

*На правах рукописи*



**СТАДНИК Нино Мамукаевна**

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

Специальность 25.00.35- «Геоинформатика»

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС»).

Научный руководитель  
доктор технических наук, профессор  
КУЗНЕЦОВ ЮРИЙ НИКОЛАЕВИЧ

Официальные оппоненты:  
доктор технических наук, профессор  
ЧЕРЕМИСИНА ЕВГЕНИЯ НАУМОВНА

доктор технических наук, профессор  
ПРИСЯЖНЮК СЕРГЕЙ ПРОКОФЬЕВИЧ

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет»

Защита диссертации состоится «29» декабря 2016 года в \_\_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 212.132.14 НИТУ «МИСиС» по адресу: 119991, г. Москва, Ленинский проспект, д.6., ауд.\_\_\_\_\_

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке НИТУ «МИСиС».

Автореферат разослан «\_\_\_» 2016 года.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 212.132.14  
доктор технических наук, профессор  
АГАФОНОВ ВАЛЕРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** 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 управлеченческих 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 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.

**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.

**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 метода сетей Кохонена - осуществить в автоматизированном режиме зонирование угольного месторождения по имеющимся горно-геологическим данным.

### **Научная новизна результатов исследований:**

- обоснованы направления повышения качества создания и использования ГГИС в практике проектирования отработки запасов угольных месторождений;
- разработаны методические рекомендации по обработке горно-геологических данных для повышения достоверности 3D-моделей угольных месторождений;
- разработан алгоритм автоматизированного прогнозирования горно-геологических характеристик угольных месторождений в трехмерном пространстве;
- разработаны нейросетевая модель распознавания геоструктур в блочной 3D-модели угольного месторождения и алгоритм ее эксплуатации, позволяющие выделять участки шахтопластов с выдержаными параметрами и пригодные для отработки их запасов монотехнологиями;
- 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 шахте им. 7 Ноября АО «СУЭК-Кузбасс» и шахте «Северная» АО «Ургалуголь», а также в учебном процессе при подготовке специалистов по профилю «Подземная разработка пластовых месторождений» в НИТУ «МИСиС».

**Публикации.** Соискатель имеет 14 научных трудов, основополагающими по теме диссертации являются 8 статей, опубликованных в журналах по перечню ВАК Минобрнауки России.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, содержит 42 рисунка, 6 таблиц и список литературы из 155 наименований.

Автор выражает благодарность генеральному директору ООО «Майкромайн РУС» Б.В.Курцеву за предоставленное горно-геологическое программное обеспечение, а также докт. биол. наук И.В.Степаняну за методическую помощь в использовании нейронных сетей при автоматизированном распознавании геоструктур угольных месторождений.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Общая теоретическая база в области развития теории геометризации и квалиметрии недр, горной информатики, геоинформационного моделирования, прогнозирования и оценки запасов полезных ископаемых, а также методов искусственного интеллекта формировалась под влиянием научных трудов таких ученых, как Бобер Е.А., Боярский Э.Ф., Букринский В.А., Васильев А.А., Вилесов Г.И., Гудков В.И., Диденко И.М., Егоров П.В., Еремин Н.А., Ершов В.В., Ивченко А.Н., Калинченко В.М., Капралов Е.Г., Кохонен Т., Кошкарев А.В., Кубрин С.С., Кузнецов Ю.Н., Миронов К.В., Норвиг П., Попов В.Н., Присяжнюк С.П., Рассел С., Резниченко С.С., Темкин И.О., Тикунов В.С., Ушаков И.Н., Хайкин С., Чекалин С.И., Четвериков Л.И., Черемисина Е.Н., Шакlein С.В., Шек В.М. и др.

Современный уровень развития научно-технического прогресса горнодобывающей отрасли, характеризующийся интенсификацией производственных процессов, применением высокопроизводительной техники, комплексным использованием недр и охраной природной среды, обуславливает необходимость многовекторного и объективного информационного обеспечения инженерных решений и реализации мероприятий по эффективному изучению, разведке и промышленному освоению георесурсного потенциала месторождений. Ко всему прочему, современное состояние и тенденции развития минерально-сырьевой базы угольной промышленности предполагают вступление отрасли в новую стадию геолого-промышленного освоения недр, которая характеризуется переходом от поисков и разведки запасов под заданные технологии их извлечения к поиску технологий добычи, обеспечивающих эффективную и безопасную отработку подтвержденных запасов. К сожалению, следует констатировать, что вся имеющаяся в угледобывающей отрасли теоретическая база моделирования и сопровождения горных работ не обеспечена современной геоинформационной базой - фундаментом, который позволил бы надежно функционировать единой системе автоматизированного проектирования технологической системы шахты, обеспечивая интерактивное взаимодействие со многими отраслями знаний для создания и сопровождения качественного проекта отработки запасов.

В результате проведенного анализа установлено, что при организации геоинформационного обеспечения недропользовательской деятельности имеют место ряд сложностей:

- низкий уровень использования в современных ГГИС новых информационных технологий для автоматизации проектирования угольных шахт;

- наличие морально устаревших методов оценки достоверности геологоразведочных данных;
- необходимость интеллектуального анализа больших массивов данных, представленных в ГГИС;
- отсутствие привязки современных ГГИС к нормативно-правовой базе недропользования в Российской Федерации.

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

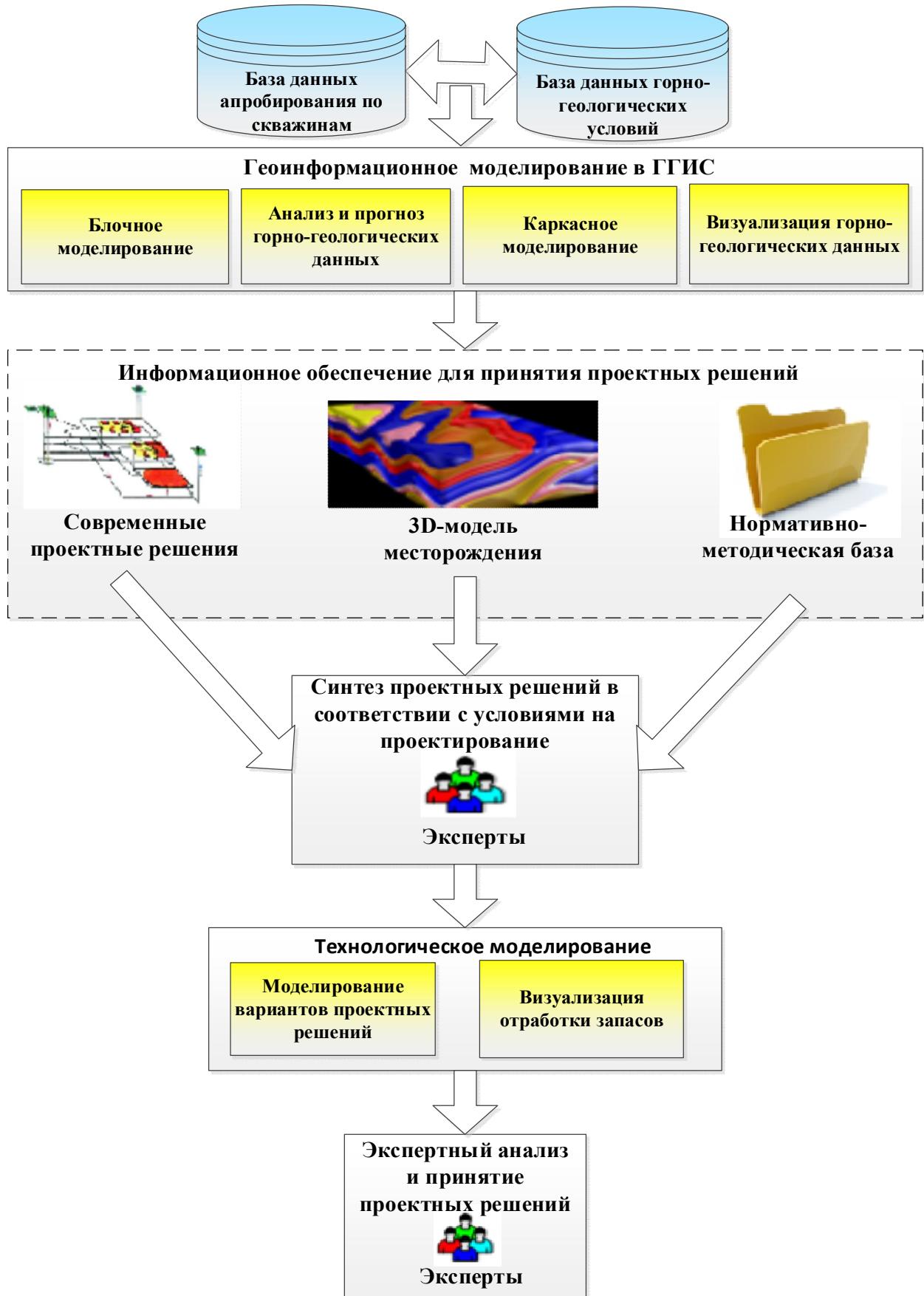
1. Анализ эффективности существующих ГГИС, используемых для формирования 3D-моделей угольных месторождений и синтеза проектных решений по отработке запасов в различных горно-геологических условиях.
2. Исследование методов статистического и пространственного анализа горно-геологических данных для повышения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

Центральное место в области автоматизации решения горно-геометрических задач и организации геоинформационного обеспечения в настоящее время занимает проблема создания цифровых моделей месторождения, обеспечивающих адекватное представление качественных и количественных характеристик разрабатываемых залежей полезных ископаемых. Геометрическое описание и структура этих моделей являются результатом работы горно-геологических информационно-вычислительных систем, обеспечивающих решение задач недропользования. В настоящий момент на мировом рынке коммерческих компьютерных программ для горных предприятий работают десятки фирм, предлагающих более 1000 программных продуктов различного класса,

предназначенных для построения 3D-моделей месторождений и автоматизации самых различных функций управления горным производством. Результаты исследований показали, что для разработки проекта шахты современного уровня большая часть информации представлена в электронном виде, однако весь массив информации разрознен и представлен в отдельных информационных системах. В этой связи реализация необходимости анализировать и обобщать огромный объем разнородной информации, формировать комплекс технических условий на проектирование по имеющейся геологической информации о месторождении и предлагать рациональные проектные решения по отработке запасов полностью возлагается на экспертов (рис.1.).

В диссертации выполнен системный анализ информационного обеспечения проектирования отработки, оценки запасов, автоматизированного 3D-моделирования угольных месторождений, а также методов прогнозирования горно-геологических характеристик угольных месторождений и исходной информации для поиска и выбора рациональных пространственно-планировочных технологических решений при отработке запасов полезного ископаемого, по результатам которого предложен вариант структуры геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений (рис.2.).

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, 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, содержащая сведения 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. 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.



*Рис. 1. Информационное обеспечение, используемое для принятия проектных решений*

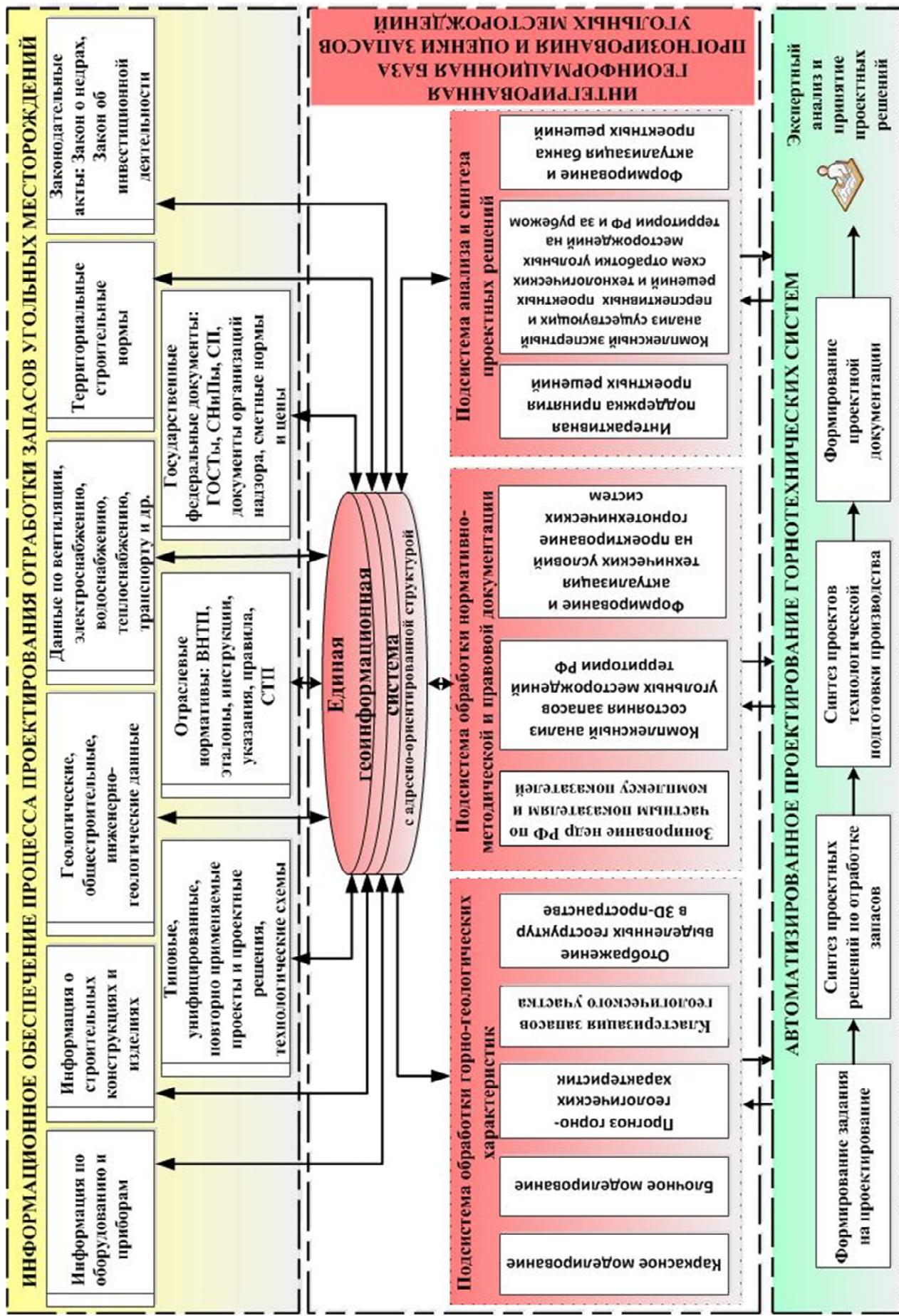


Рис. 2. Структура интегрированной геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений

Принадлежность и взаимную увязку объектов 3D-модели угольного месторождения в ГГИС необходимо учитывать для реализации возможности автоматизированного проектирования технологических систем шахт. Отличительным признаком геоинформационной базы является привязка к «адресу» объекта – территориальному признаку, на основании которого производится выбор информации для обработки в автоматизированном режиме. Для этой цели в диссертации разработан классификационный адресный код объекта 3D-модели, который отражает иерархию его подчиненности и выделяет его среди объектов данного уровня, подчиненных одному и тому же «старшему» объекту (рис. 3).



Рис. 3. Адресное позиционирование объекта 3D-модели угольного месторождения

Автором было изучено состояние вопроса математического моделирования пространственной изменчивости горно-геологических условий при отработке запасов угольного месторождения. В результате установлено, что существующие методы прогнозирования горно-геологических данных на основе интерполяции (метод обратных расстояний, метод Кrigинга, вариограммы и др.) не обеспечивают достаточную надёжность и достоверность полученных результатов. В качестве наиболее эффективного метода для восстановления функции изменчивости природных факторов угольных месторождений был выбран метод сплайн-функций Грина, основанный на формуле Грина.

Согласно этому методу восстанавливаемая непрерывная функция  $Y(\bar{t})$ ,  $\bar{t} = (x, y)$  имеет вид:

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

где  $b_k$  – коэффициент сплайн-функции;  $b_{N+k}$  - коэффициенты полинома степени  $M$ ;  $ii$  -  $(2 + M - 1)!/(M - 1)2$  – число коэффициентов полинома двух переменных степени  $M$ ;  $G_{M,2}$  - функция Грина для двухмерной поверхности.

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

Для реализации метода сплайн-функций Грина в работе был осуществлен переход из трехмерной системы координат в двухмерную при помощи разделения горного массива на совокупность угольных пластов, толщ междупластья и регионов, классификационные адресные коды которых записываются в каждый блок 3D-модели угольного месторождения (рис. 4.).

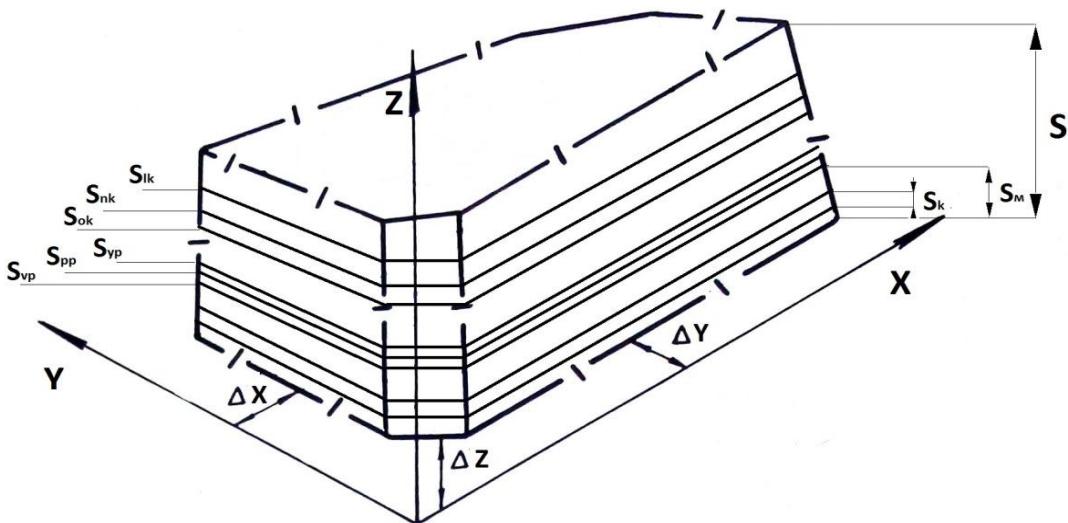


Рис. 4.Модельно-структурированное представление углевмещающей толщи

Каждый слой  $S_k, k = \overline{1, a}$  толщи слагается 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). В условиях реального месторождения могут встречаться явные изменения гипсометрии и конфигураций слоев толщи  $S_k$  вследствие различных геологических нарушений, следовательно, описать природные свойства того или иного пласта функцией одного вида практически невозможно. Поэтому слой  $S_k$  будет включать в себя множество регионов  $R$ , то есть  $S_k \in R_v, v = \overline{1, d}$ , и 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, отдельной 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  $a, b, c, d$ :

$$S = \sum_{k=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^c \sum_{y=1}^d P_{kjiy} \quad (3)$$

Аппроксимация изменчивости природных факторов совершается по данным геологической разведки, полученным в рамках случайной сети скважин, закрепленных в геодезическом пространстве  $\mathcal{D}(x, y)$ , и показателями их свойств, вследствие чего модель  $i$ -го показателя будет являться функциональной зависимостью  $P_i = f(x, y)$ .

Автором был разработан алгоритм автоматизированного прогнозирования горно-геологических характеристик с помощью сплайн-функций Грина, блок-схема которого представлена на рис. 5.

В элементе 1 блок-схемы алгоритма осуществляется построение каркасной модели месторождения в ГГИС. Построение каркаса производится путем создания вертикального поперечного разреза, на котором отображены скважины и интерпретированные по ним полигоны. Далее для придания трехмерного объема 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.

Элемент 2 реализует создание 3D-блочной модели месторождения в ГГИС. 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 элементе 3 происходит выделение по имеющимся каркасным моделям блоков 3D-модели для каждого пласта (пропластка, толщи между пластами и т.п.), а затем выполняется присвоение кода принадлежности к некоторому региону  $R$  для каждого блока 3D-модели.

Экспорт-импорт 3D-модели месторождения из ГГИС в программное обеспечение математической обработки данных (далее математическое ПО) производится в элементе 4. Данные пустой блочной модели месторождения выгружаются из ГГИС в файл и загружаются в математическое ПО стандартными методами.

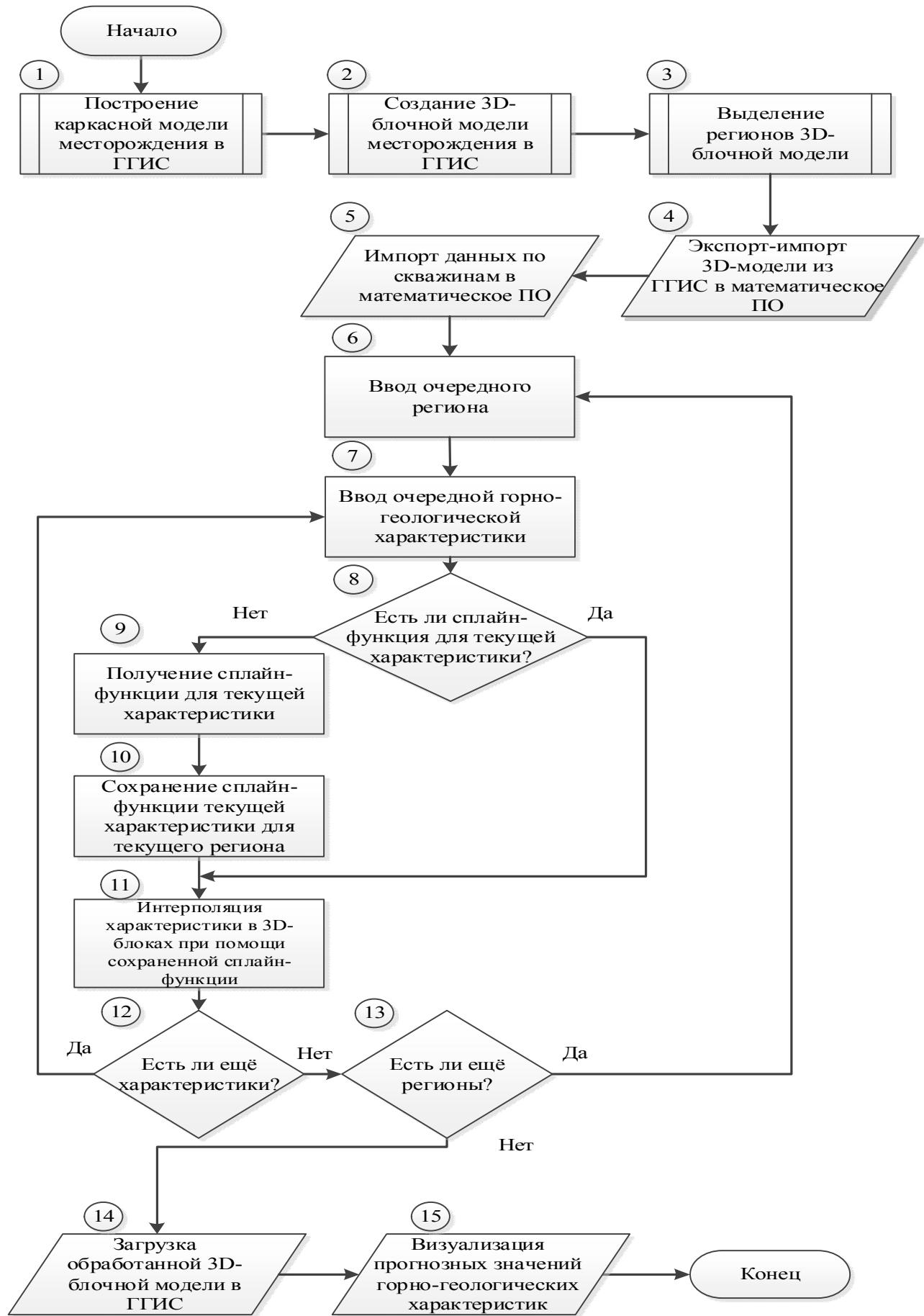


Рис. 5. Блок-схема алгоритма автоматизированного прогнозирования горно-геологических характеристик с помощью сплайн-функций Грина

Элемент 5 реализует импорт в математическое ПО геологической базы данных, содержащей данные по разведочным скважинам для получения сплайн-функции по каждому показателю для регионов 3D-модели.

В элементе 6 осуществляется ввод очередного региона и выбор его для обработки.

Элемент 7 реализует выбор необходимой горно-геологической характеристики для прогнозирования.

В элементе 8 устанавливается наличие сплайн-функции 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.

Элемент 9 позволяет получить необходимую сплайн-функцию для того или иного показателя путем обработки данных по геологоразведочным скважинам, с помощью которых математическое ПО восстановит функциональную зависимость по одной из горно-геологических характеристик;

В элементе 10 производится 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 элементе 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 характеристики природной среды.

В элементе 12 устанавливается необходимость интерполяции других горно-геологических характеристик в рассматриваемом регионе 3D-модели месторождения. Если характеристики есть, то следует ввести следующую характеристику и повторить цикл. Если же для всех характеристик региона функциональные зависимости выявлены, осуществляется переход к следующему шагу.

Элемент 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 функциональные зависимости полностью выявлены, а данные характеристик интерполированы, то сформированная 3D-блочная модель

с полученными прогнозными значениями горно-геологических характеристик для каждого блока выгружается из математического ПО в виде файла.

В элементе 14 файл, содержащий в себе вычисленные с помощью сплайн-функций прогнозные значения искомых горно-геологических характеристик для каждого блока 3D-модели, загружается в ГГИС.

При визуализации в элементе 15 обработанной 3D-модели осуществляется наглядная интерпретация природной изменчивости горно-геологических условий, интерполированных при помощи сплайн-функций Грина (рис.6).

Таким образом в результате использования алгоритма автоматизированного прогнозирования горно-геологических характеристик с помощью сплайн-функций Грина, по имеющейся геоинформации было составлено множество функциональных зависимостей, которые достаточно полно описывают динамику природных характеристик исследуемой углевмещающей толщи и получены графические интерпретации по каждой интересующей горно-геологической характеристике. На основании полученных в диссертации результатов прогнозирования был сделан вывод, что сплайн-функции обладают достаточно хорошими аппроксимативными свойствами и универсальностью, а также обеспечивают простоту реализации вычислительных алгоритмов, полученных на их основе. Прогнозирование пространственной изменчивости горно-геологических данных при помощи сплайн-функции Грина, в свою очередь, позволяет обеспечить большую надежность и достоверность полученных результатов, а также может найти свое применение во многих современных программных продуктах для прогнозирования горно-геологических условий в трехмерном пространстве.

В результате проведенного в работе 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. Также был сделан вывод, что для объективного выделения геоструктур и принятия проектных решений эксперту необходимо анализировать большой объем горно-геологиче-

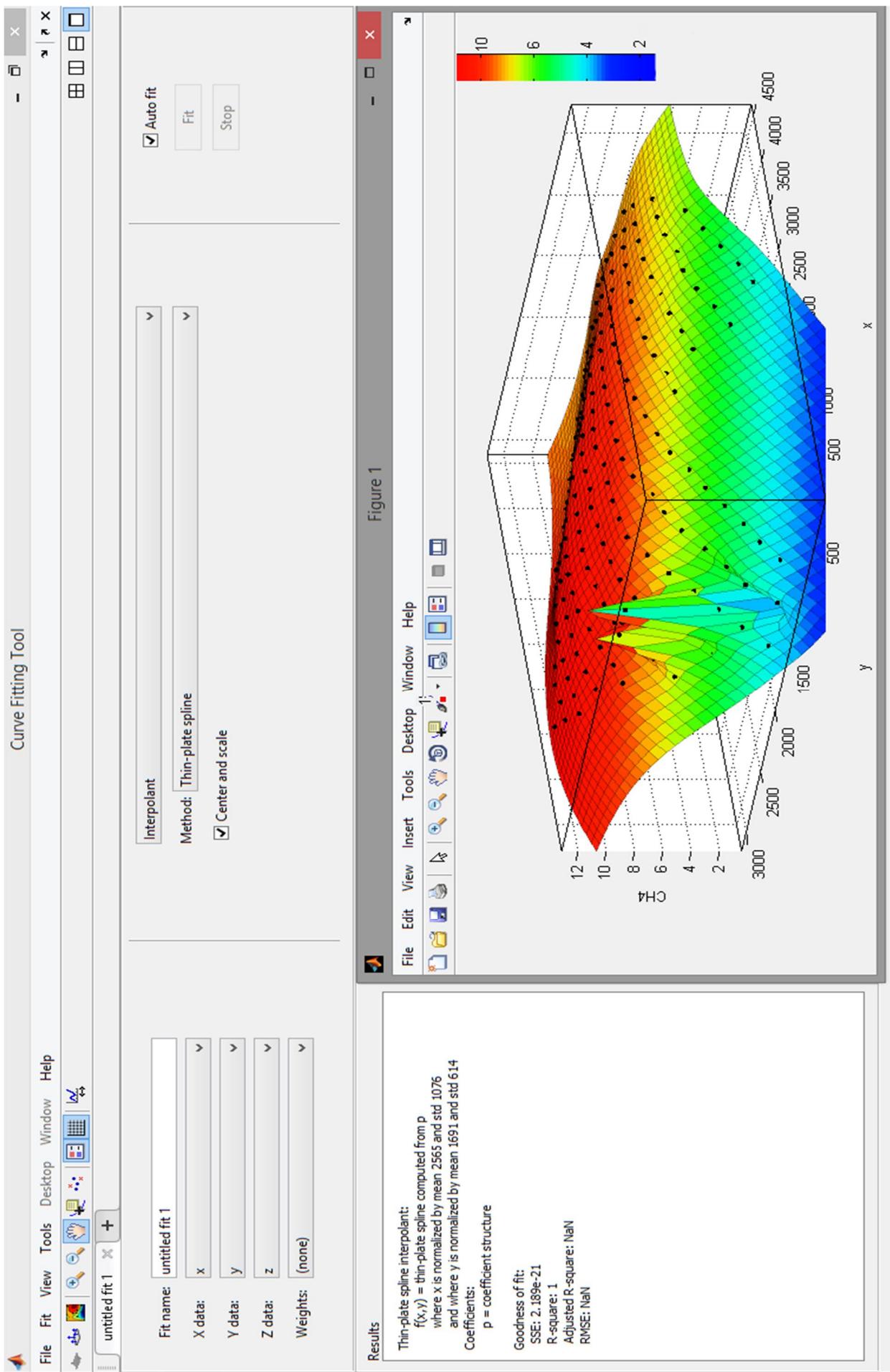


Рис. 6. Графическая интерпретация метаноносности на отрабатываемом участке шахтного поля шахты им. 7 НоябрьАО «СУЭК-Кузбасс» в математическом ПО «Матлаб»

ких характеристик, представляемых в 3D-моделях месторождений, а в современных горно-геологических программных пакетах отсутствуют штатные средства для автоматизированного распознавания геоструктур.

На основе анализа методов ИНС автором рекомендуется метод нейронных сетей Кохонена для автоматизированной кластеризации запасов угольных месторождений. Сеть Кохонена – это одна из разновидностей нейронных сетей, которые используют неконтролируемое обучение. При этом сети Кохонена предоставляют возможность автоматической кластеризации данных и визуализации многомерных данных на двумерной карте, а также обучение «без учителя».

В работе была сформирована нейросетевая модель распознавания геоструктур в блочной 3D-модели угольного месторождения для обоснования рациональных проектных решений в автоматизированном режиме (рис.7).

В нейросетевой модели распознавания геоструктур угольного месторождения выделены четыре составляющие: сбор и актуализация данных геологической разведки, технических заданий на проектирование и характеристик фактических горно-геологических условий, выявленных при отработке запасов, формирование входного вектора данных, выбор параметров и создание нейронной сети, обучение нейронной сети и тестирование ее работы, присвоение номера кластера блокам 3D-модели месторождения и визуализация геоструктур.

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.
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.

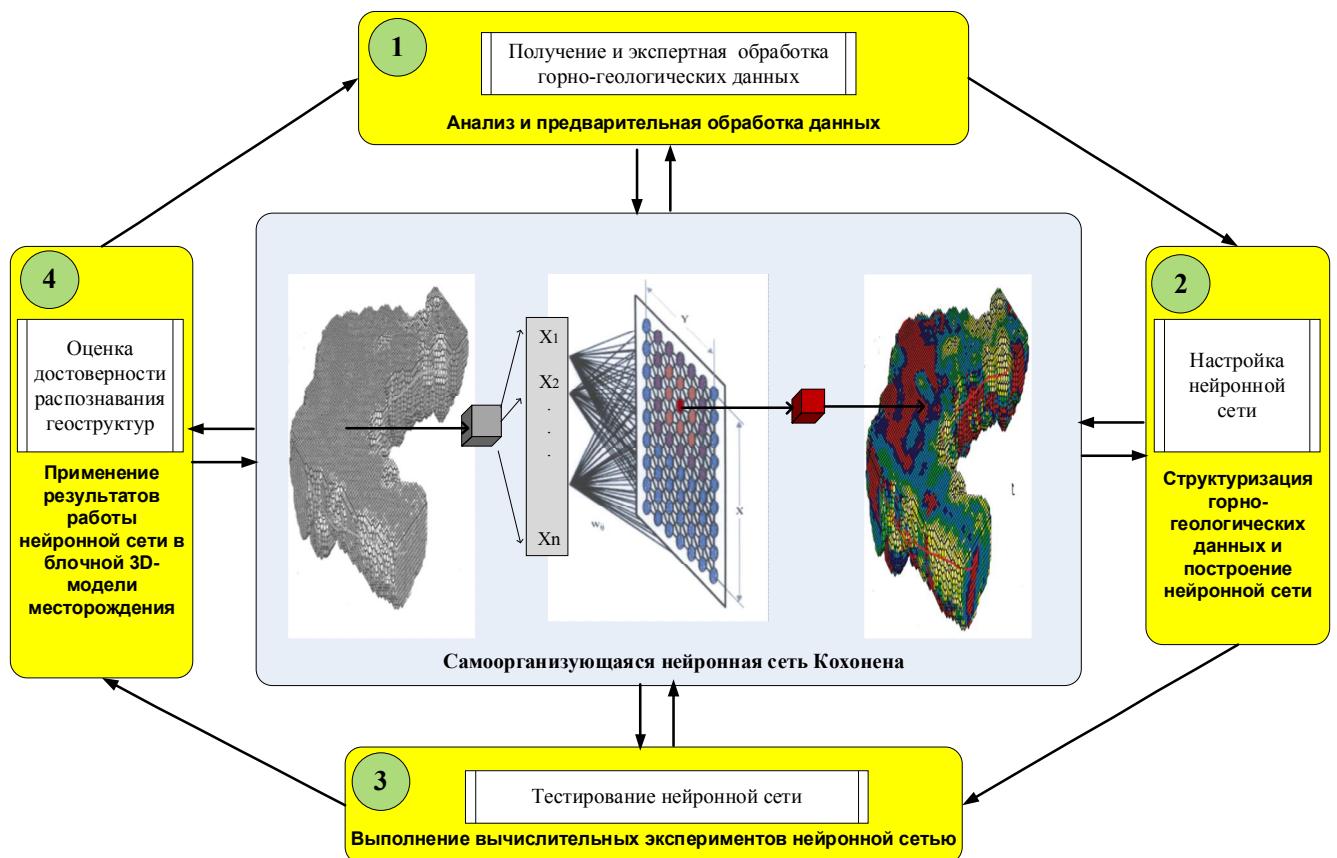


Рис. 7. Нейросетевая модель распознавания геоструктур в блочной 3D-модели угольного месторождения.

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 явилось основанием для реализации модели распознавания геоструктур угольного пласта В-26 поля шахты «Северная» АО «Ургалуголь».

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

## 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 научной специальности 25.00.35 «Геоинформатика».

Основные научные и практические результаты работы, полученные автором:

1. Осуществлен анализ результатов научных исследований, тенденций и направлений совершенствования теории, а также практики создания систем автоматизированного проектирования горных предприятий с учетом позитивной динамики развития трехмерного моделирования угольных месторождений.
2. Установлено, что при наличии в настоящее время 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. Разработана 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 и зонирования горно-геологических характеристик углевмещающей толщи с учётом необходимости обеспечения технологичности и безопасности отработки запасов угля.
6. Разработаны методические рекомендации по использованию результатов исследований в практике автоматизированного проектирования 3D-моделей угольных месторождений.

**Основное содержание диссертации опубликовано в изданиях, определенных ВАК Минобрнауки России:**

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. Кузнецов Ю.Н., Стадник Д.А., Стадник Н.М., Курцев Б.В. Автоматизированное распознавание геоструктур пластовых месторождений // Горный журнал. 2016. № 2. С. 86–91.

7. 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.

8. Стадник Н.М. Основные методические принципы формирования интегрированной геоинформационной базы прогнозирования и оценки запасов угольных месторождений // Горная промышленность. 2016. № 3(127). С. 73–76.

**Личный вклад соискателя:** постановка задач, анализ методов прогнозирования горно-геологических условий [1], определена методика исследований, адаптирован метод самообучающихся сетей Кохонена для зонирования и оценки запасов угольных месторождений [2], анализ структуры информационного обеспечения процесса проектирования горнотехнических систем [3], разработка блок-схемы алгоритма автоматизированного прогнозирования горно-геологических параметров угольных месторождений, разработка 3D-модели пласта ш. им. 7 Ноября АО «СУЭК-Кузбасс» [4], обоснование целесообразности использования адресно-ориентированного методического подхода к формированию информационной базы [5], обоснование структуры интегрированной модели распознавания геоструктур в блочной 3D-модели угольного месторождения, построение блочной 3D-модели поля ш. «Северная» АО «Ургалуголь», выполнение вычислительного эксперимента [6], структура математической модели перехода от трехмерного к двухмерному представлению пространственной изменчивости горно-геологических параметров, оценка результатов исследований [7].