малкин А.С. Разработка методов поэтапного проектирования, оптимизации параметров и интегральной оценки проектов угольных шахт: автореф. дисс... докт. техн. наук: 25.00.21/ Малкин Анатолий Степанович. – М.: Моск. горн. ин-т, 1972. – 38 с.
71. Малкин А.С., Пучков Л.А., Саламатин А.Г., Еремеев В.М. Проектирование шахт : Учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальностям «Технол. и техника разведки полез. ископаемых», «Подзем. разраб. месторождений полез. ископаемых». Под ред. Л.А. Пучкова. 4-е изд. – М.: Изд-во Академии горных наук, 2000. – 374 с.
72. Малкин А.С., Саламатин А.Г. Оценка шахтного фонда и повышение полноты использования ресурсов. – М.: МГГУ, 1996. – 95 с.
73. Малкин А.С., Саламатин А.Г. Моделирование технологических схем шахт. Сб. Инженерные проблемы разработки недр. – М.: Нива России, 1996.
74. Медведев В.С., Потемкин В.Г. Нейронные сети. MATLAB 6. Под ред.

- В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2002. – 496 с.
75. Миронов К.В. Геологические основы разведки угольных месторождений. – М.: Недра, 1973. – 316 с.
76. Миронов К.В. Разведка и геолого-промышленная оценка угольных месторождений. – М.: Недра, 1977. – 253 с.
77. Миронов К.В. Справочник геолога-угольщика. 2-е изд. – М.: Недра, 1991. – 363 с.
78. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации (пер. с польского И.Д.Рудинского). – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.
79. Петровская А.С. Краткий обзор современного состояния программного обеспечения для горных предприятий [Электронный ресурс]. URL: <http://ad.cctpu.edu.ru/Personal/Alex/Zhtml/OBZOR/POgor.htm> (дата обращения: 27.03.2016).
80. Попов В.Н., Чекалин С.И. Геодезия: Учебник для вузов. – М.: Горная книга, 2007. – 728 с.
81. Попов Э.В., Фоминых И.Б., Кисель Е.В., Шапот М.Д. Статические и динамические экспертные системы. Учеб. пособие для студ. вузов. – М.: Финансы и статистика, 1996. – 211 с.
82. Пospelов Г.С. Искусственный интеллект - основа новой информационной технологии. – М.: Наука, 1988. – 278 с.
83. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. 2-е изд. – М.: Изд. дом Вильямс, 2006. – 1408 с.
84. Резниченко С.С. Математическое моделирование в горной промышленности. Учеб. пособие для студентов горн. специальностей вузов. – М.: Недра, 1981. – 216 с.
85. Рогов Е.И. Системный анализ в горном деле. – Алма-Ата: Наука, Казах. ССР, 1976. – 207 с.
86. Рогов Е.И., Грицко Г.И., Вылегжанин В.Н. Математические модели адаптации процессов и подсистем угольной шахты. – Алма-Ата: Наука, Казах. ССР, 1979. – 240 с.

87. Романов В.К. К выбору надежности величины технико-экономических показателей, определяемых на стадии проектирования. Сб. науч. тр. Вып.6. – М.: МГИ, 1974.
88. Русаков Н.Г. Повышение точности инженерных расчетов при проектировании угольных предприятий. – М.: ЦНИЭИУголь, 1976.
89. Рыжков В.А. Совершенствование самоорганизующихся нейронных сетей Кохонена для систем поддержки принятия решений: дисс... канд. техн. наук: 05.13.01/Рыжков Владимир Александрович. – М.: МГТУ «СТАНКИН», 2010. – 151 с.
90. Рыжов П.А. Геометрия недр. – М.: Углетехиздат, 1952. – 604 с.
91. Рыжов П.А., Букринский В.А. Горная геометрия. – М.: Углетехиздат, 1958. – 324 с.
92. Саламатин А.Г. Подземная разработка мощных пологих угольных пластов. – М.: Недра, 1997. – 407 с.
93. Самойлов А.В. Моделирование строения угольных месторождений с целью обоснования технологии их разработки // Успехи современного естествознания. 2004. № 1. С. 63–64.
94. Сидоров А.Н., Плавник А.Г. Решение дифференциальных уравнений в частных производных методами сплайн-аппроксимации // Труды Международной конференции по вычислительной математике МКВМ-2004. 2004. Т. 2. С. 648–652.
95. Ситникова О.Д. Разработка и исследование некоторых методов решения задач целочисленного линейного программирования общего и специального видов: дисс... канд. физ.-мат. наук: 01.01.09/ Ситникова Ольга Дмитриевна. – Донецк: Донецкий политех. ин-т, 1984. – 127 с.
96. Смирнов Б.В. Теоретические основы и методы прогнозирования горно-геологических условий добычи полезных ископаемых по геологоразведочным данным. – М.: Недра, 1976. – 115 с.
97. Соколов Б.С. Очерки о науке и ученых. Научная публицистика. – М.: Наука; Новосибирск: Гео, 2006. – 312 с.

98. Стадник Д.А. Прогнозирование и управление электропотреблением угольных шахт // Сб. науч. трудов студентов магистратуры МГГУ (вып. 4). 2004. С. 221–225.
99. Стадник Д.А. Экономическая оценка эффективности инвестиций / Шундулиди И.А., Федаш А.В. Проектирование отработки запасов по камерно-столбовой системе с применением оборудования фирмы «JOY». Учеб. пособие для студ. вузов. – М.: Изд-во Моск. гос. горн. ун-та, 2005. С. 186–222.
100. Стадник Д.А. Разработка методики технологического картографирования высокопроизводительной отработки запасов выемочного участка угольной шахты: дисс... канд. техн. наук: 25.00.21/ Стадник Денис Анатольевич. – М.: МГГУ, 2008. – 212 с.
101. Стадник Д.А., Гинкель В.К. Основные принципы повышения качества проектов выемочных участков угольных шахт с использованием ситуационного моделирования рабочих процессов // Горная промышленность. 2012. № 5(105). С. 87–89.
102. Стадник Д.А., Киселев А.М. К вопросу учёта системы ограничений в рамках принятия проектных решений по отработке запасов в зонах геологических нарушений угольных пластов // Горная промышленность. 2012. № 5(105). С. 68–69.
103. Стадник Н.М. Основные методические принципы формирования интегрированной геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений // Горная промышленность. 2016. № 3(127). С. 73–76.
104. Станченко И.К., Петренко Е.В., Свирский Ю.И., и др. Проектирование угольных шахт. – М.: Недра, 1976. – 400 с.
105. Стариков А.В. Научные основы оптимизации развития горных работ на угольных шахтах. – М.: ИПКОН АН СССР, 1978.
106. Стариков А.В. Планирование концентрации и развития горных работ на угольных шахтах. – М.: ИПКОН АН СССР, 1982. – 123 с.

107. Трофимов А.А. Основы горной геометрии. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 224 с.
108. Тучков Е.Н., Колесникова Р.Т., Устинов М.И., Малкин А.С., Петренко Е.В. Оценка качества проектов и технического уровня шахт. – М.: Недра, 1977. – 138 с.
109. Устинов М.И. Проблемы вскрытия и подготовки запасов шахтных полей угольных месторождений. Под ред. Ю.Л. Худина, вступ. ст. Федорова В. П. – М.: Изд-во Моск. гос. ун-та культуры, 1996. – 327 с.
110. Ушаков И.Н. Горная геометрия. Учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности Маркшейдерское дело. 4-е изд. – М.: Недра, 1979. – 440 с.
111. Фихтенгольц Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления (в 3 томах). – М.: Физматлит, 2001. – 616 + 610 + 662 с.
112. Францкий И.В., Базанов Г.А. Математическая статистика и геометризация месторождений. – Иркутск: Восточно-Сибирская правда, 1975. – 250 с.
113. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. 2-е изд. – М.: Изд. дом Вильямс, 2008. – 1103 с.
114. Харченко В.А. Научные основы создания и выбора высокопроизводительных схем угольных шахт для условий пологих пластов средней мощности: дисс... докт. техн. наук: 25.00.01/ Харченко Виктор Алексеевич. – М.: МГИ, 1972.
115. Худин Ю.Л., Козловчунас Е.Ф., Носенко В.Д., Яковлев А.Н. Некоторые результаты применения на шахтах России технологических схем высокопроизводительной отработки угольных пластов // Уголь. 2004. № 10. С. 9–15.
116. Четвериков Л.И. Теретические основы разведки недр. – М.: Недра, 1984. – 160 с.
117. Шевяков Л.Д. Основы теории проектирования угольных шахт. – М.: Углетехиздат, 1950. – 324 с.

118. Шек В.М., Конкин Е.А. Открытые программные системы с применением геоинформационных технологий в горной промышленности // Программные продукты и системы. Международный журнал. 2007. Т. №1. С. 18–21.
119. Геоинформационный портал ГИС-Ассоциации [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gisa.ru/> (дата обращения: 25.03.2016).
120. BaseGroup Labs - Технологии анализа данных [Электронный ресурс]. URL: <https://basegroup.ru/> (дата обращения: 14.04.2016).
121. Интернет журнал по угольной промышленности [Электронный ресурс]. URL: <http://www.worldcoal.org> (дата обращения: 25.03.2016).
122. Научная электронная библиотека [Электронный ресурс]. URL: <http://elibrary.ru> (дата обращения: 25.03.2016).
123. Геологическая энциклопедия [Электронный ресурс]. URL: http://enc-dic.com/enc_geolog (дата обращения: 25.03.2016).
124. Российский геологический портал [Электронный ресурс]. URL: <http://rosgeoport.ru> (дата обращения: 25.03.2016).
125. Сайт публикаций сведений о разработках и использовании геоинформационных систем [Электронный ресурс]. URL: <http://gistechinik.ru> (дата обращения: 25.03.2016).
126. Портал «Геология». Проект «Электронная Земля» [Электронный ресурс]. URL: <http://earth.jssc.ru/russia> (дата обращения: 25.03.2016).
127. Бесплатный некоммерческий справочно-образовательный портал [Электронный ресурс]. URL: <http://www.geokniga.org> (дата обращения: 25.03.2016).
128. Сайт Geovia [Электронный ресурс]. URL: <http://ru.geovia.com> (дата обращения: 25.03.2016).
129. Сайт Micromine [Электронный ресурс]. URL: <http://ru.micromine.com> (дата обращения: 25.03.2016).
130. Сайт ESRI [Электронный ресурс]. URL: <http://www.esri-cis.ru> (дата обращения: 25.03.2016).
131. Геоинформационный портал ГИС-Ассоциации [Электронный ресурс].

URL: <http://www.gisa.ru> (дата обращения: 25.03.2016).

132. Геоинформационные системы [Электронный ресурс]. URL: <http://www.dataplus.ru> (дата обращения: 25.03.2016).

133. MATLAB и Simulink компании Mathworks [Электронный ресурс]. URL: <http://matlab.ru/> (дата обращения: 14.04.2016).

134. Deductor - аналитическая платформа для бизнес-решений [Электронный ресурс]. URL: <http://deductor.com.ua/> (дата обращения: 14.04.2016).

135. Методика анализа технико-экономических показателей угольных шахт. – М.: ЦНИЭИУголь, 1973.

136. Каталог экономико-математических моделей проектирования угольных шахт. – М.: Центргипрошахт, 1974.

137. Методика анализа технико-экономических показателей производственного объединения по добыче угля (открытым способом). М-во угольной пром-сти СССР, Упр. вычисл. техники и орг. структур, План.-экон. упр., ЦНИИ экономики и НТИ угольной пром-сти. – М.: ЦНИЭИУголь, 1979. – 93 с.

138. Методические указания по прогнозированию горно-геологических условий на выемочных участках шахт объединения «Кузбассуголь». – Кемерово: Кузбассуголь, 1980.

139. Горная энциклопедия. Том 1. Аа-лава - Геосистема. Под ред. Е.А. Козловского. – М.: Советская энциклопедия, 1984. – 560 с.

140. Горная энциклопедия. Том 2. Геосферы - Кенай. Под ред. Е.А. Козловского. – М.: Советская энциклопедия, 1986. – 575 с.

141. Горная энциклопедия. Том 3. Кенган - Орт. Под ред. Е.А. Козловского. – М.: Советская энциклопедия, 1987. – 592 с.

142. Горная энциклопедия. Том 4. Ортин - Социосфера. Под ред. Е.А. Козловского. – М.: Советская энциклопедия, 1989. – 623 с.

143. Искусственный интеллект: В 3 кн. Кн. 2. Модели и методы. Справочник. Под ред. Д.А. Поспелова. – М.: Радио и связь, 1990. – 304 с.

144. Интеллектуальные информационные системы. Под ред. В.В. Деева, и др.

– М.: Воениздат, 1991.

145. Горные науки. Освоение и сохранение недр Земли / РАН, АГН, РАЕН, МИА. Под ред. К.Н. Трубецкого. – М.: Изд-во Академии горных наук, 1997. – 478 с.

146. Классификации запасов твердых полезных ископаемых. — Техэксперт // Утв. приказом Минприроды России (Министерства природных ресурсов и экологии РФ) от 11 декабря 2006 года №278 [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902021575> (дата обращения: 25.03.2016).

147. Федеральная информационная адресная система [Электронный ресурс]. URL: <http://fias.nalog.ru/> (дата обращения: 15.04.2016).

148. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при ведении горных работ и переработке твердых полезных ископаемых». — Гарант // Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 декабря 2013 г. N 599 [Электронный ресурс]. URL: <http://base.garant.ru/70691622/> (дата обращения: 24.03.2016).

149. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности при взрывных работах». — Гарант // Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 16 декабря 2013 г. N 605 [Электронный ресурс]. URL: <http://base.garant.ru/70628432/> (дата обращения: 24.03.2016).

150. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в угольных шахтах». — Гарант // Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 19 ноября 2013 г. № 550 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70465028/> (дата обращения: 24.03.2016).

151. Интеллектуальная ГИС «Данные наук о Земле по территории России» [Электронный ресурс]. URL: <http://gis.gcras.ru/geoportal/> (дата обращения: 03.04.2016).

152. Bahri Najafi A., Saeedi G.R., Ebrahimi Farsangi M.A. Risk analysis and prediction of out-of-seam dilution in longwall mining // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2014. T. 70. C. 115–122.
153. Groshong R.H. 3-D structural geology: A practical guide to quantitative surface and subsurface map interpretation. – Springer Berlin Heidelberg, 2006. – 400 c.
154. Li L., Wu K., Zhou D.-W. AutoCAD-based prediction of 3D dynamic ground movement for underground coal mining // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 2014. T. 71. C. 194–203.
155. Wang G., Li R., Carranza E.J.M., Zhang S., Yan C., Zhu Y., Qu J., Hong D., Song Y., Han J., Ma Z., Zhang H., Yang F. 3D geological modeling for prediction of subsurface Mo targets in the Luanchuan district, China // *Ore Geology Reviews*. 2015. T. 71. C. 592–610.