

на правах рукописи



КУЗНЕЦОВ ПАВЕЛ ЮРЬЕВИЧ

**ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СВОЙСТВ
МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СЕТИ
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН ПРИ РАЗВЕДКЕ
УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
(на примере Эльгинского месторождения)**

**Специальность 25.00.16 – Горнопромышленная и нефтегазопромысловая
геология, геофизика, маркшейдерское дело и
геометрия недр**

АВТОРЕФЕРАТ

**Диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук**

Томск-2005

Работа выполнена в Техническом институте (филиале) Государственного образовательного учреждения высшего и профессионального образования Якутского государственного университета им. М.К. Аммосова.

Научный руководитель: кандидат технических наук,
Скоморошко Юрий Николаевич

Официальные оппоненты: - доктор геолого-минералогических наук, профессор
Ольховатенко Валентин Егорович
- кандидат геолого-минералогических наук, доцент
Попов Юрий Николаевич

Ведущая организация: ОАО ХК «Якутуголь»

Защита состоится « 16 » _____ декабря _____ 2005 г. в 15⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета К 212.269.01 Томского политехнического университета по адресу: Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина 30, корпус № 10, ауд. 313

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять в адрес совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Томского политехнического университета

Факс\тел.: (382-2) 564-513

Автореферат разослан « 9 » ноября _____ 2005 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета:

кандидат геолого-минералогических наук, доцент



/А.А. Поцелуев/

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Угольные месторождения Южно – Якутского бассейна отличаются особенностями инженерно-геологических условий: наличие островной многолетней мерзлоты, изменчивость физико-механических свойств (ФМС) углевмещающих пород, как по площади месторождений, так и с глубиной залегания угольных пластов, а также наличие сильной трещиноватости угленосных толщ, которая возрастает вблизи разрывных нарушений и осевых частей складчатых структур и т.д. В связи с этим повышаются требования к изучению не только технологических характеристик углей, но и инженерно-геологических условий месторождений.

На основе инженерно-геологических данных массива горных пород выбирают оптимальные проектные решения разработки месторождения, в связи с чем затраты на инженерно-геологические работы оправдываются при строительстве и эксплуатации шахт и карьеров.

Эффективность и безопасность разработки месторождения в значительной мере зависят от достоверности и надежности исходных данных, используемых при проектировании карьеров и в период их строительства и эксплуатации.

Достоверность и надежность исходных данных о геологическом строении месторождения в значительной степени зависят от геометрически правильного выбора сети геологоразведочных и инженерно-геологических скважин, которая оказывает существенное влияние на достоверность изучения инженерно-геологических условий месторождения. Большое влияние на выбор сети опробования, кроме литолого-фациальной изменчивости разреза угленосной формации в плане и с глубиной, оказывает пространственная изменчивость физико-механических свойств углевмещающих пород, которые лежат в основе проектирования горнодобывающих предприятий. Поэтому оценка пространственной изменчивости свойств массива горных пород является крайне актуальной задачей.

Диссертационная работа выполнялась по планам НИР Министерства образования РФ (область «Горные науки» и «Науки о Земле») в рамках тем: «Разработка методов изучения горно-геологических условий разработки угольных месторождений с использованием геофизических исследований скважин» 552.08; 550.832, «Государственная поддержка региональной научно-технической политики высшей школы и развитие ее научного потенциала» 2001/2002 г.; «Построение геолого-геофизических моделей прогноза состояния и поведения массива горных пород при технологических воздействиях», № госрегистрации 2751499, 2002/2003 г.; «Изучение пространственной изменчивости свойств углепородного массива на основе геолого-геофизической информации в условиях Южно-Якутского угольного бассейна»

550.832:622.333, «Федерально-региональная политика в науке и образовании», 2003/2004 г.

Цель работы – разработать автоматизированную систему оценки пространственной изменчивости свойств массива горных пород и прогнозирования плотности сети разведочных инженерно-геологических скважин для повышения эффективности инженерно-геологических исследований при разведке угольных месторождений.

Идея работы заключается в оценке пространственной изменчивости свойств массива горных пород и прогнозирования на ее основе оптимальной плотности сети инженерно-геологических скважин с целью получения достоверных сведений, необходимых при проектировании горных предприятий.

Задачи исследований:

- 1) выполнить анализ факторов, определяющих пространственную изменчивость свойств массива горных пород, а также существующих методов их прогноза;
- 2) проанализировать инженерно-геологические условия Эльгинского каменноугольного месторождения и установить основные факторы, определяющие изменчивость свойств массива горных пород;
- 3) разработать метод оценки пространственной изменчивости свойств массива горных пород, позволяющий спрогнозировать оптимальную плотность сети инженерно-геологических скважин, в процессе разведочных работ на угольных месторождениях, с обоснованием достоверности разработанного метода;
- 4) разработать автоматизированную систему оценки пространственной изменчивости свойств массива горных пород и прогнозирования плотности сети инженерно-геологических скважин; доказать детальность, оперативность, достоверность использования разработанной системы при прогнозе устойчивости горных пород в откосах бортов карьера.

Объектом исследований является массив углевмещающих горных пород нижнемелового, среднеюрского и верхнеюрского возраста Эльгинского каменноугольного месторождения Южно-Якутского бассейна.

Методы исследований:

- анализ и обобщение материалов о методах прогноза пространственной изменчивости, используемых при изучении месторождений полезных ископаемых;
- факторный анализ свойств, строения и состояния углепородного массива;
- методы исследования процессов разрушения и деформации твердых тел при изучении физико-механических свойств массива горных пород;
- математические методы преобразования, интерпретации геологической информации и моделирования свойств и состояния массива горных пород;
- методы математической статистики и корреляционного анализа при обработке экспериментальных данных, а также инженерно-геологические методы изучения месторождении полезных ископаемых;

- вероятностно-статистические методы;
- метод многофакторного анализа при прогнозе устойчивости горных пород в откосах бортов карьера.

Научные положения, выдвигаемые на защиту:

1. Основными факторами, определяющими пространственную изменчивость свойств массива горных пород, являются: петрографический состав горных пород, современное тектоническое строение месторождения, наложение термального типа метаморфизма на региональный тип метаморфизма, криогенная обстановка на месторождении и замкнутая гидрогеологическая сеть месторождения.
2. Разработанный метод оценки пространственной изменчивости синтезирует в себе относительную энтропию, как меру неоднородности геологической среды, средневзвешенный коэффициент пространственной изменчивости свойств горных пород, что является необходимым и достаточным условием для прогноза оптимальной плотности сети инженерно-геологических скважин.
3. Созданная автоматизированная система, основой которой является комплекс вычислительных программ, разработанных с применением математических методов преобразования и интерпретации геологической информации, позволяет оценить изменчивость свойств массива горных пород и на ее основании прогнозировать оптимальную плотность сети инженерно-геологических скважин.

Достоверность научных положений, выводов и результатов исследований подтверждается:

- достаточным объемом экспериментального материала (изучено 160 скважин), полученного на Эльгинском каменноугольном месторождении Южно – Якутского бассейна;
- корректной постановкой задач на основе фундаментальных законов физики прочности твердых тел, методов математической статистики и математических методов преобразования и интерпретации геологической информации;
- высокой достоверностью и надежностью разработанного метода оценки пространственной изменчивости и прогноза оптимальной плотности сети инженерно-геологических скважин (значение критерия Фишера $F=1,62$ при его критическом значении $F_{крит}=3,47$), полученной при проверке математических гипотез на основе однофакторного дисперсионного анализа.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- установлены факторы (петрографический состав горных пород, современное тектоническое строение месторождения, наложение термального типа метаморфизма на региональный тип метаморфизма, криогенная обстановка на месторождении и замкнутая гидрогеологическая сеть месторождения), определяющие изменчивость свойств массива горных пород Эльгинского каменноугольного месторождения;

- разработан метод количественной оценки пространственной изменчивости свойств массива горных пород;
- уточнена степень сложности месторождений классами по степени неоднородности, определяемой пространственной изменчивостью свойств массива горных пород месторождения;
- разработано программное обеспечение метода оценки пространственной изменчивости массива горных пород и прогноза оптимальной плотности сети инженерно-геологических скважин по данным прочностных свойств массива горных пород.

Личный вклад автора заключается в:

- 1) выполнении анализа факторов, определяющих пространственную изменчивость свойств массива горных пород;
- 2) установлении ограниченности существующих методов прогноза плотности сети скважин;
- 3) выявлении факторов, определяющих изменчивость свойств массива горных пород Эльгинского каменноугольного месторождения;
- 4) разработке метода оценки пространственной изменчивости свойств массива горных пород;
- 5) обосновании эффективности прогноза оптимальной плотности сети инженерно-геологических скважин для условий Эльгинского каменноугольного месторождения;
- б) разработке программного обеспечения:
 - а) для оценки пространственной изменчивости свойств массива горных пород;
 - б) для прогноза оптимальной плотности сети инженерно-геологических скважин.

Практическая ценность работы заключается в том, что результаты исследования позволяют:

- по установленным инженерно-геологическим особенностям месторождения выбрать оптимальный метод изучения свойств, строения и состояния природного массива горных пород;
- производить оценку пространственной изменчивости свойств массива горных пород;
- эффективно и достоверно производить прогноз оптимальной плотности сети инженерно-геологических скважин по данным о пространственной изменчивости свойств массива горных пород, полученным по разработанному методу;
- оперативно и достоверно прогнозировать устойчивость горных пород в откосах бортов карьера на любом участке ведения горных работ.

Реализация результатов. Научные результаты и разработанный автором метод оценки пространственной изменчивости и прогноза оптимальной плотности сети инженерно-геологических скважин реализованы при детальной разведке Эльгинского месторождения Токинского угленосного района и Юго-восточном участке Чульмаканского месторождения Алдано-Чульманского угленосного района.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на: II городской научно – практической конференции студентов аспирантов и молодых ученых, посвященной 20 – летию профессионального образования в Южной Якутии (Нерюнгри, 2001г.); научной конференции студентов и молодых ученых РС (Я) «Лаврентьевские чтения» (Якутск, 2003г.); III и IV региональной научно – практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов (Нерюнгри, 2002 и 2003гг.); VI международной конференции «Новые идеи в науке о земле» (Москва, 2003г.); II Республиканской научно-практической конференции (г. Нерюнгри, 19-20 октября 2004 г.); X Международной научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2004» (Кемерово, 2004г.), научно-техническом совете предприятия ХК ОАО «Якутуголь».

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 научных работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав основного текста, заключения и текстовых приложений, изложенных на 236 страницах машинописного текста, содержит 39 рисунков, 23 таблицы, 5 текстовых приложений, список литературы из 111 наименований.

Автор считает своим долгом выразить глубокую благодарность научному руководителю к.т.н. Ю.Н. Скоморошко, а также док. тех. наук, профессору Н.Н. Грибу и док. геол.-мин. наук, профессору В.М. Никитину за постоянное внимание к работе и поддержку на всех ее этапах подготовки, сотрудникам Технического института (филиал) ГОУ ВПО ЯГУ в г. Нерюнгри к.т.н. А.А. Сясько, А.В. Качаеву, ГГПП «Южякутгеология» **М.И. Логинову**, С.М. Солошенко, ОАО «Якутуглестрой» Т.И. Кузнецовой и К.В. Булачеву за помощь, ценные советы и критические замечания.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОДЕРЖАНИЯ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность, цель и задачи исследований, выбраны методы, сформулированы основные научные положения, указана научная новизна и личный вклад автора, отмечена практическая ценность, реализация и апробация работы.

Глава 1. Проанализированы характер пространственной изменчивости свойств массива горных пород. Рассмотрены известные методы оценки пространственной

изменчивости и методы прогноза плотности сети инженерно-геологических скважин на ее основе.

Глава 2. Проанализированы инженерно-геологические условия Эльгинского каменноугольного месторождения и установлены основные факторы, определяющие изменчивость свойств массива горных пород.

Глава 3. Разработан метод оценки пространственной изменчивости свойств массива горных пород, позволяющий спрогнозировать оптимальную плотность сети инженерно-геологических скважин. В качестве основы разработанного метода выступает средневзвешенный коэффициент пространственной изменчивости (количественная оценка пространственной изменчивости) и рассчитанная по его значениям относительная энтропия (мера неоднородности геологического пространства). Спрогнозирована оптимальная плотность сети инженерно-геологических скважин для условий Эльгинского каменноугольного месторождения. Приведено обоснование эффективности, достоверности и надежности использования разработанного метода оценки пространственной изменчивости и прогноза на ее основе оптимальной плотности сети инженерно-геологических скважин.

Глава 4. Разработана автоматизированная система оценки пространственной изменчивости массива горных пород и прогнозирования размерности сети инженерно-геологических скважин. Доказана детальность, оперативность, достоверность использования разработанного способа при прогнозе устойчивости горных пород в откосах бортов карьера.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Основными факторами, определяющими пространственную изменчивость свойств массива горных пород, являются: петрографический состав горных пород, современное тектоническое строение месторождения, наложение термального типа метаморфизма на региональный тип метаморфизма, криогенная обстановка на месторождении и замкнутая гидрогеологическая сеть месторождения.

При решении вопроса о количественной оценке пространственной изменчивости свойств массива горных пород одной из ведущих задач является установление определяющих факторов, которые влияют на характер ее поведения. Решение данной задачи непосредственно связано с определением значимости влияния тех и или иных факторов на пространственную изменчивость изучаемых свойств массива горных пород по конкретному месторождению.

Для условий Эльгинского каменноугольного месторождения основными значимыми факторами при оценке пространственной изменчивости свойств массива горных пород являются:

1. Петрографический состав горных пород. Углевмещающие породы Эльгинского месторождения являются отложениями ундытканской и верхней части нерюнгриканской свит. Горные породы этих свит представлены: крупно-, средне- и мелкозернистыми песчаниками с редкими прослоями алевролитов, которые зачастую приурочены к кровле и почве угольных пластов.

Значения наиболее распространенных показателей физико-механических свойств горных пород для ундытканской и нерюнгриканской свит приведены в таблице 1.

Таблица 1

Средние значения физико-механических свойств литотипов коренных пород Эльгинского месторождения

Литотип	% пород в разрезе	Объёмная масса, кг/м ³	Скорость продольных волн, м/с	Предел прочности при растяжении, МПа	Предел прочности при сжатии, МПа	Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, градус
УНДЫТКАНСКАЯ СВИТА							
Алевролит	11.5	2609	4083	8.2	72.1	22.0	29.8
Песчаник мелкозернистый	20.8	2600	4269	8.3	73.5	21.3	29.5
Песчаник среднезернистый	30.9	2571	4124	7.7	71.2	20.8	31
Песчаник крупнозернистый	18.4	2568	4294	8.58	72.1	18.8	30
Конгломерат и гравелиты	7.6	2594	4417	7.64	67.6	18.1	29.7
Породные прослои	10.8	2400	2804	4.86	34.6	9.2	26.9
Угли		1406	1900	1.65	9.65	2.3	32.3
НЕРЮНГРИКАНСКАЯ СВИТА							
Алевролит	10.3	2586	3558	6.84	58.7	15.8	30.7
Песчаник мелкозернистый	18.9	2581	3853	6.92	61	17.1	30.4
Песчаник среднезернистый	25.9	2553	3810	6.88	59.9	15.1	30.8
Песчаник крупнозернистый	24.3	2592	4329	6.44	53.2	16.7	30.6
Туфопесчаник крупнозернистый	1.0	2559	3602	5.3	50.1	9.8	28
Породные прослои	19.6	2338	2020	3.16	29.4	3.65	33
Угли		1349	1400	0.39	4.1	0.57	30.8

Из анализа таблицы следует, что даже одноименные литологические типы пород для разных свит имеют различные значения физико-механических свойств при значительном разбросе таких параметров, как сцепление, предел прочности на одноосное сжатие и растяжение, что свидетельствует о значительной пространственной изменчивости свойств в массиве, как по площади распространения, так и по глубине залегания пород.

Проанализировав зависимости физико-механических свойств разных литотипов от глубины залегания в пределах стратиграфических интервалов, можно сделать вывод о том, что все изменения рассматриваемых параметров обуславливаются цикличностью отложений, сменой фаций и изменением физико-механических свойств пород с глубиной.

2. Наложение термального типа метаморфизма на региональный тип метаморфизма. Формирование свойств пород и процессы, влияющие на количественную оценку пространственной изменчивости, определяются двумя группами факторов: генетическими условиями их образования (первичные факторы) и процессами преобразования и окаменения (вторичные факторы). К генетическим факторам относятся: вещественный; фациальный и гранулометрический составы пород; тип и состав цемента; количество растительных остатков в породе.

Основными факторами преобразования пород в процессах их окаменения являются: давление, создаваемое толщей покрывающих пород; температура, обусловленная геотермическим градиентом земли и глубиной погружения пород; подземные воды и минеральные растворы.

Изменения физических свойств пород, происходящие при погружении их, являются необратимыми и характеризуются теми значениями физических параметров, которых они достигли на максимальной глубине погружения в период прогрессивного эпигенеза. Исключением является зона выветривания, в которой происходят глубокие и быстрые изменения пород.

В соответствии с предложенной профессором В.В. Гречухиным петрофизической классификацией угольных месторождений, с точки зрения регионального типа метаморфизма, месторождения Токинского угленосного района соответствуют типовому петрофизическому разрезу VIII стадии метаморфизма, марке жирных углей.

Однако, в результате произведенных исследований, установлено отклонение петрофизического разреза Эльгинского месторождения от выше указанного, что объясняется присутствием мощного магматического очага в западной части Токинского угленосного района, и что наложило свой отпечаток на процессы метаморфизма в этой зоне в виде аномального геотермического поля. Наложение термального метаморфизма внесло свои коррективы в петрофизический разрез Эльгинского месторождения (рис. 1).

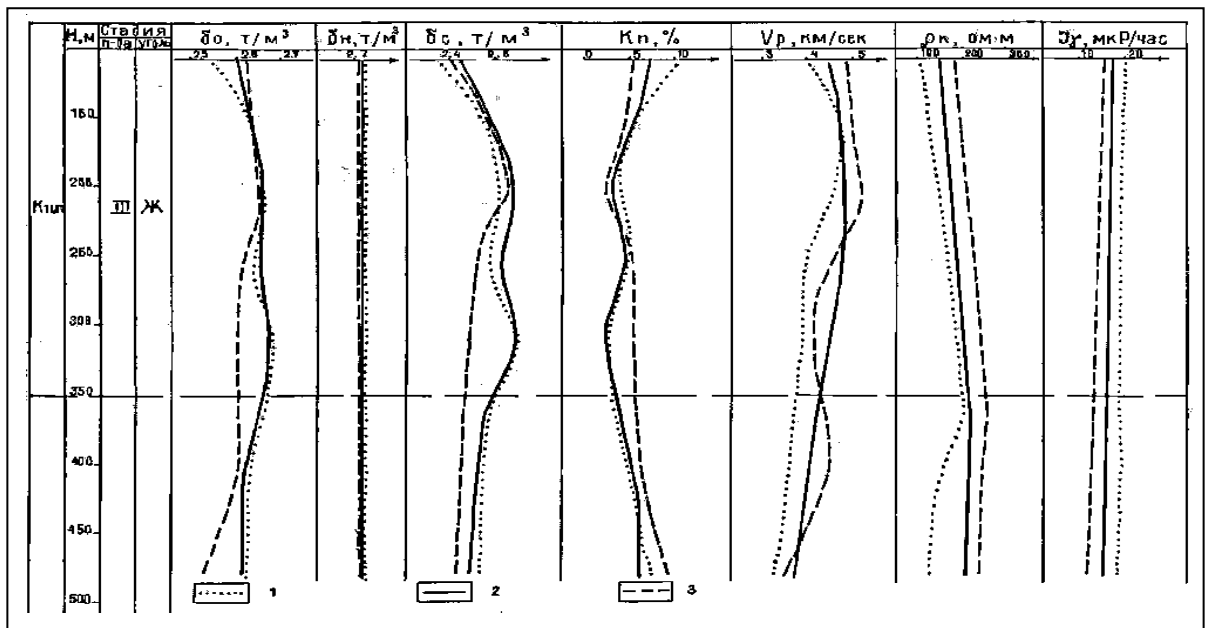


Рисунок 1. Петрофизический разрез Эльгинского каменноугольного месторождения (по Ю.Н. Скоморошко)

Условное обозначение: 1 – алевролит; 2 – песчаник мелкозернистый; 3 – песчаник крупнозернистый; V_p - скорость распространения продольных волн; ρ - электрическое сопротивление; γ - естественная радиоактивность; δ_0 - объемная плотность горных пород в естественном состоянии; δ_n - объемная плотность водонасыщенных горных пород δ_c - объемная плотность сухих горных пород.

Таким образом, наличие аномального геотермического поля оказало существенное влияние на изменение физических свойств пород, и, соответственно, является одним из факторов, влияющих на пространственную изменчивость свойств массива горных пород для условий Эльгинского каменноугольного месторождения.

3. Современное тектоническое строение месторождения. Дизъюнктивная тектоника на месторождении проявилась в виде крупно- и малоамплитудных разрывных нарушений, безамплитудных зон дробления пород и зон повышенной трещиноватости вблизи разрывных нарушений.

В северо-западной и юго-восточной частях месторождения выявлены четыре крупноамплитудных нарушения: три сброса и один надвиг. Сбросы имеют северо-восточное и субмеридиональное простирание, надвиг - северо-западное.

Безамплитудные разрывные нарушения представлены зонами повышенной трещиноватости. На месторождении преобладают слаботрешиноватые породы с нормально секущими продольной и поперечной и согласной системами трещин. Трещины продольной и диагональной кососекущих систем пользуются локальным развитием и приурочены к участкам распространения тектонических нарушений. В угольных пластах развиты те же системы трещин и трещины кливажа.

Наличие на Эльгинском месторождении представленных структурно-тектонических факторов оказывает существенное влияние на количественную

оценку неоднородности и изменчивости свойств массива горных пород. Проявление и влияние этих факторов на пространственную изменчивость массива горных пород обуславливается наличием зон ослабления, дробления, трещин, нарушений, а также скачкообразным изменением физико-механических свойств пород при переходе через зоны нарушений.

4. Криогенная обстановка на месторождении. Для Эльгинского каменноугольного месторождения характерна большая неоднородность геокриологических условий, которая является основным фактором, определяющим площадь распространения и конфигурацию мерзлых толщ. Начало зоны сплошного развития мерзлоты определяется высотами в 950-1000 м. Нижняя граница многолетнемерзлой толщи обычно почти горизонтальна, приподнимаясь под относительно крупными глубоко врезанными водотоками и воздымаясь в отдельных тектонических зонах почти до дневной поверхности. Температура многолетнемерзлых пород изменяется от 0 °С до -4,4 °С, с преимущественным распространением мерзлых толщ с температурой от 0°С до -2°С. Геотермическая ступень многолетнемерзлых пород составляет 102 м/°С, а температурный градиент – 0,0098 °С/м.

В таблице 2 представлены физико-механические характеристики горных пород Эльгинского каменноугольного месторождения в мерзлом и талом состояниях. Из анализа таблицы 2 следует, что прочность пород зависит от их геокриологического состояния. Отличие прочности мерзлых и талых пород в зависимости от литотипа пород составляет 25% и более.

5. Замкнутая гидрологическая сеть месторождения. Гидрологические условия месторождения оказывают непосредственное влияние на физико-механические свойства горных пород. Одним из наиболее значимых таких видов влияния является процесс размягчения горных пород (снижение прочности) при насыщении их водой или агрессивными растворами. Влага оказывает также разрушающее действие влиянием расклинивающего давления тонких пленок. Кроме того, вода или агрессивные среды размягчают и растворяют цементирующие вещества, что существенно влияет на прочностные характеристики горных пород.

Для условий Эльгинского каменноугольного месторождения путем натурных испытаний был установлен коэффициент размягчаемости для различных литотипов горных пород, находящихся под влиянием рассмотренных выше факторов. В таблице 3 представлены значения коэффициента размягчаемости для различных литологических типов горных пород, слагающих Эльгинское каменноугольное месторождение, что обуславливает различие физико-механических свойств однотипных горных пород в зависимости от степени их обводненности (водонасыщенности). Различие в пределах прочности водонасыщенных горных пород и сухих в необводненных интервалах одних и тех же литотипов для условий

Характеристика физико-механических свойств горных пород в зависимости от их геокриологического состояния (Эльгинское каменноугольное месторождение)

Параметр	Песчаник крупнозернистый		Песчаник среднезернистый		Песчаник мелкозернистый		Алеврит		Уголь (зольность =15%)	
	талый	мёрзлый	талый	мёрзлый	талый	мёрзлый	талый	мёрзлый	Талый	мёрзлый
V_p , м/с	4100	5000	4570	5200	4700	5600	2850	4500	2300	3500
ρ , ом·м	750	4950	450	2930	276	1520	150	1200	7500	9000
$I\gamma$, пА/кг	0,5	0,5	0,72	0,72	0,86	0,86	1,08	1,08	0,36	0,36
δ_0 , г/см ³	2,54	2,54	2,58	2,58	2,63	2,62	2,61	2,61	1,37	1,37
$\sigma_{сж}$, МПа	57	79	65	87	72	95,5	50	72	---	---
σ_p , МПа	6,3	9,2	7,8	11,0	9,0	12,1	6,7	9,9	---	---
$G_{сдв}$, ГПа	17,7	21,8	17	20,9	17	21	19	24,7	---	---
C , МПа	16	20,3	19	24,5	22	29	19	28,5	---	---
φ , градус	31	31	35	35	36	36	37	38	---	---
$\chi \cdot 10^{-5}$, ед. СИ	8	8	12	12	18	18	38	38	3	3

Условные обозначения: V_p - скорость распространения продольных волн; ρ - электрическое сопротивление; $I\gamma$ - естественная радиоактивность; δ_0 - объемная плотность; $\sigma_{сж}$ - предел прочности при одноосном сжатии; σ_p - предел прочности при одноосном растяжении; $G_{сдв}$ - модуль сдвига; C - сцепление; φ - угол внутреннего трения; χ - магнитная восприимчивость. Талые породы (температура больше 0⁰C), мёрзлые породы (температура от -5⁰ до 0⁰C).

Таблица 3

Значения коэффициента размягчаемости для различных литологических типов горных пород слагающих Эльгинское каменноугольное месторождение

Литотип	Коэффициент размягчаемости
Алеврит	0,66
Песчаник мелкозернистый	0,62
Песчаник среднезернистый	0,65
Песчаник крупнозернистый	0,58
Конгломераты	0,66
Среднее значение	0,63

Эльгинского месторождения составляет 30 – 40%, что существенно влияет на пространственную изменчивость и неоднородность массива горных пород.

Анализируя в целом результаты проведенного исследования, следует отметить, что при оценке пространственной изменчивости свойств массива горных пород Эльгинского каменноугольного месторождения необходимо учитывать влияние вышеприведенных факторов на изучаемый и оцениваемый геологический объект.

2. Разработанный метод оценки пространственной изменчивости синтезирует в себе относительную энтропию, как меру неоднородности геологической среды, средневзвешенный коэффициент пространственной изменчивости свойств горных пород, что является необходимым и достаточным условием для прогноза оптимальной плотности сети инженерно-геологических скважин.

Формирование месторождений полезных ископаемых является результатом совокупного действия разнообразных факторов и сочетания целого ряда природных геологических условий. Каждый из этих факторов имеет отражение в геологической обстановке. С этой точки зрения, инженерно-геологические условия геологических объектов на разных участках исследования могут существенно различаться, а исследуемые свойства иметь различную степень пространственной изменчивости.

В качестве исходной информации для оценки пространственной изменчивости массива горных пород использовались значения пределов прочности горных пород по промышленно значимым стратиграфическим интервалам, полученных на основе данных геофизических исследований скважин. Выбор пределов прочности на одноосное растяжение и сжатие обусловлен тем, что эти параметры являются основополагающими при проектировании и эксплуатации горнодобывающих предприятий. Целесообразность использования данных геофизических исследований для определения прочностных свойств горных пород обуславливается тем, что они обеспечивают непрерывное изучение разреза скважины, включая легко разрушаемые и трещиноватые породы, которые не удастся количественно охарактеризовать при традиционных лабораторных исследованиях (из-за низкого выхода керна), а также тем, что свойства горных пород изучаются в их естественном залегании.

Для решения задач, связанных с вопросом оценки неоднородности участков исследуемого геологического объекта, в качестве меры площадной неоднородности рассматривается величина относительной энтропии, т.е. функция, которая позволяет оценить его состояние по выделенным для исследования признакам:

$$100H_r = \frac{-\sum_{i=1}^n p_i \cdot \ln p_i}{\ln n} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где: n – число анализируемых геологических компонентов (признаков); p_i – доля i -того компонента в системе.

Практический смысл ввода величины относительной энтропии заключается в том, что при получении значений данной функции выше 70%, нужно говорить о значительной изменчивости анализируемых свойств на участке исследования.

Для вычисления значений относительной энтропии необходимо определить параметр оценки. В качестве параметра оценки, при расчете величины относительной энтропии, как меры площадной неоднородности, разработан средневзвешенный коэффициент пространственной изменчивости (средневзвешенный коэффициент неоднородности). Приоритетность использования коэффициента пространственной изменчивости для оценки площадной неоднородности геологического объекта заключается в том, что он характеризует часть пространства (часть площади), а не одну его точку, что свойственно показателям, взятым по отдельной скважине.

Определение коэффициента пространственной изменчивости для каждой скважины связано с таким понятием, как базовая точка наблюдения. За базовую точку принималась такая точка наблюдения, для которой ведется расчет относительно других точек наблюдения, используемых при исследовании. В данном случае точки наблюдения не разбивались по профилям, как рекомендуется при изучении степени пространственной изменчивости в стандартных методах, а рассматривались с учетом своего пространственного расположения. В качестве базовой точки наблюдения постепенно принимаются все точки, участвующие в исследовании.

Средневзвешенный коэффициент пространственной изменчивости $K_{сн}$ для базовой скважины определяется по формуле:

$$K_{сн} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{н_i} \cdot \Delta L_i}{\sum_{i=1}^n \Delta L_i}, \quad (2)$$

где: ΔL_i - расстояние между базовой и i -той точкой наблюдения; n – количество точек наблюдения без учета базовой точки наблюдения; $K_{н_i}$ – коэффициент пространственной изменчивости между базовой и i -той точкой наблюдения, определяется по формуле:

$$K_{н_i} = \frac{\Delta x_{\sigma-i}}{\Delta L_{\sigma-i}}, \quad (3)$$

где: $\Delta L_{\sigma-i}$ - расстояние между базовой и i -той точкой наблюдения, км; $\Delta x_{\sigma-i}$ - изменение параметра для исследуемого участка геологического объекта между базовой и i -той точкой наблюдения.

При расчете величины относительной энтропии необходимо выделить признаки параметра оценки, по которым она будет анализироваться. В качестве таких признаков используется разбиение на классы значений средневзвешенного

коэффициента пространственной изменчивости по принципу выделения значимого разряда единицы измерения исследуемого параметра.

На рисунке 2 представлено распределение средневзвешенного коэффициента пространственной изменчивости по выделенным классам, участвующим в системе расчета относительной энтропии для объекта исследования.

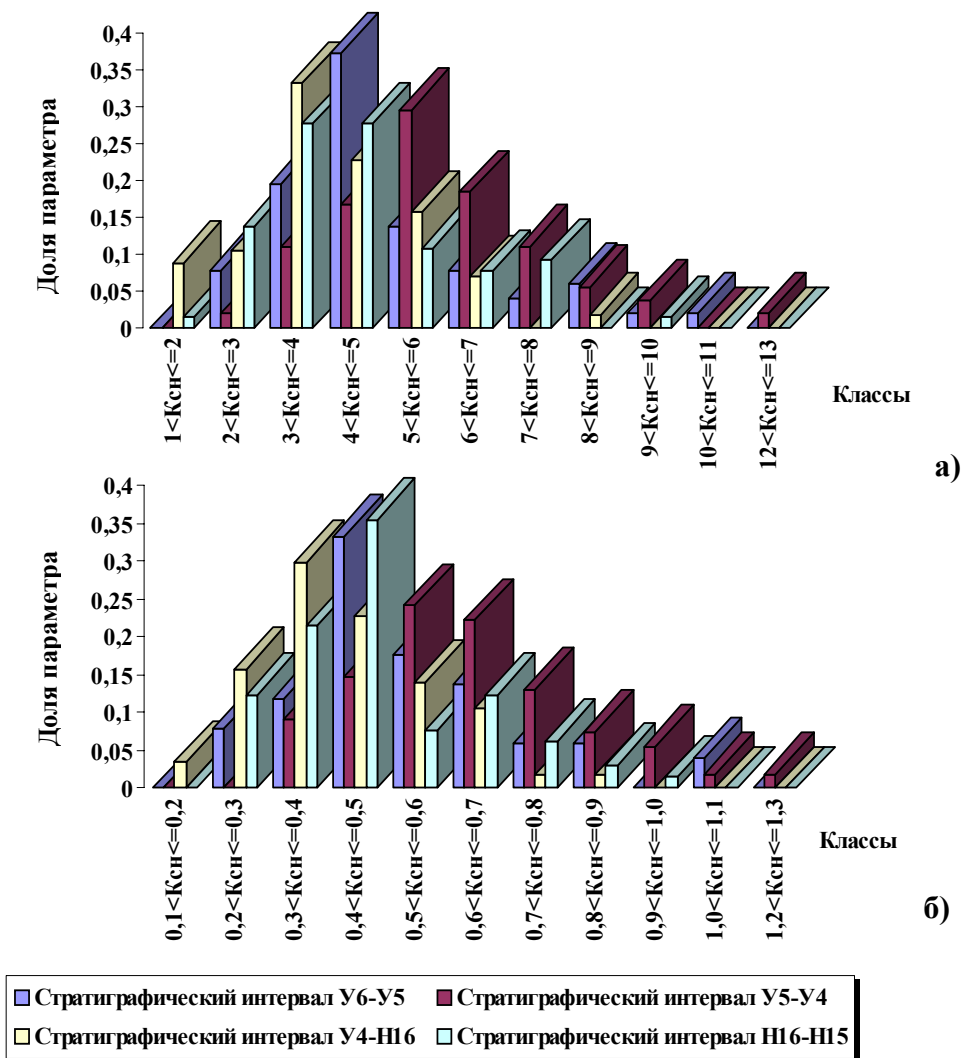


Рис.2. Распределение средневзвешенного коэффициента пространственной изменчивости по выделенным классам

Примечание: а) по пределу прочности горных пород на одноосное сжатие (значимый разряд единицы измерения 1 МПа/км); б) по пределу прочности горных пород на одноосное растяжение (значимый разряд единицы измерения 0,1 МПа/км).

В основу прогноза оптимальной плотности сети инженерно-геологических скважин положен факторный анализ ряда значений относительной энтропии и ряда количества инженерно-геологических скважин (таблица 4).

Для удобства сопоставления степени сложности месторождения с количеством инженерно-геологических скважин на 1 км² месторождения (рекомендации ВНИМИ), степень сложности месторождения детализировалась разбиением каждого класса на 2 класса по степени неоднородности (таблица 4).

Результаты сопоставления количества инженерно-геологических скважин по рекомендациям ВНИМИ (островное распространение многолетней мерзлоты) и значений относительной энтропии с учетом степени неоднородности

Рекомендации ВНИМИ			Метод относительной энтропии				
Степень сложности месторождения	Скважин на 1 км ²		Степень неоднородности месторождения	Скважин на 1 км ²		Значения относительной энтропии, %	
	от	до		от	до	от	до
Простая	1,0	1,6	Весьма однородные	1,0	1,3	70	75
			Однородные	1,3	1,6	75	80
Средняя	1,6	3	Условно однородные	1,6	2,3	80	85
			Условно неоднородные	2,3	3	85	90
Сложная	4	6	Неоднородные	4	5	90	95
			Весьма неоднородные	5	6	95	100

В качестве основного положения послужившего поводом для проведения факторного анализа при сопоставлении количества скважин на 1 км² и значений относительной энтропии с учетом степени неоднородности, является то, что значения относительной энтропии учитывают в себе особенности геологического строения исследуемого объекта, так как они получены на основе данных геофизических исследований скважин, позволяющих изучать свойства горных пород в их естественном залегании.

В результате прогноза оптимальной плотности сети инженерно-геологических скважин для участка первоочередной отработки была получена сеть размерностью 754 X 754 метра. Но в связи с тем, что на практике сеть инженерно-геологических скважин привязывается непосредственно к сети геологоразведочных скважин, а Эльгинское месторождение (участок первоочередной отработки) разведано по геологоразведочной сети с размерностью 100 X 250 метров, то сеть инженерно-геологических скважин, по предложенному методу, должна иметь размерность 700 X 750 метров

Достоверность предложенного метода оценки пространственной изменчивости и неоднородности геологического объекта устанавливалась путем анализа результатов равномерного однофакторного дисперсионного анализа размерностей сети инженерно-геологических скважин, рассчитанных методом относительной энтропии и с использованием известных статистических методов (метод Д.А. Казаковского и вариационный метод).

В результате проведения дисперсионного однофакторного анализа было установлено, что расчетное значение критерия Фишера ($F=1,62$) меньше критического значения ($F_{крит}=3,47$), таким образом, с достаточно высокой доверительной вероятностью гипотеза о влиянии способа оценки пространственной изменчивости и прогноза, относительно ее, размерности сети инженерно-

геологических скважин отвергается. Поэтому, для оценки пространственной изменчивости и прогноза размерности сети инженерно-геологических скважин, можно применять любой из рассматриваемых методов без значительного влияния на достоверность получаемых результатов.

Также стоит отметить, что если количественные данные исследуемого параметра геологического объекта получены различными способами, то более надежным следует признать тот способ, который дает меньший разброс значений изучаемого параметра, то есть тот способ, который характеризуется меньшей дисперсией (S^2). При анализе расчетных данных было установлено, что значения размерности сети инженерно-геологических скважин, полученные методом относительной энтропии ($S^2=0,005$), обладают меньшей дисперсией, чем значения, полученные по вариационному методу ($S^2=0,077$) и методу Д.А. Казаковского ($S^2=0,049$). Из результатов сопоставления полученных значений дисперсии следует, что метод относительной энтропии является более надежным для оценки пространственной изменчивости, неоднородности и прогноза размерности сети инженерно-геологических скважин.

Таким образом, предложенный метод определения неоднородности, оценки пространственной изменчивости и прогнозирования плотности (размерности) сети инженерно-геологических скважин через такие показатели, как средневзвешенный коэффициент пространственной изменчивости и относительная энтропия, является достоверным и более надежным по отношению к общеизвестным методам.

3. Созданная автоматизированная система, основой которой является комплекс вычислительных программ, разработанных с применением математических методов преобразования и интерпретации геологической информации, позволяет оценить изменчивость свойств массива горных пород и на ее основании прогнозировать оптимальную плотность сети инженерно-геологических скважин.

На современном этапе при изучении инженерно-геологических условий месторождений возникает задача выбора таких методов исследований, которые смогли бы обеспечить не только достоверность и эффективность, но и оперативность изучения месторождения.

Для решения задачи оперативности изучения инженерно-геологических условий была разработана автоматизированная система. В основу автоматизированной системы положен принцип использования метода относительной энтропии и средневзвешенного коэффициента пространственной изменчивости (средневзвешенный коэффициент неоднородности), как величин позволяющих оценить пространственную изменчивость свойств массива горных пород и на ее основе спрогнозировать оптимальную сеть инженерно-геологических скважин. В структурном отношении автоматизированная система состоит из двух независимых расчетных модулей (вычислительных программ): Модуль «Расчет средневзвешенного

коэффициента неоднородности» (блок-схема рисунок 3); Модуль «Расчет плотности сети» (блок-схема рисунок 4).

Расчетный модуль «Расчет средневзвешенного коэффициента неоднородности» предназначен для формирования базы данных средневзвешенного коэффициента неоднородности для каждой скважины по соответствующим стратиграфическим интервалам (интервалы вмещающих пород). Формирование базы данных производится непосредственно пользователем с клавиатуры путем ввода следующих исходных параметров: номер скважины; координата скважины по оси X; координата скважины по оси Y; стратиграфические интервалы (для вводимой скважины); предел прочности на одноосное сжатие (для вводимого стратиграфического интервала); предел прочности на одноосное растяжение (для вводимого стратиграфического интервала). Расчетный модуль выполняет расчет средневзвешенного коэффициента неоднородности по заданному коду стратиграфического интервала. По завершению расчета автоматизированной системой производятся запросы о выводе результатов на экран, сохранении полученных данных в архив отчетов и сохранения данных для дальнейших расчетов.

Расчетный модуль «Расчет плотности сети» предназначен непосредственно для расчета окончательных результатов: наиболее оптимальное расстояние между инженерно-геологическими скважинами по рассматриваемым стратиграфическим интервалам; код наиболее изменчивого стратиграфического интервала; степень сложности месторождения (в соответствии с классификацией ВНИМИ); степень неоднородности месторождения. По завершению расчета автоматизированной системой производятся запросы о выводе результатов на экран и сохранении полученных данных в архив отчетов.

Анализируя в целом автоматизированную систему, можно сделать следующие выводы о преимуществах ее использования при инженерно-геологическом изучении месторождений, а также при проектировании, строительстве и эксплуатации горных предприятий:

1. Автоматизированная система позволяет оценить изменчивость свойств массива горных пород и на ее основе производить достоверный, эффективный и оперативный прогноз плотности сети инженерно-геологических скважин.
2. Создаваемые автоматизированной системой динамические архивы позволяют хранить информацию о расчетах производимых на всех этапах изучения геологического объекта, что обеспечивает возможность соблюдения и отслеживания стадийности выполняемых инженерно-геологических работ.
3. В связи с тем, что для прогноза плотности сети инженерно-геологических скважин автоматизированной системой используется метод относительной энтропии, который не подразумевает разбиения скважин по профилям, то существует возможность, производить прогноз при каждом новом единичном вводе информации (данных по скважине).

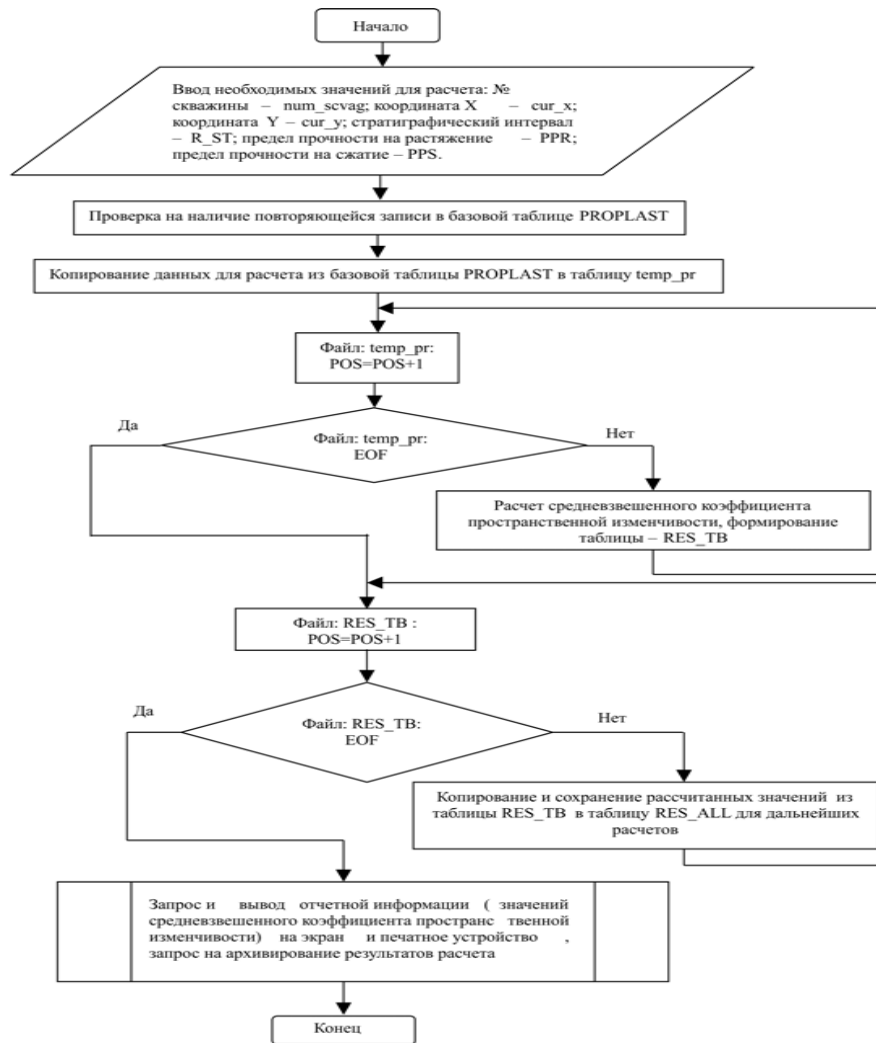


Рисунок 3. Блок-схема расчетного модуля «Расчет средневзвешенного коэффициента неоднородности»

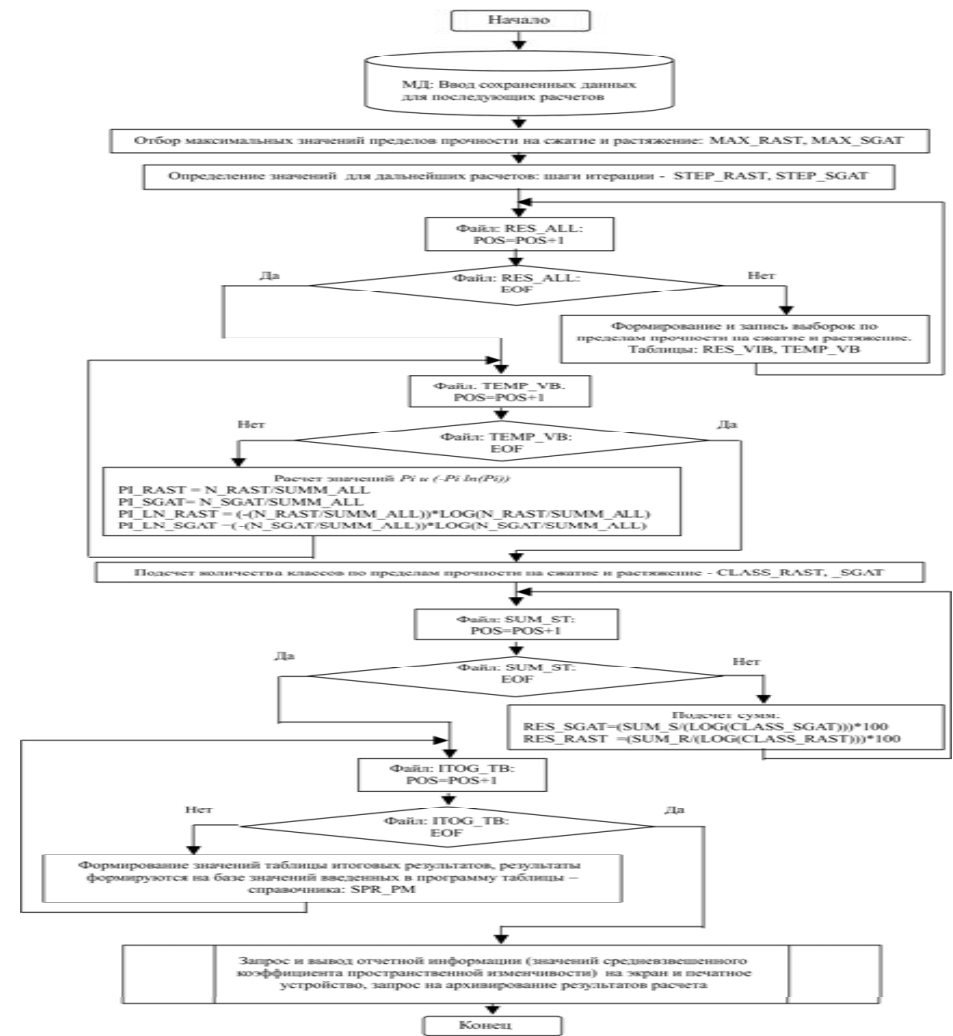


Рисунок 4. Блок-схема расчетного модуля «Расчет плотности сети»

Заключение

Диссертация является научной квалификационной работой, в которой содержится решение задачи оценки пространственной изменчивости свойств массива горных пород для оптимизации сети инженерно-геологических скважин, имеющей существенное значение при разведке угольных месторождений.

Основные результаты и выводы работы заключаются в следующем:

1. Определение закономерностей распределения, характера, степени неоднородности и пространственной изменчивости является ведущим направлением при решении вопросов инженерно-геологических исследований на всех стадиях разведки и эксплуатации геологических объектов.
2. Существующие математические методы оценки пространственной изменчивости свойств массива горных пород не всегда позволяют однозначно спрогнозировать оптимальную плотность сети инженерно-геологических скважин.
3. Пространственная изменчивость свойств массива горных пород Эльгинского каменноугольного месторождения определяется:
 - а) петрографическим составом горных пород;
Неоднородность и изменчивость петрографического состава пород по площади и с глубиной приводит к значительному разбросу в значениях физико-механических свойств горных пород для разных свит, слагающих месторождение.
 - б) современным тектоническим строением месторождения. Дизъюнктивная тектоника месторождения оказывает существенное влияние на количественную оценку неоднородности и изменчивости свойств массива горных пород, которое выражается наличием зон ослабления и дробления, а также трещин, нарушений и т.д.;
 - в) наложением термального типа метаморфизма на региональный тип; Присутствие мощного магматического очага в западной части Токинского угленосного района наложило свой отпечаток на изменение физико-механических свойств горных пород на Эльгинском месторождении. С увеличением глубины отмечается уменьшение значений скорости распространения продольных волн и плотности горных пород, при увеличении коэффициента пористости. Также на месторождении в результате протекания процессов метаморфизма отмечено образование туфопесчаников с заниженными значениями сцепления и пределов прочности на одноосное сжатие и растяжение.
 - г) криогенной обстановкой на месторождении;
Неоднородность криогенной обстановки Эльгинского месторождения выражается в различии прочности горных пород, слагающих месторождение, в

зависимости от их геокриологического состояния. Прочность мерзлых пород увеличивается в зависимости от литотипа на 25% и более по сравнению с аналогичными тальными породами.

д) замкнутой гидрогеологической сетью;

Ограниченность ресурсов подземных вод, участвующих в обводнении Эльгинского месторождения оказывает существенное влияние на пространственную изменчивость и неоднородность свойств углепородного массива, так как различие в пределах прочности водонасыщенных горных пород и сухих в необводненных интервалах одних и тех же литотипов достигает 30% - 40%.

4. Предложенный средневзвешенный коэффициент пространственной изменчивости выступает как мера площадной изменчивости свойств массива горных пород, что позволяет рассматривать величины изучаемых параметров не как точечные значения, а как характеристику части пространства.
5. Средневзвешенный коэффициент пространственной изменчивости и относительная энтропия являются объективными показателями количественной оценки пространственной изменчивости свойств массива горных пород и неоднородности геологического объекта.
6. Использование данных о средневзвешенном коэффициенте пространственной изменчивости и относительной энтропии позволяет спрогнозировать оптимальную плотность сети инженерно-геологических скважин, что повышает эффективность изучения угольных месторождений при их разведке.
7. Разработанная автоматизированная система позволяет оценить изменчивость свойств массива горных пород и на ее основе производить надежный, достоверный, эффективный и оперативный прогноз плотности сети инженерно-геологических скважин.
8. Создаваемые разработанной автоматизированной системой динамические архивы позволяют хранить информацию о расчетах производимых на всех этапах изучения геологического объекта, что обеспечивает возможность соблюдения и отслеживания стадийности выполняемых работ.
9. Геолого-геофизическая методика расчета прочностных свойств (ГИС-2) горных пород и разработанная автоматизированная система позволили с достаточной долей достоверности и надежности спрогнозировать значения углов наклона устойчивых откосов борта карьера и построить карты устойчивости, позволяющие производить оперативное управление величинами углов наклона откосов борта карьера при продвижении фронта работ.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Кузнецов П. Ю. Исследование изменения физических свойств горных пород при отрицательных температурах / П. Ю. Кузнецов // Материалы II гор. науч.–практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, посвящ. 20–летию проф. образования в Южной Якутии. – Якутск, 2001. - С. 45-47.
2. Кузнецов П. Ю. Обоснование достаточной сети инженерно-геологических скважин на примере Эльгинского каменноугольного месторождения / П. Ю. Кузнецов // Материалы III гор. науч.–практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов, посвящ. 10-летию Техн. ин-та (филиала) Якутского гос. ун-та им. М. К. Аммосова. Нерюнгри. апрель 2002. - Якутск, 2003. - С. 38-43.
3. Кузнецов П. Ю. Обоснование достаточной плотности сети инженерно-геологических скважин / П. Ю. Кузнецов // Новые идеи в науке о земле: VI международная конф. – М., 2003. – Т. 4. - С. 102.
4. Кузнецов П. Ю. К вопросу изучения пространственной изменчивости физико-механических свойств углевмещающих пород Южно-Якутского бассейна / П. Ю. Кузнецов // Материалы IV гор. науч.–практ. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов. - Якутск, 2003. - С. 70-72.
5. Кузнецов П. Ю. Обоснование оптимального количества проб для достоверной оценки инженерно-геологической характеристики Эльгинского месторождения / П. Ю. Кузнецов, Ю. Н. Скоморошко // VII Лаврентьевские чтения: науч. конф. студентов и молодых ученых. - Якутск, 2003. – Т. 2. - С. 22-24.
6. Выбор оптимальной сети инженерно-геологических скважин при разведке угольных месторождений / П. Ю. Кузнецов и др. // Вестник Техн. ин-та (филиала) Якутского гос. ун-та. - 2004. – Вып. 1. - С. 12-20.
7. Кузнецов П. Ю. Способ оценки пространственной изменчивости физико-механических свойств горных пород Южно-Якутского угольного бассейна / П. Ю. Кузнецов, Ю. Н. Скоморошко // Пути решения актуальных проблем добычи и переработки полезных ископаемых Южной Якутии: тез. докл. II Респ. науч.-практ. конф. Нерюнгри 19-20 октября 2004. – Якутск, 2004. - С. 22-23.
8. Кузнецов П. Ю. Повышение эффективности изучения инженерно-геологических условий месторождения на основе оценки пространственной изменчивости свойств массива горных пород / П. Ю. Кузнецов, Ю. Н. Скоморошко, Н. Н. Гриб // Горный вестник Узбекистана. – 2004. - № 4. - С. 26-29.
9. Кузнецов П. Ю. К вопросу о достоверности определения физико-механических свойств пород в южно-якутском угольном бассейне / П. Ю. Кузнецов, Ю. Н. Скоморошко // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири: материалы X международной науч.-практ. конф. Кемерово. 23-24 ноября 2004. - Кемерово, 2004. - С. 79-81.

10. Кузнецов П. Ю. Оценка устойчивости горных пород в бортах карьера на основе данных геофизических исследований скважин (на примере Эльгинского каменноугольного месторождения) / П. Ю. Кузнецов, Ю. Н. Скоморошко, Н. Н. Гриб // Горный информационно-аналитический бюллетень. Региональное прилож. - 2005. – Вып. 1. - С. 115-119.