

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем комплексного освоения недр РАН

На правах рукописи



ЖУРАВЛЕВ ЕВГЕНИЙ ИГОРЕВИЧ

Разработка геоинформационной системы прогнозирования динамических
проявлений в углевмещающем массиве при подземной разработке угольных
месторождений

Специальность 25.00.35 «Геоинформатика»

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук
С. С. Кубрин

Москва 2016

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	5
1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В УГОЛЬНОМ ПЛАСТЕ	11
1.1. Перспективы освоения угольных месторождений	11
1.2. Общая характеристика гео- газодинамических явлений в углевмещающем массиве	12
1.3. Состояние вопроса геоинформационного обеспечения для решения специфических задач угольных шахт	15
1.4. Анализ методических подходов к оценке гео- газодинамического состояния угольного пласта	28
ВЫВОДЫ	35
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗА ГЕО- ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В УГЛЕВМЕЩАЮЩЕМ МАССИВЕ	38
2.1. Система оценки формирования горно-геологических условий	39
2.2. Анализ характера формирования информационных массивов состояния углевмещающего массива	40
2.3. Аэродинамическое состояние рудничной атмосферы	41
2.4. Режим работы угольного предприятия	46
2.5. Формирование информационных массивов обработки разнородных информационных потоков для осуществления расчета опасности угольного пласта и прогноза возникновения динамических явлений	47
ВЫВОДЫ	53
3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ МНОГОФАКТОРНОЙ ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ В УГОЛЬНОМ ПЛАСТЕ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ	54
3.1. Обоснование метода многофакторного моделирования оценки опасности динамических явлений в угольном пласте	54
3.2. Описание многофакторной модели оценки опасности динамических явлений в угольном пласте	57
3.2.1. Влияющий фактор «Интенсивность подвигания забоя»	58
3.2.2. Влияющий фактор «Количество импульсов в единицу времени»	60
3.2.3. Влияющий фактор «Мощность зарегистрированных явлений»	62
3.2.4. Влияющий фактор «Состояние рудничной атмосферы»	63
3.2.5. Влияющий фактор «Расстояние от очага до ближайшего производственного участка»	64
3.2.6. Влияющий фактор «Изменение состава амплитудно-частотных характеристик искусственного сигнала»	66
3.2.7. Влияющий фактор «Объемная концентрация событий»	68
3.2.8. Влияющий фактор «Объемная мощность очагов»	70
ВЫВОДЫ	71

4. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ МНОГОФАКТОРНОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В УГОЛЬНОМ ПЛАСТЕ	73
4.1. Вычисление степени влияния независимых факторов на критериальный фактор оценки опасности динамических явлений в угольном пласте	73
4.2. Исследование многофакторной математической модели на противоречивость – критерий Стьюдента	77
4.3. Применение адаптивных методов при прогнозировании динамических явлений	80
4.4. Описание алгоритма комплексирования разнородных факторов, влияющих на прогнозирование динамических явлений	86
4.5. Алгоритм группировки очагов динамических явлений в угольном пласте	98
4.6. Алгоритм оконтуривания очагов динамических явлений в угольном пласте	101
4.7. Алгоритм прогноза места возникновения очага динамического явления в угольном пласте	103
4.8. Виды прогноза выбросоопасности и удароопасности угольного пласта	105
4.9. Применение сейсмической методики наблюдения эмиссии горных пород	112
4.10. Применение сейсмоакустической методики наблюдения эмиссии горных пород	113
4.11. Тарировочные испытания сейсмических и сейсмоакустических датчиков	114
4.12. Применение тензометрической методики наблюдения напряжений в угольном пласте	115
4.13. Тарировочные испытания тензометрических датчиков	118
4.14. Структура сейсмоакустических и сейсмических датчиков	119
4.15. Структура тензометрических датчиков	121
4.16. Принципы размещения сейсмоакустических, сейсмических и тензометрических датчиков в угольном пласте	122
4.17. Построение оптимальной структуры архитектуры нейронной сети	124
4.18. Дискретизация значений выходного слоя нейронов для прогноза оценки опасности угольного пласта	128
4.19. Описание принципа расчета прогноза оценки опасности динамических явлений в угольном пласте по участкам локализации динамических событий	129
4.20. Исследование сочетания влияющих факторов на зависимый параметр оценки опасности динамических явлений в угольном пласте	131
4.21. Выявление связи частоты сейсмоакустического сигнала от значения величины действующих напряжений в угольном пласте	133
ВЫВОДЫ	138

5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В УГОЛЬНОМ ПЛАСТЕ	140
5.1. Технические решения по структуре и обслуживанию геоинформационной системы оценки опасности динамических явлений....	140
5.2. Обработка сейсмических и сейсмоакустических данных.....	144
5.3. Обработка тензометрических данных.....	147
5.4. Исследование граничных условий и величин изменения влияющих факторов ошибку оценки опасности динамических явлений в угольном пласте.....	149
5.5. Оценка обработки ошибок вычисления прогноза	154
5.6. Методика создания обучающих выборок для нейронной сети.....	158
5.7. Методика выявления недопущения переобучения сети при изменении характера входного ряда прогнозных данных	162
5.8. Структурная и инфологическая модели оценки опасности динамических явлений в угольном пласте.....	163
5.9. Структура пространственных таблиц данных и их связей в модели оценки опасности динамических явлений в угольном пласте	164
5.10. Проведение натурных экспериментов на шахте им. С. М. Кирова	172
5.11. Методика проведения эксперимента на шахте им. С. М. Кирова.....	174
5.12. Экономическая эффективность внедрения геоинформационной системы оценки и прогноза опасности динамических явлений	176
5.13. Описание программ геоинформационной системы прогноза и оценки динамических явлений.....	179
5.14. Требования к техническим средствам для геоинформационной системы прогноза и оценки опасности динамических явлений	182
ВЫВОДЫ.....	184
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	186
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	188
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	196
Приложение А1 – Последовательность обработки пространственно-распределенных данных в геоинформационной системе оценки и прогноза опасности динамических явлений в угольном пласте	197
Приложение А2 – Структура информационного обмена между компонентами геоинформационной системы оценки и прогноза опасности ГДЯ в угольном пласте.....	198
Приложение А3 – Описание зависимости изменения оценки состояния массива горных пород при взаимном изменении влияющих факторов.....	199

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Уголь остается одним из самых надежных и востребованных источников энергии в обозримом будущем. С увеличением глубины разработки угольных месторождений возрастает вероятность динамических проявлений напряженно-деформированного состояния угольного пласта. Российские угольные месторождения, прежде всего Кузбасса и Воркуты, являются высокометаноносными, и при их разработке подземным способом велика опасность возникновения динамических явлений, к которым относятся различные газо- и геодинамические явления (ГДЯ)[5-11], что снижает промышленную безопасность, создавая при этом барьер для увеличения производительности очистных и проходческих забоев. В связи с этим для обеспечения безопасных условий ведения горных работ необходимо внедрение на шахтах систем прогнозирования неблагоприятных ГДЯ. Большой вклад в развитие и применение методов прогнозирования выбросоопасности и удароопасности угольных пластов внесли российские и зарубежные ученые: Алексеев А.Д., Айруни А.Т., Иванов Б.М., Линьков А.М., Петухов И.М., Пузырев В.Н., Чернов О.И., Фейт Г.Н., Ходот В.В., Этингер И.Л., Яновская М.Ф. и др. Отдельно стоит отметить вклад в развитие систем мониторинга, автоматизации и прогноза ГДЯ таких ученых, как: Анциферов А.В., Артемьев В.Б., Курленя М.В., Логинов А.К., Рубан А.Д., Ютяев Е.П. и др.

Существующие решения по оценке и прогнозу ГДЯ требуют уточнения, трансформации и дополнения к сформировавшейся методологической и методической базе. Поэтому задача разработки геоинформационной системы прогнозирования динамических проявлений в углевмещающем массиве является актуальной, результаты реализации которой будут способствовать повышению уровня промышленной безопасности и эффективности ведения подземных горных работ.

Целью диссертации является разработка геоинформационной системы прогнозирования динамических проявлений в углевмещающем массиве для обоснования комплекса мероприятий по повышению безопасности и эффективности ведения подземных горных работ.

Идея диссертации состоит в реализации комплексного подхода к разработке геопространственной системы прогнозирования динамических проявлений в углевмещающем массиве на базе результатов тензометрического и сейсмоакустического контроля напряженно-деформированного состояния массива горных пород.

Методы исследований. В работе применялись общенаучные методы анализа различного рода информации о параметрах, характеризующих состояние массива горных пород, рудничной атмосферы шахты и режима горных работ. Помимо этого в диссертации использовались специализированные методы геопространственного анализа, масштабирования, фильтрации и преобразования информации; статистической обработки результатов натурных наблюдений.

Задачи исследований

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- ✓ обобщение и анализ теоретических и практических исследований в области оценки и прогнозирования проявлений газо- и геодинамических явлений при ведении подземных горных работ;
- ✓ исследование пространственно-распределенных характеристик и параметров с достаточно надежной степенью объективности и надежности, характеризующих состояние угольного пласта в зоне ведения подземных горных работ и шахтном поле в целом;
- ✓ обоснование и системное представление на базе адаптации методов геопространственного анализа, имитационного моделирования и нейросетевых технологий методики объективной оценки и заблаговременного прогнозирования очагов повышенного напряжения в

угольном пласте с учетом режимов горных работ и состояния рудничной атмосферы;

- ✓ разработка геоинформационной системы контроля геомеханического состояния угольного пласта с учетом динамически протекающих процессов;
- ✓ разработка блок-схемы и алгоритма группировки и оконтуривания зон сейсмических и сейсмоакустических событий в угольном пласте с учетом их энергетической составляющей;
- ✓ обоснование и разработка практических рекомендаций по использованию результатов исследований.

Основные научные положения:

1. Разработана геоинформационная методика прогнозирования динамических проявлений в углевмещающем массиве, на основе сейсмического, сейсмоакустического, тензометрического контроля напряженно-деформированного состояния массива горных пород, отличающаяся учетом режима горных работ и параметров рудничной атмосферы, позволяет оценить опасность ГДЯ.

2. Разработан алгоритм пространственной группировки и оконтуривания очагов динамических проявлений и зон сейсмических, сейсмоакустических активностей, включение которого в состав геоинформационной системы прогнозирования динамических явлений в углевмещающем массиве является необходимым для выявления зон динамических активностей и предельного напряженного состояния.

3. Разработан алгоритм прогнозирования очередного очага повышенных напряжений в угольном пласте, отличающийся определением энергии релаксации, предусматривающий адаптивную корректировку параметров расчета координат местоположения очага, позволяющий геоинформационной системе прогнозирования минимизировать ошибку в координатах прогноза.

Достоверность научных положений, сформулированных в диссертации, подтверждается:

- ✓ анализом большого объема геопространственной статистической информации об измерениях сейсмической и сейсмоакустической эмиссий, тензометрических деформаций и напряжений при изменении горного давления, возникающего в массиве горных пород в процессе техногенных воздействиях на него, полученного на шахтах АО «Воркутауголь» и АО «СУЭК-Кузбасс»;
- ✓ корректным использованием методов кодирования, хранения и преобразования геоинформации на основе реляционной базы данных; статистической обработки результатов натурных наблюдений; статистического анализа.
- ✓ результатами опытно-промышленных испытаний на шахтах «Воркутинская» и «Заполярная» АО «Воркутауголь» и шахты им. С.М. Кирова АО «СУЭК-Кузбасс».

Научная значимость диссертации заключается в разработке методики геопространственной обработки данных для прогноза ГДЯ при выемке угольных пластов на основе совместного использования местоположения очага ГДЯ, величины его опасной зоны, а также режима горных работ и состояния рудничной атмосферы, реализующей оптимальную конфигурацию нейронной сети для геопространственного прогноза возникновения опасных ГДЯ.

Практическая значимость диссертации состоит в разработке рекомендаций по реализации программного инструментария для прогноза и оценки опасности ГДЯ, своевременное выявление и локализация негативных последствий, направленных на повышение безопасности ведения подземных горных работ.

Апробация диссертации

Основные результаты диссертации и её отдельные положения докладывались на международных конференциях и симпозиумах «Неделя

Горняка» (2013-2016гг.), международной научной школе (конференции) академика К.Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр» в 2014 г., международных научных школах молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке – глазами молодых» в 2013 - 2015 гг., I Международной научно-технической конференции Безопасность труда и эффективность производства горнодобывающих предприятий с подземным способом разработки. г.Екатеринбург, УГГУ, 2016.

Публикации

По теме исследования опубликовано 11 научных работ, в том числе 6 в журналах из перечня, установленным ВАК при Минобрнауки РФ, рецензируемых научных изданий.

Вклад автора в работы, выполненные в соавторстве, состоял: Статья № 1: идея работы – Кубрин С.С., разработка модели прогноза, программная реализация – Журавлев Е.И., статья № 2: Журавлев Е.И., статья № 3: Журавлев Е.И., статья № 4: идея работы – Журавлев Е.И., техническая реализация – Федотов Г.С. и Пикель К.С., статья №5: идея работы – Журавлев Е.И., техническая реализация – Федотов Г.С. и Пикель К.С., статья №6: идея работы – Журавлев Е.И., техническая реализация – Федотов Г.С. и Пикель К.С., статья № 7: Журавлев Е.И., статья № 8: Журавлев Е.И., статья № 9: идея работы – Кубрин С.С., разработка программной реализации – Журавлев Е.И., Федотов Г.С., статья № 10: Журавлев Е.И., статья № 11: идея работы – Кубрин С.С., программная реализация – Журавлев Е.И.

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 66 наименований, содержит 26 рисунков и 33 таблицы.

Благодарности

В ходе подготовки работы автор обсуждал промежуточные результаты и возможные перспективы исследований с рядом ведущих специалистов в области методов исследования напряженно-деформированного состояния

угольного пласта. Такие контакты способствовали формированию взглядов автора в выбранной области исследования, за что автор искренне благодарен научному руководителю – проф., д.т.н. Кубрину С.С. и сотрудникам лаборатории «Геотехнологических рисков освоения недр» ИПКОН РАН и ООО «Углеавтоматизация».

1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В УГОЛЬНОМ ПЛАСТЕ

1.1. Перспективы освоения угольных месторождений

В мировом устройстве ВВП доля энергетической продукции составляет около 11%. В такую продукцию входят такие ресурсы, как торф, горючие сланцы, уран, нефть, газ. При этом доля угля занимает около 30% от всех топливно-энергетических ресурсов, поэтому среди всех отраслей топливно-энергетического комплекса наиболее важной и значимой является угольный промысел. Уголь активно используют в промышленности, в качестве топлива на электростанциях, в металлургии и как топливный материал в частном хозяйстве.

Угольная промышленность России связана с территориальным расположением залежей этого ресурса и местности, находящейся вокруг. Это напрямую влияет не только на способ разработки, но и на саму добычу. В России компании занимаются не только промыслом угля, но перерабатывают его. В зависимости от расположения угольного пласта, добыча может осуществляться несколькими способами. Если полезное ископаемое находится не ниже 100 метров от земли, его добывают открытым способом, если же, месторождение расположено ниже 100 метров, используется подземный способ. Чтобы поднять уголь, расположенный на очень большой глубине, строятся шахты, с помощью которых выполняется промысел.

Чаще всего российским угольным компаниям приходится добывать ресурс с местоположения более чем в 1200 метров. На таком расстоянии высока вероятность возникновения неблагоприятных проявлений динамических явлений, а также выделение из угольных пород метана, который очень опасен для рабочих. Для обеспечения безопасного ведения горных работ на предприятиях угольной промышленности необходимо внедрять мониторинг состояния угольного пласта. Также одной из серьезных

проблем является наносимый природе вред при добычании и переработке угля. Во-первых, это высвобождение в атмосферу метана при разработке месторождений. Во-вторых, для получения коксующегося угля его необходимо нагревать до определенной температуры.

При нынешнем уровне потребления угля, его разведанных запасов хватит примерно на 200 лет по сравнению с почти 50 годами для газа и 30 – для нефти. Человечеству неизбежно придется вкладывать средства на разработку программ по снижению загрязнения окружающей среды из-за добычания и производства угля. В связи с этим, развитие угольной промышленности примет мировые масштабы. Соответственно также возрастут и цены на уголь, а вместе с этим и производство угля станет рентабельным.

Перспективность развития добычи угля заключается в том, что энергетика остается самой приоритетной отраслью экономики. При стабильной и обширной ресурсной базе и возможности для экспортеров угля работать на различных рынках сбыта остается стабильная цена угля по сравнению со стоимостью его прямых заменителей.

1.2. Общая характеристика гео-газодинамических явлений в углеводородном массиве

Аварийная опасность производственных процессов и объектов шахты определяется горно-геологическими условиями разработки угольных пластов и зависит от устранения возможного проявления природных и эксплуатационных опасностей при принятой технологии ведения горных работ, эффективности системы противоаварийной защиты и профессиональной подготовленности к безаварийной работе производственного персонала.

Горно-геологические условия разработки, влияющие на проявление природных опасных факторов, классифицируют следующим образом.

- ✓ Условия залегания угленосной толщи: количество угольных пластов в свите, расстояние между пластами, мощность пластов угля и слоев пород, глубина залегания, угол падения, вид геологических нарушений (пликативные, дизъюнктивные), обводненность месторождения и характер подземных вод (пластовые, трещинные, карстовые), естественная температура.
- ✓ Физико-механические и химические свойства угля и вмещающих пород: крепость, обрушаемость, трещиноватость, степень метаморфизма, склонность угля к окислению, взрывоопасность пыли, доля свободного диоксида кремния, склонность к горным ударам[2].
- ✓ Газоносность пластов угля и пород: виды газовыделения (обычные, суффлярные), опасность по газодинамическим проявлениям.

Основные опасности природного происхождения проявляются в виде длительного зависания и обширных обрушений пород кровли, обычных и суффлярных выделений метана, газодинамических явлений, склонности угля к самовозгоранию, взрывоопасности угольной пыли, наличия обводненных зон геологических нарушений в угольном пласте, увеличения природной температуры пород с глубиной. Опасности эксплуатационного происхождения разделяются на две группы: способствующие проявлению природных опасностей и собственно техногенные опасности. К первой группе относятся нарушение естественного состояния угольного пласта при проведении горных выработок и выемке угля, вызывающее возникновение горного давления; проявление подработки и надработки; перераспределение напряжений в угольном пласте и давления газа в метаноносных угольных пластах и породах; искусственное создание каналов гидравлической и аэродинамической связи между земной поверхностью и горизонтами ведения горных работ, а также между горизонтами, что вызывает миграцию подземных вод и доставку с воздухом кислорода к поверхностям угля, склонного к самовозгоранию, и ко всем находящимся в шахте горючим материалам. Ко второй группе факторов техногенного происхождения

относятся оставление угля в целиках, в местах перехода геологических нарушений, в не вынимаемых пачках угля; потери угля в лаве и выработанном пространстве; утечки воздуха через закрепное пространство в выработках, вентиляционные сооружения, выработанное пространство, изолирующие перемычки, раздавленные целики угля; недостаточное проветривание тупиковых выработок, выемочных участков, камер; проявления подработки и надработки; нагревание от трения конвейерных лент, исполнительных органов машин; искрение и короткое замыкание в электроустановках, между жилами кабеля, в светильниках, при обрушениях пород, в механических установках и инструменте; нарушения герметичности изолирующих и водоупорных перемычек, правил ведения огневых, взрывных, ремонтных работ, режима проветривания, пылевого режима, газового режима, мероприятий по предотвращению газодинамических явлений, паспортов крепления и управления кровлей, паспортов дегазации источников газовыделения[17,19], правил технической эксплуатации электроустановок, машин и механизмов, правил перевозки людей.

Наличие и проявление какого-либо из вышеперечисленных природных и производственных опасных факторов, их взаимодействие и степень участия, в сущности, и определяют вид аварии, места возникновения, особенности протекания, возможные осложнения, а также тяжесть последствий аварий. Распределение аварий в зависимости от объектов, на которых они происходят, и основные виды подземных аварий по опасным и травмирующим факторам приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Структура аварийности на угольных шахтах РФ

Объекты и виды аварий	Аварийность	
	Среднее ежегодное число аварий	Удельный вес, %
Основные объекты аварий		
Горные машины и механизмы, в т.ч. в очистных забоях	1038 127	51,6 -
Подземный транспорт	634	35,2
Подъем	73	4,2

Объекты и виды аварий	Аварийность	
	Среднее ежегодное число аварий	Удельный вес, %
Электрооборудование	121	5,5
На поверхности	37	1,3
Прочие объекты	54	2,3
Основные виды аварий		
Обвал и обрушения, в т.ч. в очистных забоях	112 84	34,6 -
Газодинамические явления, в том числе внезапные выбросы угля и газа	137 7	38,4 -
Взрывы метана и угольной пыли	3	1,4
Вспышки и горение метана	9	3
Прорывы воды и пливунов	4	0,6
Подземные пожары	71	22

Данные таблицы 1 показывают, что наибольшее число аварий на шахтных объектах связано с эксплуатацией горных машин и механизмов, подземного транспорта и электрооборудования (80,2% от общего числа аварий). Около 16,8% аварий вызвано обвалами и обрушениями, газодинамическими явлениями, подземными пожарами, взрывами и вспышками метановоздушной смеси и угольной пыли. Из этого следует, что недостаточно применяются средства по наблюдению за динамическими явлениями. Для своевременного предупреждения о возможных неблагоприятных проявлениях динамических явлений необходимо проводить непрерывный мониторинг угольного пласта вблизи очистных и проходческих участков и рассчитывать прогноз возникновения таких явлений.

1.3. Состояние вопроса геоинформационного обеспечения для решения специфических задач угольных шахт

Текущие рыночные условия заставляют угольную промышленность переходить на высокоинтенсивные технологии выемки угля, которые могут быть достигнуты за счет автоматизации производственных процессов угледобычи и увеличения производительности добычных участков. При этом также необходимо соблюдать безаварийность и безопасность

технологических процессов. Что приводит к изменению самого характера деятельности горных предприятий, в основном за счет внедрения в свою деятельность инновационных технологий. Необходимость внедрения геоинформационных аналитических систем выходит на первый план для оптимального сочетания добыча/безопасность. На угольных шахтах и рудниках обычно используются специальные автоматизированные системы для геологии, горного планирования, маркшейдерии и различных производственных нужд. Все автоматизированные системы горных предприятий могут быть классифицированы следующим образом[5]:

- ✓ Горные автоматизированные системы общего назначения. Системы такого профиля стандартно включают в себя такие разделы, как: геологическое моделирование, оценка запасов, проектирование и планирование горных работ, календарное планирование и маркшейдерия. Наиболее распространенные в мире компании, которые разрабатывают системы подобного профиля это: Gemcom, Maptek, Mintec, Surpac and Datamine.
- ✓ Специализированные горные системы автоматизации. К таким системам относятся специализированные комплексы для областей технологии, которые пока (полностью или частично) не обеспечиваются универсальными горными системами. Обычно такие системы решают следующие задачи: оптимизация карьеров, календарное планирование, буровзрывные работы, вентиляция, геомеханика, экология и т.д. Существует большое количество таких систем, которые создаются специализированными компаниями, самими горными предприятиями или исследовательскими учреждениями.
- ✓ Системы автоматизированного управления производством. Данная категория объединяет программы и оборудование, используемое для управления производством в реальном времени. Преимущественные направления использования: управление горным транспортом,

экскаваторами, буровыми станками, и т.п. Такие системы предлагаются небольшим количеством компаний, среди которых (в области открытых работ) выделяют: Modular Mining Systems, Wenco, Tritronics и Aquila. Все большее значение приобретает связь этих компаний с производителями горного оборудования, такими как Komatsu и Caterpillar[47].

- ✓ Системы автоматизированной регистрации производства. Существует большое разнообразие таких систем, которые ведут производственный учет в реальном времени и формируют разнообразные отчеты. За редким исключением горные компании сами разрабатывают (и иногда продают) такие системы. В них очень мало общего, и часто они представляют собой смесь электронных таблиц и баз данных, разработанных местными программистами для нужд предприятия.

Ниже представлен анализ основных возможностей у ведущих систем автоматизации работ на углепромышленных предприятиях. К самым из доступным горным автоматизированным системам общего назначения относится система RockWare. Данная система сочетает в себе функции автоматизированного проектирования топологии угольных пластов с возможностью учета их геомеханических, геофизических и гидрогеологических характеристик для оптимальной обработки данных картографирования и ГИС. Данная система обладает специальными программными модулями для каркасного моделирования и расчетов объемов угольных пластов, их структурным, стратиграфическим, тектоническим, статистическим и графическим анализом, с возможностями моделирования поверхностей и построения изолиний. Такая система за счет сочетания в себе большого математических и геоинформационных возможностей позволяет применять её широкому кругу специалистов горного профиля. Ширина возможностей системы не позволяет с большой степенью характеризовать моделируемые процессы. Поэтому такая система подходит для задач,

которые носят общий характер, чтобы можно было быстро и в общих чертах понять, как развиваются наблюдаемые процессы.

Геоинформационная система Vulcan австралийской компании KJRA Systems относится к специализированным горным системам автоматизации. Эта система включает в себе набор программ, для различных целей. Одни программы включают в себе функции для возможности моделирования различных геологических объектов (угольные и алмазные рудники и шахты, месторождения нефти и газа и т.д.), геомеханических, геофизических и экологических аналитических расчетов. Различные инструменты для проектирования массовых взрывов на подземных рудниках и контроля качества добываемой руды. Также полезные инструменты по оптимизации календарных планов горного предприятия и детальных маркшейдерских расчетов. Все модули данной системы имеют достаточно большую детализацию и высокую точность производимых расчетов, что сказывается на большой стоимости по интеграции такой системы на горных предприятиях.

Еще одна геоинформационная система австралийской разработки называется MineScape. Программные модули данной системы можно применять для не только для угольных предприятий, но и на всех предприятиях, разрабатывающих любые типы твердых полезных ископаемых. В состав данной системы входят четыре модуля, каждый из которых разработан для решения конкретного круга задач. Программный пакет MineScape включает в себя различные возможности для моделирования месторождений и оценки эффективности их работы, инструменты для планирования работы карьеров и шахт, а также управления этими процессами с учетом различных критериев и ограничений. Программный пакет MineStar включает в себя различные инструменты для оптимизации рудопотоков предприятия в режиме реального времени, а также контроля и управления работой рудничного оборудования. Программный пакет Ellipse включает в себя различные инструменты для управления и учета работы

рудничного транспорта, ведения базы данных на всех этапах работы предприятия, контролем работы, простоями и ремонтами горного оборудования, а также расчетом производственных затрат с последующим формированием различных отчетов в реальном режиме времени. Программный пакет MineMarket сочетает в себе средства для получения информации о содержании, местонахождении и качестве всех видов продукции предприятия в течение всего производственного цикла, уровнем цен на продукцию и получаемую выручку. Данная система обладает модулями разносторонней направленности, а также их совместной или отдельной конфигурацией, что позволяет гибко настраивать систему для конкретного объекта автоматизации в зависимости от его характеристик и спектра решаемых задач.

Южноафриканская компания Lynx Geosystems представляет специализированную геоинформационную систему с большим геостатистическим модулем. Данная система спроектирована для решения различных задач, среди которых трехмерное моделирование геологических объектов и поверхностей и проектирование подземных горных работ и карьеров с их оптимизацией. Различные инженерно-геологические функции расчетов рудных складов и отвалов, геостатистика по оценке и подсчету запасов месторождений. Маркшейдерские расчеты, расчеты по управлению работой оборудования и рабочей силы, а также для визуализации чертежей горного производства. Данная геоинформационная система обладает обширным инструментарием для различного типа решаемых задач. Подобные системы широко распространены и в основном используются для планирования и оценки эффективности работ горных предприятий.

Американская геоинформационная система MineSight аналогична ранее рассмотренным системам специального назначения по функциональным параметрам. Данная система подразделяется на три программных модуля: геологический, горно-инженерный, планировочный, проектирующий и моделирующий. Геологический модуль содержит в себе

функционал для обработки данных по скважинам и их статистику, блочное моделирование и оценку запасов руды. С помощью инструментария, представленного в горно-инженерном модуле можно производить проектирование карьеров, оценку и оптимизацию извлекаемых запасов, и календарное планирование. В модуле планирования горных работ доступны средства для оценки и контроля качества руды, блочное моделирование и проектирование размещения скважин в блоке, а также маркшейдерские расчеты. Модуль проектирования подземных рудников обладает функционалом, позволяющим решать задачи проведения системы горных выработок, расчета потерей и разубоживания. Различными средствами для трехмерного моделирования пластов, а также для проектирования отработки пластовых месторождений обладает программное средство моделирования месторождений. Кроме перечисленных модулей данная система обладает специальными инструментами, такими как Visualizer – для осуществления отображения трехмерного изображения на экране, Acquire – инструмент для управления данными геологоразведки и горного производства, DSS – специализированной системой кодирования и охраны информации о режимных предприятиях горного производства. Такая система обладает различного рода функционалом, как для моделирования, так и для оценки различных параметров при проектировании и эксплуатации предприятий горнодобывающей промышленности.

Ещё одна специализированная система горной автоматизации под названием Gemcom включает в себя функционал, способный проводить различную обработку информации, о состоянии горного предприятия начиная от ввода первичных данных и заканчивая блочным моделированием месторождений, а также проектированием и планированием горных работ. Данная геоинформационная система предоставляет различные возможности за счет своего многопрофильного функционала, который включает следующие модули: управление данными, моделирование и проектирование карьеров и шахт и геомеханических, маркшейдерских и экологических

расчетов, элементы календарного планирования и управления работой горного оборудования, возможности управления документооборотом предприятия. Специализированные модули способны проводить управление запасами руды, оптимизировать оценку минерального сырья и планированием горных работ, поэтому система получила наибольшее распространение на горных предприятиях, а также за счет простоты использования её функционала и приемлемой точности производимых расчетов.

Австралийская разработка геоинформационной системы Surpac также получила большое распространение за счет большого набора функционала. Основные задачи, которые способна решать данная система это: моделирование и оценка запасов месторождений, включая геостатистику, проектирование карьеров и подземных сооружений, контроль качества рудопотоков, маркшейдерские расчеты, календарное планирование, обработка геологоразведочной информации и данных по скважинам. В состав данной системы входят четыре модуля, различные по типу решаемых задач. Модуль Quarry – включает в себя инструменты для проведения проектирования карьеров и планирования производства, а также химических, неметаллорудных и строительных предприятий. Модуль Scheduling создан для всестороннего календарного планирования любого горного производства. Модуль Xplorac сочетает в себе набор современных программ для автоматизирования расчетов рабочих и полевых геологических исследований. Функциональность модуля DrillKing состоит в различной обработке разведочных данных по скважинам. Эта система обеспечена хорошим функционалом для геологических работ, но не для геомеханических и геофизических оценок опасности динамических явлений в угольном пласте.

Геоинформационная система Thechbase, разработанная американской компанией Minsoft, включает в себе большой функционал, в основном ориентированный на геологические аспекты при исследовании процессов на

горных предприятиях. В основном в данной системе представлены возможности для решения задач для трехмерного моделирования месторождений, геологических представлений и оценки запасов руды. Также в системе предусмотрены специальные модули для моделирования и планирования открытых и подземных горных работ с различными возможностями экологического, гидрогеологического и геомеханического анализа. Данная система предоставляет небольшие возможности, но их вполне хватает для решения конкретных задач широкого профиля.

Геоинформационная система Geostat - это разработка канадских инженеров в области геоинформационных систем специального горного назначения. Данная система предоставляет пользователям возможности для моделирования, оценки запасов и планированию горного производства. Разработчики предоставляют порядка пятидесяти модулей, которые не зависят друг от друга, таким образом, пользователю предоставляется полный карт-бланш для конфигурации системы под их собственные нужды. Самыми распространенными модулями данной системы являются следующие: SectCad – для интерактивного моделирования месторождений с помощью геологических сечений, BlkCad – для интерактивного блочного моделирования месторождений, Geostat – для сбора статистики и геостатистики, GeoBase – для хранения и обработки информации по скважинам. Применение этой системы позволяет без лишних затрат использовать только необходимые для решаемых на предприятии задач.

Геоинформационная система GDM[45,46], созданная французской геологической службой BRGM, преимущественно используется на предприятиях нефтяной и газовой промышленности. Эта система обладает модульной структурой, которая располагает порядка 80 подсистемами, с независимой конфигурацией для каждого из пользователей. Данная система обладает очень развитой геостатической частью и большими картографическими функциями. В составе программных модулей имеются мощные средства обработки и анализа геофизических и геохимических

данных. Помимо оценки запасов руды и горного планирования система позволяет оценивать ресурсы подземных вод и последствия различных экологических загрязнений, а также проектирование различных подземных и надземных сооружений. Такая система позволяет произвести гибкую конфигурацию своих подсистем для пользователя своего профиля, что дает возможности максимального использования необходимых функций для решения поставленных задач.

Австралийская геоинформационная система Micromine, содержит в себе функции, предназначенные в основном для проведения геологического анализа и интерпретации информации о разведке и эксплуатации месторождений полезных ископаемых. Данная система обладает широким спектром инструментария для разработки и поддержки решения задач автоматизации горных предприятий. Среди инструментов для решения таких задач выделяют следующие: создание баз данных и их импорт в текстовые форматы или системы GPS; проверка геологических данных на предмет ошибок при их вводе; создание графиков разрезов, планов, трехмерных изображений и гистограмм; статистический анализ геологоразведочной информации; интерактивная трехмерная интерпретация разрезов и планов; каркасное моделирование рудничных тел и поверхностей; построение блочных моделей с заданным размером элементарных блоков; оценка запасов методом разрезов. Помимо решения вышеперечисленных задач, в системе Micromine имеются специализированные пакеты для обработки информации, а именно: геохимических и геофизических данных, геодезических данных с возможностью трансформации географических сетей, горных данных с возможностью проектирования карьеров и иных работ на шахтах и рудника. Большим плюсом данной системы является наличие специальных скриптов-макросов для автоматизации работ по заполнению больших объемов данных. Такая система дает возможности при минимальных затратах времени решать задачи с высокой степенью точности предоставляемых результатов[40-44].

Разработанная австралийскими инженерами геоинформационная система Whittle преимущественно обладающая функционалом для оптимизации построения и работы карьеров. В данную систему входят два специализированных пакета программ Four-X и FXMW. Пакет Four-X обладает функционалом для анализа многоэлементных месторождений и их представления в виде электронных таблиц. Пакет FXMW располагает функционалом учета множеств оболочек карьера и правил взаимодействия работы для оптимального планирования карьера с учетом горных ограничений. Система такого вида предоставляет удобные средства для оптимизации процессов создания карьеров.

Аналогичной системой оптимизации проектирования карьеров является австралийская разработка Galena для геомеханического расчета углов откоса бортов карьеров. Данная система обладает специализированными методами расчета, которые позволяют быстро получить безопасные параметры бортов сложной конструкции в самых неблагоприятных природных условиях. Широкий спектр возможностей программы позволили внедрить данный пакет на многих предприятиях горной промышленности.

Программы для моделирования систем вентиляции представлены в нескольких вариантах, но с общими принципами построения. Австралийский пакет VentSim позволяет строить трехмерное моделирование сети подземных выработок с расчетом всех параметров воздушного потока и загрязнений. Такое моделирование строится на основе нескольких экспериментов с различными характеристиками вентиляторов и других устройств, что обеспечивает высокую достоверность получаемой информации. Пакет ХРАС использует специальную базу данных для хранения данных о календарном планировании открытых и подземных горных работ. В основе алгоритма планирования лежат методы отбора выемочных блоков и расчет доли каждого из них в общем рудопотоке, для получения оптимального качества руды. XERAS – программный продукт для финансового моделирования,

расчета калькуляции себестоимости и экономических расчетов. Данные программы весьма распространены на горных предприятиях за счет дружественного интерфейса и легкой передачи данных между пользователями.

Специализированная система сейсмического контроля PASAT M предназначена для получения, накапливания и передачи информации для последующей обработки. Обработка такой сейсмической информации подразумевает определение напряжений в угольном пласте и их изменений по времени и в пространстве (аномалии напряжений, связанные с: наличием границ оставленной разработки, воздействием угольного остатка соседних пластов, активной лавой и т.п.), определение геологических неоднородностей впереди забоя, определение параметров, описывающих физико-химические свойства (модуль Юнга, постоянная Пуассона), определение грунта до начала строительных работ. Преимущества данной системы заключаются в её мобильности и простоте использования. Точность получаемых результатов соответствует заданным критериям достоверности получаемых результатов для мобильных специализированных систем горного производства.

Геоинформационная система ARP представляет собой специализированную сейсмическую систему, которая содержит в себе инструменты для регистрации и анализа колебаний грунта и настроек. Система ARP применяется для мониторинга колебаний грунта и зданий для участков опасных по толчкам массива горных пород. Данная система применяется, чтобы идентифицировать горные опасности и другие сотрясения. Эта система состоит из многочисленных беспроводных модулей, передающих данные с помощью сети GSM. Все получаемые данные собираются в специальном центре контроля опасности на поверхности. В этом центре все данные архивируются и визуализируются, а также анализируются, и интерпретируются регистрируемые опасности для зданий на поверхности. Система такого вида применяется на угледобывающих предприятиях для оценки влияния толчков на поверхностные здания.

Геоинформационная сейсмоакустическая система ARES предназначена для оценки опасности горных ударов на участках шахты. Данная система предназначена для шахт опасных по горным ударам, с возможностью применения в шахтах опасных по газу и пыли. Задачей системы является преобразование с помощью измерительных зондов скорости механических колебаний массива горных пород в электрический сигнал, последующее его усиление, фильтрация и передача на поверхность в центр геофизической станции для цифровой обработки сигналов и их компьютерную интерпретацию. Данная система ведет сейсмоакустические наблюдения в особо опасных участках шахты – лавах, с последующей оценкой опасности горных ударов. Измерительные зонды, установленные на анкерах в боковой стене штреков, преобразуют скорости механических колебаний массива горных пород в электрический сигнал. С помощью специальных средств данная система может контролировать обрывы кабеля, поляризацию сигнала и прослушивание сигнала по выбранному каналу. Данная система обладает специализированным функционалом для усиления, фильтрации и определения параметров сейсмоакустических сигналов вблизи измерительных зондов. При обнаружении крупных сейсмоакустических явлений производится многоканальная запись и анализ этих событий с синхронизацией по часам GPS. Специальные расчетные модули вычисляют распределение условных энергий сейсмоакустических явлений и активности их возникновения. Аналитические модули проводят специализированный анализ регистрируемых данных на основе статистических методов с использованием функции риска при возникновении неблагоприятных событий. Для хранения архива зарегистрированных данных используется базы данных, способные хранить большие объемы информации. Для удобного восприятия зарегистрированной информации предусмотрен специальный модуль визуализации. В целом функциональность геоинформационной системы ARES предусматривает наблюдение за

призобойными частями пластов, для мониторинга и анализа регистрируемых неблагоприятных событий.

Геоинформационная сейсмическая специализированная автоматизированная горная система ARAMIS сочетает в себе множество инструментов для определения местоположения толчков, возникающих в районе шахты, оценку их энергии и степени опасности по горным ударам на основе применения сейсмических методик. Данная система, как и все остальные, имеет модульную структуру, каждый модуль обладает специфическим функционалом, в зависимости от выполняемых им функций. Модуль обработки данных обладает инструментарием для проведения локализации очага явлений на основе выделения волн типа Р, метода окружностей и метода S-P. Определение энергии осуществляется на основе интегрального метода, а также спектрального анализа и цифровой фильтрации зарегистрированных событий. Модуль отображения результатов локализации на карте располагает возможностями для обеспечения масштабирования изображений сигналов, определения координат точки очага явления. Дополнительные модули системы ARAMIS дают возможности расчета очага и энергии толчка в автоматическом режиме работы с предоставлением оператору отчета о зарегистрированных событиях в виде сейсмограммы. Функциональность этой системы обеспечивается за счет применения искробезопасных подземных передатчиков и аналого-цифровых преобразователей. Для максимального улавливания различного спектра сигналов применяются помехозащищенные датчики – сейсмометры или низкочастотные геофоны. Поверхностный центр сбора информации обеспечен высокопроизводительным регистрирующим сервером. Система анализа и визуализации на основе алгоритмов интерпретации данных проводит соотнесение опасных событий с регистрируемыми критериями обработки. Система ARAMIS располагает большим функционалом обработки информации и всесторонними оценками опасности горных ударов на угледобывающих предприятиях.

Геоинформационная система сейсмического мониторинга GITS, разработанная ВНИМИ, представляет собой программно-технический комплекс, предназначенный для осуществления непрерывного контроля шахтного поля на предмет выявления участков и зон активизации естественных и техногенных динамических процессов происходящих в угольном пласте. Поставленные задачи удается достичь посредством использования распределенной сети датчиков. Данная система предполагает ввод и обработку «стационарной» информации (схемы подземных выработок, планов отработки полезного ископаемого, геологических разрезов, схем установки контрольных точек наблюдения) и текущей информации (ежедневные карты сейсмической активности, суточные графики акустической активности и т.д.). Данная система ГИС базируется на программном обеспечении фирмы Autodesk: RastArts – программа работы с растровыми изображениями, Softdesk – программа построения поверхностей, Vtchanical Desktop – программа твердотельного моделирования. Последовательность работы системы заключается в следующем: специальные измерительные приборы улавливают физические величины, затем преобразую их в электрические сигналы. Аналитические программы производят обработку сейсмических толчков и рассчитывают энергию, в конечном счете, происходит определение зон повышенной сейсмоопасности. Данная система оказывает большую помощь работникам угледобывающих предприятий за счет автоматизации процессов анализа происходящих в пределах наблюдаемого региона неблагоприятных явлений.

1.4. Анализ методических подходов к оценке гео- газодинамического состояния угольного пласта

При увеличении глубины разработки месторождений полезных ископаемых и усложнением горно-геологических и геомеханических факторов возрастает горное давление и снижается безопасность и эффективность ведения горных работ. Поэтому важной задачей становится

изучение напряженно-деформированного состояния (НДС) угольного пласта и окружающих выработок, а также учету данного влияния при планировании, проектировании и ведении горных работ. Фиксировать изменение НДС угольного пласта возможно при экспериментальном изучении процессов деформирования угольного пласта с учетом исходного поля напряжений в нетронутом массиве горных пород. Наличие достоверной информации о НДС угольного пласта вблизи горных выработок позволяет прогнозировать неблагоприятные проявления ГДЯ, оценивать безопасность работы в примыкающих к наблюдаемому участку выработках, а также заблаговременно предупреждать о соответствующих опасностях персонал шахт.

В настоящее время изучение напряженно-деформированного состояния угольного пласта осуществляется различными комплексными методами, использующие в своём наборе как лабораторные и аналитические исследования, так и производственные наблюдения. Каждый из методов обладает своими преимуществами и недостатками, что и даёт ограничения на их использование в определенных условиях.

Все методы оценки напряженно-деформированного состояния угольного пласта можно подразделить на три группы, различные по физическим и методологическим подходам: геологические, геомеханические и геофизические методы.

Отдельно был произведен анализ геологических методов определения состояния угольного пласта, для классификации методов по их применимости к автоматизации геоинформационных систем мониторинга динамических явлений в угольном пласте. Геологические методы основаны на анализе общей геологической обстановки, а также на визуальном осмотре горных выработок, деформированных под действием горного давления. Для точного определения величин и направлений, действующих в угольном пласте, необходимо пользоваться геомеханическими и геофизическими измерениями. Но для приближенной предварительной оценки допускается

использование результатов анализа геологического и геотехнологического состояния массива горных пород.

Вначале определяется тип массива горных пород, который может относиться к одной из четырех групп: породный массив кристаллического фундамента, область контрастно выраженной складчатости чехла платформ, слабо метаморфизованные породы чехла, а также осадочные комплексы (к которым относятся месторождения бурого угля, солей и гипса). Для первых двух типов характерно существенное проявление тектонических сил, при этом горизонтальные сжимающие напряжения могут превосходить вертикальные. В массиве третьей группы тектонические силы проявляются весьма слабо, для четвертой же группы напряженно-деформированное состояние массива определяется исключительно весом налегающих пород.

Дополнительная уточняющая информация о горизонтальных напряжениях может быть получена из анализа горизонтальных перемещений земной коры. Значительные перемещения, обычно, обусловлены высоким уровнем напряжений, действующих в горизонтальной плоскости. При этом также необходимо учитывать характеристику древних геологических структур, как трещиноватость массива. При этом в сильнотрещиноватых породах максимальные величины напряжений меньше, чем в аналогичных монолитных упругих массивах.

Одним из важных критериев предварительной оценки является сейсмическая активность района. Районы, в которых регистрируются сейсмические события высокой энергии и повторяемости, обладают большими величинами касательных напряжений. Верхний предел касательных напряжений по сейсмологическим оценкам равен 30 МПа. Обычно такие методы дают лишь качественную оценку действующих напряжений и характеризуются малой трудоемкостью.

Совместный анализ геомеханических методов определения состояния угольного пласта позволил выявить методы, которые подходят для использования в геоинформационной системе мониторинга оценки состояния

угольного пласта при непрерывном наблюдении. Геомеханические методы основаны на непосредственном измерении деформационных процессов в локальной области угольного пласта, происходящих при перераспределении напряжений в массиве горных пород. Геомеханические методы относятся к методам высокой точности измерения напряжений в угольном пласте, но при этом требуют дополнительных трудоемких лабораторных исследований физико-механических свойств массива горных пород. Среди геомеханических методов наибольшее распространение получили методы: разгрузки, гидроразрыва и изменения прироста напряжений с применением различного вида датчиков.

Все методы разгрузки керна в своей основе содержат идею зависимости между действующими напряжениями в угольном пласте и упругими деформациями восстановления элемента горной породы, которые проявляются в процессе нарушения связи этого элемента с окружающим массивом горных пород [28-33, 48].

В зависимости от применения методического и технического обеспечения при проведении измерений методы разгрузки делят на три типа:

1) схема ВНИМИ, которая основана на измерениях деформаций торца керна, обуренного кольцевой щелью;

2) схема Н. Хаста, в которой производится измерение изменения диаметра центрального отверстия, пробуренного в керне, разгруженном кольцевой щелью;

3) схема Е. Лимана, в которой проводят измерение деформаций центрального отверстия, пробуренного в керне, разгруженном кольцевой щелью.

Каждая из модификаций метода разгрузки обладает своей особенностью при практическом применении, но объединяет все эти методы то, что при измерении изменения напряжений или деформаций в массиве горных пород необходимо знать направление главных напряжений в угольном пласте.

Метод частичной разгрузки является разновидностью метода разгрузки керна и используется для измерения величины и направления главных нормальных напряжений по контуру горных выработок в крепких породах.

Изначально метод параллельных скважин был разработан в ИГД СО РАН в середине 60-х годов [12-14]. Метод параллельных скважин схож с методом частичной разгрузки, который осуществляется при обнажении скважиной. Плюсом метода параллельных скважин является то, что с его помощью можно определить уровень напряжений в массиве горных пород на расстоянии до 10 метров от стенок выработки. В основе метода гидроразрыва лежит идея, что критическое давление зависит помимо плотности породы ещё и от действующих в ней напряжений. Обычно измерения по методу гидроразрыва осуществляются по следующей схеме.

Все измерения, проводимые по методам приростов напряжений проводятся с использованием скважинных приборов, к которым относят методы: скважинных деформометров; гидравлических скважинных датчиков; упругих скважинных датчиков; скважинных фотоупругих датчиков. В настоящее время большое распространение получили методы измерения деформаций на основе скважинных деформометров. Современные деформометры позволяют измерять напряжения внутри угольного пласта порядка 50 метров. Помимо этого скважинные деформометры используются и для измерения напряженного состояния угольного пласта. Такие измерения по специальным схемам [1]. Качественной или сравнительной схемой оценки напряжённого состояния без определения величины напряжений и количественной оценки величин приростов напряжений по мере изменения деформации скважины и определения начальных напряжений в угольном пласте с использованием полной разгрузки прибора в месте измерения. Взаимосвязь деформаций и напряжений осуществляется с помощью формул теории упругости [16]. Одним из минусов методов скважинных деформометров является невозможность оценки погрешности измерений

напряжений на наблюдаемом участке угольного пласта вследствие отсутствия данных о модуле упругости породы на участке измерения.

На угольных шахтах также большое распространение получили методы гидравлических датчиков, в которых используется принцип силового воздействия на стенки скважины. Использование данного метода дает возможность получать непосредственную достоверную информацию о напряжениях угольного пласта на исследуемом участке шахты.

В методе упругих скважинных датчиков реализована идея задачи теории упругости для пластины с круговым отверстием, помещенной в поле напряжений. Т.к. измерения начинаются только после установки подобных датчиков в угольный пласт, то и величины напряжений окажутся лишь частью от реально действующих в массиве горных пород. Все используемые датчики для таких исследований могут иметь в своем составе следующие элементы: электромагнитные, электрические, магнитоупругие, упругие и др. элементами; гидравлические чувствительные элементы; фотоупругие чувствительные элементы. Большое практическое применение такие датчики напряжений получили в России, Канаде, США и других странах[9,11].

Помимо анализа геологических и геомеханических методов оценки состояния угольного пласта был проведен анализ геофизических методов определения состояния угольного пласта, на предмет применимости использования данного вида методов для автоматизированного мониторинга состояния угольного пласта в геоинформационных системах. Геофизические методы устанавливают взаимосвязь изменения физических полей в угольном пласте в зависимости от действия в нем напряжений. Эти методы используются для контроля локальных и региональных зон наблюдения за состоянием массива горных пород. Из минусов стоит отметить, что точность таких методов достаточно низка, но они позволяют получить общую оценку о динамике напряжений в угольном пласте и их перераспределении при проведении горных выработок. В основном геофизические методы

используют в своей основе методы, основанные на синтезе информации об ультразвуковых, электрометрических и звукометрических волнах.

Среди методов определения напряжений в угольном пласте ультразвуковые методы могут использоваться для прозвучивания, каротажа и отражения волн. При распространении ультразвуковых колебаний [5-8] происходит их взаимодействие с первичными полями различной физической природы, которые характеризуют горную породу как объект исследований и контроля, что приводит к изменению их параметров. Сравнивая исходный сигнал и итоговый можно выявить, какие напряжения и деформации происходят в угольном пласте [34]. Применение метода ультразвукового каротажа основано на использовании импульсных сигналов [10].

Применение методов гамма-излучений основаны на применении рентгеновского, α – и β – излучения. Данные методы из-за своей малой проникающей способности не отвечают требованиям глубинности, поэтому применимы для оценки пористости пород [40-42]. Все гамма-методы определения напряжений в массиве горных пород основаны на 3х концепциях: метод узкого пучка, метод широкого пучка и метод рассеянного гамма-излучения. В шахтных условиях наиболее применим метод широкого пучка при котором, в отличие от остальных измерения ведутся как по исходному, так и по рассеянному излучению. Ионизирующее излучение редко применяется для оценки напряженного состояния угольного пласта, так как оно обладает опасными производственными факторами и требует использование специальных средств защиты.

В основе электрометрического метода лежит взаимосвязь давления и электрического сопротивления горных пород [43-46]. Так как все горные породы относятся к диэлектрикам [21-27, 39], то для того чтобы установить уровень напряжений в массиве необходимо проведение дополнительных лабораторных измерений [20]. Такие методы дают в основном качественную

информацию о распределении напряжений в массиве и не предназначены для определения их абсолютных значений.

В основе звукометрических методов оценки напряженного состояния углепородного массива лежит принцип улавливания различных звуков при растрескивании нагруженного массива горных пород. В своей основе звукометрический метод содержит методы измерения активности акустических импульсов, которые возникают вследствие изменения напряженно-деформированного состояния массива горных пород в определенной области массива [50,51]. Точность и эффективность интерпретации данных, полученных на основе звукометрических измерений[35-37] зависит от изначальной информации о степени нарушенности угольного пласта, поэтому требуют предварительных лабораторных измерений[52]. Такие методы могут дать только качественную оценку напряженного состояния массива горных пород и не позволяют получать абсолютные значения напряжений в угольном пласте. К одному из достоинств данного метода его простоту и легкость в эксплуатации в условиях подземных горных работ, что дает большие возможности для его применения в автоматизированном мониторинговом режиме.

ВЫВОДЫ

Геоинформационные системы угольных предприятий подразделяются на системы обработки информации о состоянии технических комплексов шахты, моделирования угольного пласта и выработок, проектирование и календарное планирование горных работ. В зависимости от типа решаемых задач системы подразделяются на аналитические, оценочные, мониторинговые, управления и планирования, поддержки принятия решения и т.п. Такие системы, в зависимости от типа поставленных задач имеют различную степень развития и применения. Так наибольшее распространение на предприятиях угольной промышленности получили системы, ориентированные на оценку запасов и решение задач отдельных этапов

проектирования и планирования горных работ. Задачи же таких областей знаний, как геомеханика недр, проектирование систем вентиляции, крепления, электроснабжения и водоотлива для подземного рудника (шахты), а особенно прогнозирования динамики развития горно-пространственных ситуаций, практически не обеспечены соответствующими методами, алгоритмами и программными средствами.

Проведенный обзор позволил сделать следующие выводы:

- ✓ Анализ текущей экономической ситуации показал, что для обеспечения необходимого уровня добываемого угля нужно увеличивать интенсивность ведения горных работ, что в свою очередь повышает опасность возникновения аварий при их проведении. Для обеспечения безопасности при ведении горных работ необходимо внедрение геоинформационных систем непрерывного наблюдения за текущей ситуацией при ведении горных работ на проходческих и очистных участках шахты.
- ✓ Геоинформационные технологии применяются как при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом, так и подземным, с учетом своей специфики. При создании геоинформационных систем подземного исполнения необходимо руководствоваться правилами безопасности, что значительно усложняет внедрение подобного рода систем;
- ✓ Зарубежные геоинформационные системы для горных предприятий обладают большим арсеналом функционала для решения различных прикладных задач. Однако их применение в отечественной практике сдерживается высокой стоимостью программных и аппаратных средств, а также отсутствием на большинстве горных предприятий специалистов, способных их освоить;
- ✓ Преимущественным подходом в разработке отечественных геоинформационных систем для предприятий горной промышленности

является разработка специализированных программ на базе универсальных СУБД и стандартных графических пакетов;

- ✓ Расширение возможностей существующих универсальных геоинформационных систем дает возможность использовать их в качестве основы при создании ГИС для предприятий горной промышленности. Для решения таких задач необходимо создание дополнительных программных и аппаратных блоков, модифицирующих и дополняющих стандартный функционал ГИС новыми решениями для специфических горных задач.

Ввиду всех вышеперечисленных факторов задача разработки геоинформационной аналитической системы оценки и прогноза опасности динамических явлений в угольном пласте является актуальной и представляет научную значимость.

Работы по проведению горных выработок и отработки угля сопровождаются перераспределением исходного поля напряжений в окружающем их массиве. В результате таких работ по мере удаления от контура выработки происходит формирование специфически напряженных зон: нарушенных пород с пониженной несущей способностью; опорного давления, где уровень напряжений максимален; естественных напряжений, где влияние выработки на НДС угольного пласта практически не проявляется. Знание границ расположения каждой из указанных зон необходимо для прогнозирования возникновения неблагоприятных проявлений различных динамических явлений.

Для реализации возможности информирования работников шахты о прогнозируемых неблагоприятных воздействиях динамических явлений необходимо проводить непрерывный тензометрический мониторинг напряженных зон перераспределения давлений в массиве горных пород. А чтобы уточнять тензометрические данные о состоянии массива также нужно осуществлять качественную оценку напряженного состояния массива сейсмоакустическим методом.

Различные информационные и аналитические системы, установленные на угледобывающих предприятиях, не обладают функциональными возможностями для информирования в режиме реального времени работников шахты о происходящих вблизи них динамических явлениях. Тогда как непрерывное наблюдение и прогноз таких явлений мог бы обезопасить проведение работ на участках шахты, опасных по динамическим явлениям.

В данном разделе произведено исследование современных методов посредством разбора и изучения новых технологий из публикаций научных статей. Чтобы прогнозировать быстропотекающие динамические явления в массиве горных пород необходимо установить непрерывный мониторинг подземных участков шахты, на которых необходимо обеспечить определенный уровень безопасности ведения горных работ. На основе постоянного получения данных об оценке состояния углепородного массива с учетом заранее установленных критериев оценки и прогнозирования в зависимости от горно-геологической обстановки региона наблюдения возможно предоставлять своевременную оценку текущего регионального и локального состояния выбросоопасности и удароопасности на наблюдаемых участках. Без непрерывного мониторинга массива горных пород невозможно обеспечить безопасность ведения горных работ[38].

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИСХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗА ГЕО-ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В УГЛЕВМЕЩАЮЩЕМ МАССИВЕ

Исследование принципов формирования информационных потоков разнородной информации следует начать с оценки горно-геологических условий залегания угольного пласта, которые определяют основные параметры очистных и проходческих работ. К характеристикам залегания угольных пластов относят мощность, угол падения и его простирание.

Помимо этих данных необходимо учитывать аэрогазовые характеристики участка залегания угольного пласта, такие как концентрация метана и скорость воздушных потоков.

2.1. Система оценки формирования горно-геологических условий

Система оценки параметров, характеризующих условия залегания угольного пласта, а также его свойства можно разделить на физико-химические – характеризующиеся составом угольного пласта и геомеханическими – изменяющимися в следствии ведения горных работ на различных участках угольного пласта и перераспределения напряжений при их ведении.

В природе полезные ископаемые могут встречаться в твердом (каменный уголь, руды, драгоценные камни, мрамор и пр.), жидком (нефть, вода, рассолы) и газообразном состоянии (различные газы). Естественные скопления полезного ископаемого в земной коре, называются месторождением полезных ископаемых. Месторождения могут быть коренными и россыпными.

Горные породы под действием сил земного притяжения находятся в сжатом напряженном состоянии, которое до проведения выработки является равновесным и устойчивым. Пустоты, образованные в результате горных работ, нарушают это равновесие. В массиве, окружающем выработку, возникают напряжения – неуравновешенные силы, которые называют горным давлением. Горное давление проявляется: в виде прогиба, растрескивания и обрушения горных пород, стреляния, вывала бортов выработок, пучения почвы, горных ударов пр. Свойства горных пород обуславливаются их составом и строением. К физическим свойствам относятся такие параметры, как: плотность, упругость, прочность, тепловые, магнитные, электрические и прочие свойства. Горнотехнические свойства – это крепость, абразивность, твердость, буримость, взрываемость и пр. Изменение одних свойств, ведет к изменению других свойств. Пример:

увеличение пористости ведет к снижению плотности, прочности, упругости, теплопроводности, водопроницаемости и пр.

Свойства горных пород – горнотехнологические параметры – используются для расчетов производительности различных агрегатов, нормирования труда горнорабочих. К ним относятся: строение и сложение пород, слоистость, прочность, крепость, пористость, вязкость, упругость, твердость, абразивность, пластичность, хрупкость, буримость, разрыхляемость и др. Строение и физические свойства горных пород обуславливают безопасное и эффективное ведение горнопроходческих и очистных работ. Состояние и свойства пород определяют способ проведения выработок, тип и плотность крепи подготовительных выработок. Проявление горного давления и устойчивость выработок в значительной степени зависит от плотностных, водно – физических, прочностных и деформационных свойств пород.

Плотностные свойства – это плотность, объемная масса, удельный вес, объемный вес, насыпная объемная масса и пористость. В свою очередь пористость определяет водопоглощение, водопроницаемость, газопроницаемость, прочность. Вводно-физические свойства горных пород – естественная влажность, водопоглощение, размокаемость, размягчаемость, разбухаемость.

2.2. Анализ характера формирования информационных массивов состояния углевлещающего массива

При разработке геоинформационной системы оценки и прогноза опасности динамических явлений в угольном пласте необходимо ориентироваться на физику процессов протекающих в угольном пласте при зарождении динамического явления. Динамические явления это результат проявления горного давления и давления заключенных в породах газов и жидкостей. К динамическим явлениям относят горные удары, внезапные выбросы угля, горной породы и газа, внезапные прорывы газа, воды,

пывунов, внезапные обрушения, высыпания, отжим, стреляния горных пород. С увеличением глубины ведения горных работ интенсивность и число динамических явлений возрастает. Динамические явления характеризуются быстропротекающим характером, с длительностью порядка микросекунд. Поэтому для мониторинга таких явлений необходимо использовать аппаратуру способную фиксировать данные виды явлений. При разработке геоинформационной системы оценки и прогноза опасности динамических явлений в угольном пласте использовались датчики-зонды с дискретизацией измерения эмиссии в угольном пласте в 4000 Гц.

2.3. Аэродинамическое состояние рудничной атмосферы

Основное назначение системы аэрогазового контроля – контроль концентрации метана в атмосфере шахты. Система аэрогазового контроля должна обеспечивать:

- ✓ непрерывное централизованное слежение за параметрами рудничной атмосферы (концентрация газов, скорость движения воздуха, температура, давление, влажность) в целях текущего (оперативного) обнаружения природных и техногенных опасностей, влияющих прямо или косвенно на состояние рудничной атмосферы;
- ✓ принятие своевременных мер по обеспечению безопасности труда путем нормализации параметров рудничной атмосферы или прекращения горных работ;
- ✓ хранение информации и последующее ее использование при разработке комплексных общешахтных мероприятий по технике безопасности, при расчетах количества воздуха, подаваемого в горные выработки, а также для установления категории шахты по газопроявлениям.

Рудничная атмосфера шахты содержит в себе большое количество разнообразных газов, каждый из которых представляет свою степень опасности. Далее подробно рассмотрим различные виды газов рудничной атмосферы и их характеристики.

Атмосферный воздух – газовая оболочка, окружающая земной шар. При нормальном давлении атмосферный воздух содержит в своем объеме около 78,08% азота, 20,94% кислорода, 0,95% тяжелые инертных газов (ксенон, криптон), 0,03 % углекислого газа, легких инертных газов (неон, гелий) 0,01%. Плотность воздуха составляет 1,29 кг/м³. Водяные пары в атмосферном воздухе составляют порядка 0,1 – 7,5%, при этом они не влияют на процентное соотношение газов в атмосфере.

Рудничным воздухом называется воздух, который заполняет горные выработки. Рудничный воздух называют свежим, когда его состав существенно не отличается от атмосферного. Свежий рудничный воздух обычно поступает в подземные выработки до забоев. Чистый воздух, проходя через объекты проветривания, насыщается вредными газами и пылью и становится загрязненным (отработанным). Загрязненный воздух по своему составу отличается от атмосферного, т.к. в нем по мере его продвижения по выработкам увеличивается содержание CO₂, N. Помимо этого в его состав добавляются газы, полученные путем выделения из пород в результате деятельности человека.

Рассмотрим опасность влияния кислорода и азота. Кислород представляет собой газ без цвета, запаха и вкуса. Плотность азота составляет 1,1 кг/м³. Потребность человека в кислороде в зависимости от интенсивности выполняемой им работы варьируется от 1 до 3,5 л/мин, при отдыхе человека соответственно составляет 0,3 л/мин. Низкая концентрация кислорода около 17-18% вызывает одышку и учащенное сердцебиение. Недостаточная концентрация в 12% может привести к обморочному состоянию. Концентрация кислорода в 9% и ниже может спровоцировать смертельный исход. Ввиду всего вышеперечисленного правилам безопасности установлено безопасное содержание кислорода в рудничном воздухе которое должно быть не ниже 20% . Снижение содержания кислорода в рудничной атмосфере обусловлено окислением полезного ископаемого, древесины, работы двигателей внутреннего сгорания и повышением содержания других

газов. Азот представляет собой инертный газ без цвета, запаха и вкуса. Плотность азота составляет 0,97кг/м³. При высоких температурах (например, при ведении взрывных работ и др.) способен окисляться, образуя тем самым ядовитые газы. Содержание азота в рудничной атмосфере не нормируется регламентирующими документами безопасности ведения горных работ, но не стоит забывать, что повышение концентрации азота приводит к снижению концентрации кислорода, что представляет большую опасность.

Рассмотрим опасное влияние углекислого газа. Углекислый газ (диоксид углерода, CO₂) представляет собой бесцветный газ, который имеет слегка кисловатый запах и вкус. Плотность углекислого газа составляет 1,53кг/м³. Из-за того, что углекислый газ тяжелее воздуха он скапливается у почвы выработок. Повышение концентрации углекислого газа до 5% может вызывать учащение дыхания и наступление одышки. Концентрация углекислого газа порядка 10% может вызвать обморочное состояние. Концентрация углекислого газа более 10% для человека может угрожать его жизни. В связи с этим по правилам безопасности концентрация углекислого газа у рабочих мест не должна превышать 0,5% , а в исходящей струе – 0,75%. Причины повышения концентрации углекислого газа в горных выработках являются ведение взрывных работ, пожары, работы двигателей внутреннего сгорания, гниения органических веществ.

Одним из факторов, представляющим опасность для подземного персонала шахты является углекислотообильность, которая характеризует содержание углекислого газа в атмосфере шахты. Углекислотообильность подразделяют на абсолютную и относительную. Абсолютная углекислотообильность рассчитывается как объем выделяющегося газа в шахте за 1-цу времени. Относительная углекислотообильность это объем выделяющегося газа в шахте на 1м³ от среднесуточной добычи. Принято различать 5 категорий шахт по относительной углекислотообильности: 1) до 7; 2) 7-14; 3) 14-21; 4) свыше 21; 5) опасные по внезапному выбросу. В

зависимости от категории шахты устанавливают соответствующие нормы по подачи воздух в выработки.

Ещё одним газом, представляющим опасность для ведения горных работ является окись углерода и сероводород. Оксид углерода (CO) представляет собой газ без цвета, запаха и вкуса, он сильно ядовит. Плотность оксида углерода составляет 0,97кг/м³. При концентрации в воздухе 0,02– 0,05% оксид углерода способен вызвать легкое отравление, а при концентрации в 1% смерть наступает после нескольких вдохов. Поэтому правилами безопасности ведения горных работ на угольных шахтах установлена предельно допустимая концентрация оксида углерода в 0,0017%. Оксид углерода немного легче воздуха, поэтому он скапливается в верхних частях выработок. Предпосылками для образования оксида углерода служат взрывные работы, пожары, работа двигателей внутреннего сгорания и т.п. Сероводород представляет собой бесцветный газ с неприятным запахом, который ощущается при концентрации в воздухе более 0,0001% . Плотность сероводорода составляет 1,18. При длительном нахождении в зоне распространения сероводорода его действие является угнетающим для органов обоняния, вследствие чего запах его не ощущается. Неблагоприятное действие сероводорода заключается в вызывании сильных головных болей, и заболевание печени и легких. Образование сероводорода в угольных выработках связано с взрывными работами, гниением органических веществ, горении огнепроводного шнура. Максимально допустимое содержание сероводорода согласно правилам ведения горных работ на угольных шахтах в воздухе составляет 0,00071%.

Помимо всех вышеперечисленных газов особую опасность имеет сернистый газ и двуокись азота. Диоксид азота представляет собой газ красно-бурого цвета с резким запахом. Плотность диоксида азота составляет 1,57кг/м. Диоксид азота может вызывать раздражение слизистых оболочек глаз и органов дыхания, удушающий кашель, а в тяжелых случаях – отек легких, который наступает, не сразу, а через 4–30 ч после вдыхания.

Концентрация диоксида азота в 0,025% вызывает отравление, которое происходит немедленно. При проведении взрывных работ помимо диоксида азота образуются и другие оксиды, которые также представляют особую опасность для человека. В инструкции безопасности в качестве предельно допустимой концентрации диоксида азота установлена 0,00026%. Диоксид серы или сернистый газ это бесцветный газ с раздражающим запахом. Сернистый газ образуется при окислении или горении сульфидных руд. Вызывает раздражение слизистых оболочек глаз и дыхательных путей, отек легких. По инструкции по безопасному ведению горных работ на угольных шахтах предельно допустимое содержание в воздухе составляет 0,00038%.

Известно, что наибольшую опасность для ведения горных работ представляет газ метан. Метан относится к горючим газам без цвета, запаха и вкуса. Метан легче воздуха, его плотность составляет 0,524. Метан выделяется при разложении органических веществ без доступа к ним кислорода. Воспламенение смеси метана с воздухом происходит при температуре около 600 °С. Концентрация метана в воздухе до 5 % вызывает его горение голубым пламенем, а концентрация в 5–16% взрывоопасна. При концентрациях метана в воздухе, больших, чем 16% метан не горит и не взрывается из-за недостатка кислорода. Взрыве метана выделяет большую энергию, при которой температура может достигать 2500 °С. Сопутствующая взрыву метана ударная воздушная волна влечет за собой большие разрушения в горных выработках. Предельно допустимая концентрация метана в исходящей из забоя струе согласно инструкции по безопасному ведению горных работ должна быть не больше 1%.

Параметром, характеризующим содержание метана в рудничной атмосфере является метанообильность. Различают абсолютную метанообильность при которой подсчитывают объем выделяющегося газа в шахте за единицу времени, и относительную – при которой считают объем выделяющегося газа в шахте на 1м³ среднесуточной добычи. К причинам

взрыва метана относят плохое проветривание и неправильное распределение воздуха в горных выработках.

Всевозможных опасностей рудничной атмосферы угольной шахты необходимо вести постоянный мониторинг за концентрацией метана, т.к. он представляет наибольшую угрозу и может привести к авариям и человеческим жертвам.

2.4. Режим работы угольного предприятия

Режим работы шахт принят в соответствии с действующим трудовым законодательством Российской Федерации и характеризуется следующими показателями:

1. Количество рабочих дней в году: - для предприятия - 356; - для трудящихся - 260.

2. Продолжительность рабочей смены: - для подземных рабочих - 6 часов; - для рабочих на поверхности - 8 часов.

3. Количество рабочих смен в сутки: - на подземных работах 4, в том числе 3 по добыче угля и 1 ремонтно-подготовительная; - на поверхности - 3.

4. Продолжительность рабочей недели: - для предприятия - семидневная; - для трудящихся - пятидневная рабочая неделя с двумя выходными днями по скользящему графику.

Режим работы автоматизированной геоинформационной системы оценки и прогноза опасности динамических явлений в угольном пласте – круглосуточный с остановками на техническое обслуживание в течение первой половины ремонтных смен, в которых происходит перестановка и реконфигурирование мест расположения и номеров датчиков-зондов измерения сейсмоакустической эмиссии массива горных пород вслед за продвижением фронта очистных и подготовительных работ.

2.5. Формирование информационных массивов обработки разнородных информационных потоков для осуществления расчета опасности угольного пласта и прогноза возникновения динамических явлений

Процесс возникновения динамического явления зависит от факторов различной природы, поэтому необходимо собирать разнородную информацию о подготовительных процессах, сортировать и масштабировать для её корректного учета, анализа и оценки опасности ведения горных работ в близлежащих зонах к неблагоприятному явлению.

Весь алгоритм сбора, комплексирования и совместного анализа разнородной информации состоит из четырех этапов. На первом этапе «Получение данных» включает в себе сбор информации о текущем состоянии угольного пласта, информации о состоянии рудничной атмосферы с технических средств аэрогазового контроля и состоянии агрегатов выемочных комплексов. На втором этапе «Ведение базы данных» осуществляется запись первичных данных мониторинга угольного пласта, с формированием базы данных контроля состояния рудничной атмосферы данными, полученными от технических средств аэрогазового контроля, с учетом состояния функционирования выемочных комплексов. На третьем этапе «Обработка и анализ» включает в себя выполнение алгоритмов обработки первичных данных мониторинга состояния угольного пласта, анализ напряженно-деформированного состояния угольного пласта с учетом влияющих на него факторов величины показателей состояния рудничной атмосферы и статуса работы выемочных комплексов. На четвертом этапе «Прогноз» происходит выполнение моделей и алгоритмов расчета прогноза оценки выбросо- и удароопасности состояния угольного пласта при минимальных затратах на вычисление оптимальной функции аппроксимации входных данных с формированием наглядной статистики и отчетности по прогнозу возможных неблагоприятных проявлений возникающих

динамических явлений. Структурная схема сбора, комплексирования и совместного анализа разнородной информации приведена на рисунке 1.

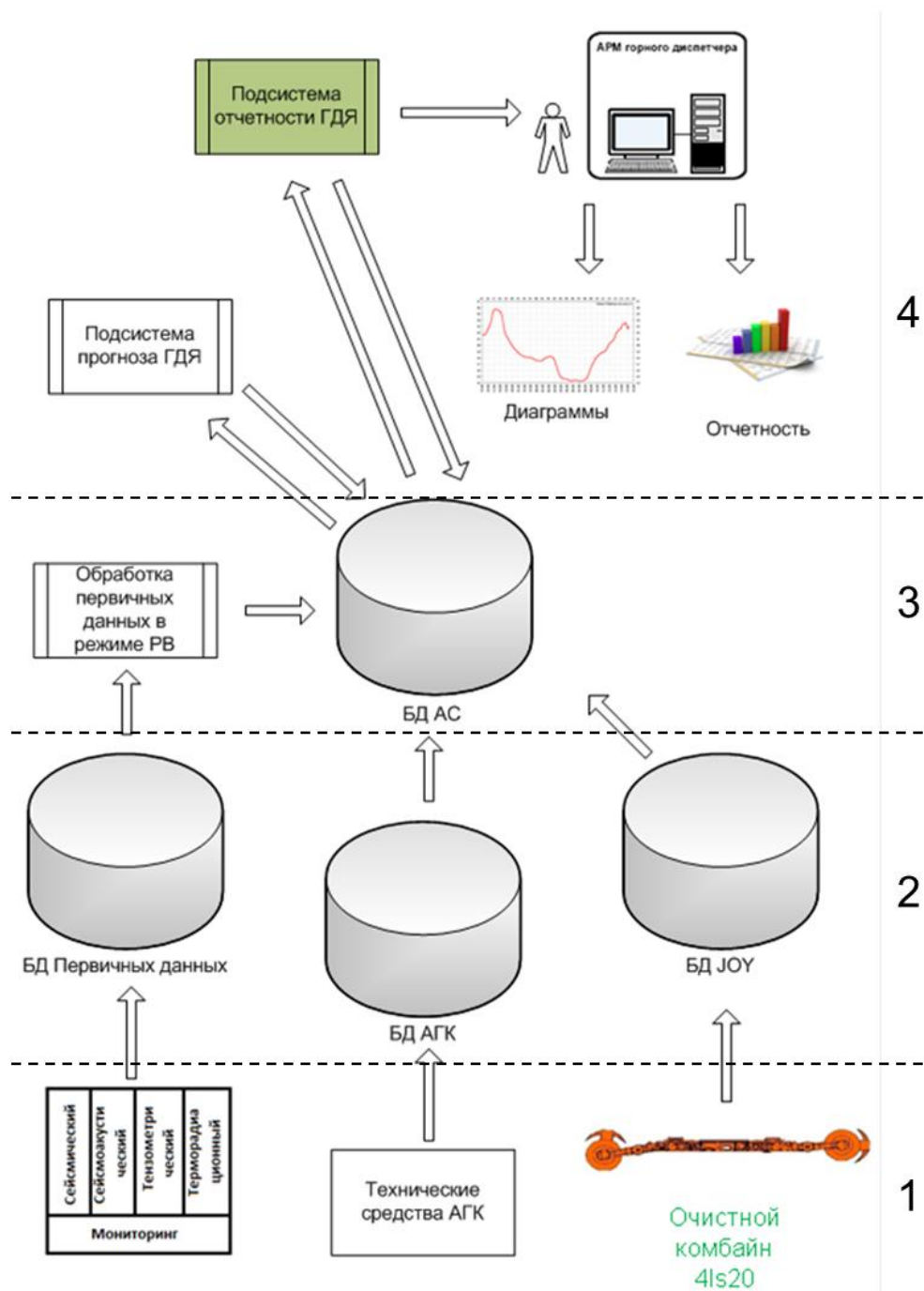


Рисунок 1 – Структурная схема сбора, комплексирования и совместного анализа разнородной информации

Первый этап «Получение данных» включает в себя процесс получения данных от технических устройств мониторинга состояния угольного пласта. К таким видам устройств относятся: сейсмические датчики, информация с

которых показывает состояние угольного пласта в целом; сейсмоакустические датчики, которые осуществляют наблюдение за состоянием призабойного пространства лавы; информация, получаемая от тензометрических датчиков показывает величину изменения напряжений или деформаций, происходящих в угольном пласте.

Каждый датчик-зонд записывает данные получаемые по трем перпендикулярным друг другу плоскостям, что позволяет производить мониторинг состояния в трехмерном пространстве. Информация, поступает с сейсмических и сейсмоакустических датчиков с частотой 2000 измерений в секунду, тогда как частота информации, поступающей с тензометрических датчиков равна 100 Гц. Обновление показателей технических средств аэрогазового контроля и данных о состоянии выемочных комплексов происходит раз в минуту. Алгоритм получения данных заключается в следующем: данные из угольного пласта полученные с помощью различного рода датчиков-зондов регистрируются специальным устройством и передаются по каналу связи до сервера хранения информации. При получении информации сервером с помощью специальной программы-драйвера производится регистрация полученных данных, после чего они заносятся в специальную промышленную базу данных. В тоже время информация о состоянии рудничной атмосферы, поступающая с датчиков метана шахты через специальный коллектор также заносится в базу данных. Состояние выемочных комплексов фиксируется с помощью специально установленных на комбайнах устройствах считывания и передачи информации, после чего по каналам связи передается для хранения в специализированную базу данных состояния комбайна, для того чтобы запрашивать эту информацию необходимо настроить специальный коллектор опроса базы данных состояния проходческих комбайнов.

Совместный анализ информации полученной различными методами как косвенными, так и прямыми методами оценки напряженно-деформированного состояния угольного пласта позволяет с большой долей

уверенности идентифицировать подготовительные процессы различных неблагоприятных проявлений динамических явлений и заблаговременно проинформировать работников шахты об опасности ведения горных работ на участках с превышением заданного уровня опасности по внезапным выбросам и горным ударам.

На втором этапе «Ведение базы данных» информация, полученная с технических устройств, записывается в хранилища первичных данных. Такие данные с сейсмических и сейсмоакустических датчиков поступает со скоростью четыре тысячи измерений в секунду. Для обеспечения сбора, хранения, последующей обработки и визуального представления таких больших объемов архивных данных необходимо использовать специализированные промышленные базы данных. Архитектура таких баз данных обычно состоит из четырех частей: сбор данных, ведение архива, управление потоками данных и анализ информации.

Информация, полученная с датчиков по наблюдению за состоянием углепородного массива, хранится в базе данных в трех тегах, каждый из которых соответствует направлению координатной плоскости. Знание местоположения конкретного датчика и информации о зарегистрированных им событиях позволяет произвести локацию эпицентра события в пространстве, а также оценить степень опасности влияния этого явления на подземные сооружения шахты и на планы ведения горных работ.

Система наблюдения позволяет в режиме реального времени отобразить получаемые данные по каждому задействованному в работе датчику или группе датчиков (очистной забой, проходческий забой и т.д.), что дает возможность убедиться в исправности всех датчиков системы. Для идентификации момента времени сбоя оборудования разработана специальная возможность отображения архивных данных за различные интервалы времени при изменяемом масштабе величины сигнала.

Для учета информации о рудничной атмосфере в различных частях шахты, получаемой с технических средств аэрогазового контроля,

используется специализированная база данных аэрогазового контроля, которая позволяет хранить данные рудничной атмосферы на локальных участках, такие как: концентрация газов, скорость движения воздуха, температура, давление и влажность. Своевременная обработка и анализ этих данных позволяет разрабатывать комплексные общешахтные мероприятия по технике безопасности. Знание таких параметров дает возможность принимать своевременные меры по обеспечению безопасности труда путем нормализации параметров рудничной атмосферы с помощью расчета оптимального количества воздуха, подаваемого в горные выработки.

Получение данных о состоянии выемочного комплекса и скорости подвигания лавы важно для точности расчета прогноза динамических явлений. Информация с технических средств очистного комбайна собирается в специальную базу данных параметров комбайна и содержит в себе данные о скорости и направлении движения комбайна, его задействованных мощностях, а также значения величин подвигания проходческих и выемочных комплексов в ежеминутном интервале измерения.

На этапе «Обработка и анализ» производится анализ первичной информации, объединение знаний, полученных с различных подсистем, и формирование комплексной оценки состояния угольного пласта.

В ходе анализа первичной информации, поступающей с датчиков, с помощью использования специальных фильтров, основанных на знаниях геологических и геофизических характеристик полезного ископаемого конкретного производственного объекта и последующих математических преобразований, выявляются данные, свидетельствующие об обнаружении динамических (сейсмических) очагов критических деформаций и квазистатического движения в угольном пласте (оседание пород, формирование мульды сдвижения и т.д.), которые заносятся в общую базу данных выявленных событий.

При сопоставлении текущей и архивной информации о напряженно-деформированном состоянии угольного пласта, данных системы

аэрогазового контроля и параметров работы комбайна производится оценка типа природы и степени опасности геодинамического явления. Скорость нарастания опасности зависит от комплексного влияния факторов производственного процесса при добыче полезного ископаемого и опасности динамических явлений в угольном пласте.

После этого с учетом закономерностей, выявленных при анализе архивных данных, и с учетом текущего состояния объекта наблюдения по специальным алгоритмам производится расчет прогноза опасности возникновения динамических явлений. При построении прогноза в рассмотрение принимаются факторы различной природы, а также их взаимное влияние на зависимый параметр.

Так как динамические явления, протекающие в угольном пласте, относятся к категории быстропротекающих процессов, то задача анализа текущей динамической обстановки и вычисление прогноза возникновения динамических явлений становится одной из приоритетнейших. На этапе «Прогноз» вычисляется значение функции состояния опасности возникновения динамических явлений в зависимости от текущих параметров, влияющих на изменение оценки опасности динамических явлений в угольном пласте.

Статистические методы экстраполяции позволяют рассчитывать прогноз значений временного ряда на перспективу, т.е. условное продолжение в будущее наблюдаемых тенденций и закономерностей временного ряда, развитие которых в прошлом и настоящем достаточно хорошо известно. К недостаткам данного метода относятся его краткосрочный характер, малая достоверностью и нестабильность.

Совместное применение методов экстраполяции и нейросетевых технологий при прогнозировании быстропротекающих событий позволяет в зависимости от интервала прогноза позволяет оперативно выбирать наиболее подходящий метод при заданной входной выборке временного ряда динамических событий.

С этой целью в диссертационной работе разработана методика определения состояния опасности возникновения динамических явлений с учетом разнородных факторов, влияющих на безопасность ведения горных работ.

ВЫВОДЫ

1. В ходе проведенного исследования разнородных влияющих факторов на оценку и прогноз опасности возникновения гео- и газодинамических явлений в угольном пласте были отобраны информационные потоки разнородных факторов, влияющих на оценку и прогноз гео- газодинамических явлений в углевмещающем массиве был произведен анализ

2. Анализ факторов влияющих на оценку опасности ведения горных работ и методов измерения такого влияния позволил выявить целесообразность использования и преобразования информационных потоков для комплексной локальной и региональной оценки опасности динамических явлений в угольном пласте.

3. Проведенное исследование по совместному учету факторов различной природы на оценку опасности динамических явлений в угольном пласте позволило выявить механические характеристики, которые необходимо учитывать при проведении геоинформационного пространственного мониторинга безопасности ведения горных работ на угольных шахтах.

3. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ МНОГОФАКТОРНОЙ ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ В УГОЛЬНОМ ПЛАСТЕ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

Оценка опасности угольного пласта производится на основе анализа текущего состояния массива горных пород. Для обеспечения определенного уровня достоверности при прогнозировании быстропротекающих процессов в угольном пласте необходимо проводить непрерывный мониторинг параметров различной природы, характеризующих как оценку состояния углепородного массива, так и средств контроля рудничной атмосферы шахты и режимов работы подземных очистных комплексов. Различное сочетание всех влияющих факторов оказывает большое значение на величину прогноза возникновения и неблагоприятного проявления различных динамических явлений, а также на расчет опасности динамических явлений в угольном пласте на безопасность ведения горных работ в наблюдаемых участках шахты. Для учета начальных и граничных значений влияющих факторов, а также их совместного действия на оценку опасности угольного пласта была поставлена задача разработки многофакторной модели оценки опасности динамических явлений в угольном пласте. Такая модель должна обеспечивать своевременную обработку величин влияющих факторов, а также предоставлять оценку состояния массива горных пород с установленным уровнем достоверности.

3.1. Обоснование метода многофакторного моделирования оценки опасности динамических явлений в угольном пласте

Исследование объективно существующих связей между динамическими явлениями, возникающими в угольном пласте и сейсмическими и сейсмоакустическими активностями является главной задачей, лежащей в основе геоинформационной системы оценки и прогноза опасности динамических явлений в угольном пласте. В процессе статистического исследования зависимостей изменения количества

активностей и их энергии с вероятностью возникновения и неблагоприятного проявления последствий динамических явлений, возникающих в угольном пласте вскрываются причинно-следственные отношения между явлениями, что позволяет выявить факторы (признаки) оказывающие существенное влияние на вариацию изучаемых явлений и процессов. Причинно-следственные отношения – это связь явлений и процессов, когда изменении одного из них – причины – ведет к изменению другого – следствия [43,44,48].

Причина – это совокупность горно-геологических условий залегания угольного пласта, параметры состояния рудничной атмосферы, режимы ведения горных работ и пространственно-распределенные факторы, действие которых приводит к появлению следствия. Причинные связи носят всеобщий и многообразный характер, и для обнаружения причинно-следственных связей необходимо отбирать отдельные динамические явления, происходящие в угольном пласте и изучать их изолированно. Особое значение при исследовании причинно-следственных связей имеет выявление временной последовательности: причина всегда должна предшествовать следствию, однако не каждое предшествующее динамическое событие следует считать причиной, а последующее следствием. В реальной социально-экономической действительности причину и следствие необходимо рассматривать как смежные явления, появление которых обусловлено комплексом сопутствующих более простых причин и следствий. Между сложными группами причин и следствий возможны многозначительные связи, когда за одной причиной будет следовать то одно, то другое действие или одно действие имеет несколько различных причин.

Чтобы установить однозначную причинную связь между динамическими явлениями (в силу быстропотекающего характера необходимо точная их классификация по местоположению) или предсказать возможные следствия конкретной причины, необходима полная абстракция от всех прочих явлений в исследуемой временной или пространственной среде. Приемы абстракции часто применяются при изучении взаимосвязей

между двумя признаками (парной корреляции). Из-за сложности изучаемых динамических явлений очень трудно выявить причинно-следственные связи между динамическими явлениями и сейсмическими эмиссиями. Взаимное переплетение факторов различной природы неизбежно приводит к некоторым ошибкам в определении причины и следствия возникновения динамического явления в угольном пласте.

Задачи корреляционного анализа сводятся к измерению тесноты известной связи между варьирующими факторами оценки опасности динамических явлений в угольном пласте, определению неизвестных причинных связей (причинный характер которых должен быть выяснен с помощью теоретического анализа) и оценки факторов, оказывающих наибольшее влияние на результативный признак.

Задачами регрессионного анализа являются выбор типа модели (формы связи), установление степени влияния независимых факторов оценки опасности на вероятность возникновения динамического явления в угольном пласте и определение расчётных значений опасности динамических явлений (функции регрессии).

Корреляционный и регрессионный анализ обычно проводится для ограниченной по объёму совокупности, в виду сложности измеряемых динамических процессов точно выявить ситуации с влиянием только заданных параметров невозможно. Поэтому показатели регрессии и корреляции – параметры уравнения регрессии, коэффициенты корреляции и детерминации могут быть искажены действием случайных факторов. Чтобы проверить, насколько эти показатели характерны для всей генеральной совокупности, не являются ли они результатом стечения случайных обстоятельств, необходимо проверить адекватность построенных статистических моделей оценки опасности динамических явлений в угольном пласте.

При численности объектов анализа до 100 единиц возникает необходимость проверки значимости (существенности) каждого

коэффициента регрессии. При этом выясняют насколько вычисленные параметры характерны для отображения комплекса условий: не являются ли полученные значения параметров результатами действия случайных причин. Значимость коэффициентов простой линейной регрессии (применительно к совокупностям, у которых $n < 100$) осуществляют с помощью t-критерия Стьюдента[49].

Факторы горно-геологических условий залегания пласта, состояния рудничной атмосферы участка шахты и статистического распределения зарегистрированных очагов в пространстве представляются булевыми значениями 0 и 1. Тогда как зависимая от них функция оценки опасности динамического явления в угольном пласте может принимать непрерывные значения в интервале от 0 до 1. Поэтому адекватного представления модели оценки и прогноза динамических явлений в угольном пласте была выбрана корреляционная модель.

3.2. Описание многофакторной модели оценки опасности динамических явлений в угольном пласте

Для объективного моделирования сложных быстропротекающих динамических процессов, к которым относятся различные гео- и газодинамические процессы, происходящие в массиве горных пород, необходимо использовать многофакторные модели для учета факторов различной природы. Среди факторов различной природы как геофизических, так и статистических можно выделить факторы, оказывающие наибольшее влияние на процесс формирования зарождения очага динамического явления. Все влияющие факторы можно разделить на действующие и латентные, которые в силу неполноты знаний о протекающих процессах пока невозможно оценить. Эти факторы можно разделить по группам на (полужирным начертанием отмечены факторы, степень влияния которых на формирование результирующего процесса оказывает действующее значение):

✓ Факторы, учитываемые при ведении мониторинга состояния массива горных пород: **количественное значение активностей, значения энергетических составляющих эмиссий, местоположение источника явления относительно забоя и величина опасной зоны**, прочность и изменчивость прочности угля, трещиноватость, наличие зеркал скольжения, форма забоя, количество дренажно-разгрузочных скважин, способ управления кровлей, наличие целиков на соседних пластах[24-26];

✓ Факторы, получаемые из данных от технических средств аэрогазового контроля: **содержание метана** и угольной пыли, влажности, зольности, **скорость воздушных потоков**, измерения содержания оксида углерода;

✓ Факторы, учитывающие информацию о состоянии выемочных комплексов: **работа/простой**, тип выемочного механизма и скорость выемки;

✓ Статистические факторы: **плотность распределения событий, плотность распределения энергии событий.**

Функция опасности возникновения динамических явлений и оценки состояния массива горных пород в общем виде можно записать формулой: $S = f(F_1, F_2, \dots, F_n)$, где F_i – факторы, влияющие на оценку опасности возникшего явления. Такая функция состояния опасности S формируется из факторов F_i , характеризующих параметры временного ряда, данные о состоянии рудничной атмосферы, а также информацию о режимах работы и функционировании подземного горного оборудования и статистических закономерностях обработки информации. В приложении А1 и А2 представлены последовательность и структура обработки пространственно-распределенных данных в геоинформационной системе оценки и прогноза опасности динамических явлений в угольном пласте. Далее рассмотрены влияющие факторы на оценку состояния массива горных пород, а также их начальные и граничные условия применения более подробно [27,28].

3.2.1. Влияющий фактор «Интенсивность подвигания забоя»

Фактор интенсивности подвигания забоя играет важную роль при прогнозе опасности влияния динамического явления на безопасность ведения горных работ, т.к. скорость подвигания забоя напрямую влияет на возникновение внезапных выбросов угля и породы.

Данный фактор измеряется расстоянием, на которое перемещается забой выработки за определённый промежуток времени. Значение фактора устанавливается равным 1, если подвигание забоя больше чем n метров в единицу времени, иначе значение фактора устанавливается равным 0.

Формально фактор подвигания забоя можно записать в виде: $F_{пз} = \begin{cases} 1, & Pz \geq n \\ 0, & Pz < n \end{cases}$,

где Pz – подвигание забоя в метрах за выбранный интервал времени, n – безопасная величина подвигания забоя в метрах за выбранный интервал времени.

Другими словами цифра 1 (опасно) означает, что выбранный фактор вошел в зону, когда его влияние становится значимым на результирующую функцию опасности возникновения газо- и геодинамических явлений. Величина опасной скорости подвигания забоя зависит от глубины разработки выработок. Так при скорости разработки меньше 1 м/смену опасность возникает лишь с глубины более 550 м. Но, при возрастании скорости подвигания забоя до 2,5 м/смену, для обеспечения безопасности по внезапным выбросам необходимо начинать дегазацию угольного пласта уже с глубины разработки $H \geq 300$ м. Поэтому опасное значение величины подвигания забоя должно устанавливаться для каждого пласта отдельно, после анализа соответствующей глубины разработки угольного пласта в конкретных условиях угольного бассейна.

При ведении горных работ не всегда есть возможность точно получать значения подвигания забоя, поэтому можно использовать влияющий фактор «Состояние выемочных комплексов». Значение этого фактора устанавливается равным 0, если выемочное оборудование не работает. В

противном случае устанавливается значение 1. Значение данного параметра имеет очень большое влияние, т.к. одно значение количества зарегистрированных активностей в единицу времени при работающем оборудовании показывает неопасное состояние работы в данных условиях, в тоже время такое же количество активностей при отсутствии работ может говорить о высоком уровне опасности и о приближающемся горном ударе.

Получение данных о параметрах и режимах работы очистного комплекса JOY производится с помощью штатного программно-технического комплекса. Требуемая информация берется с сервера системы JNA. Далее приведены параметры очистных комплексов, которые учитываются при расчете фактора состояния выемочных комплексов: задействованный орган (левый/правый), каретка подачи, пройденный путь комбайна, пройденный путь комбайна в холостом режиме, пройденный путь в рабочем режиме, работа лавного конвейера. Формально фактор работы оборудования можно записать в виде:

$$F_{PO} = \begin{cases} 0, & Ro > 0 \\ 1, & Ro = 0 \end{cases}, \quad \text{где } Ro - \text{ параметр, показывает влияние работы оборудования на фактор состояния выемочных комплексов.}$$

Данный фактор имеет большую степень влияния: одинаковое количество регистрируемых активностей в единицу времени в массиве горных пород при работающем оборудовании может означать неопасное состояние, а при неработающем оборудовании такое количество активностей уже может означать достаточно большой уровень опасности возникновения динамических явлений.

3.2.2. Влияющий фактор «Количество импульсов в единицу времени»

Значение фактора учета количества импульсов в единицу времени устанавливается равным 1, если по одному из 2х критериев: «Критерий критического превышения» и «Критерий двух точек» получены значения, которые свидетельствуют об ухудшении общей обстановки опасности

возникновения неблагоприятных проявлений динамических явлений в соответствующих участках ведения горных работ, иначе значением фактора устанавливается 0.

В соответствии с инструкцией по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля (породы) и газа расчет значений текущего прогноза выбросоопасности по акустической эмиссии горного массива должен осуществляться по следующим критериям.

Формально фактор учета количества импульсов в единицу времени можно представить в виде формулы:
$$F_{имп} = \begin{cases} 1, & K_{кр} \geq n \text{ или } K_{двм} \geq m \\ 0, & K_{кр} < n \text{ или } K_{двм} < m \end{cases},$$
 где $K_{кр}$ – расчетное значение критерия критического превышения, $K_{двм}$ – расчетное значение критерия двух точек, n – безопасная величина количества активностей рассчитываемых по критерию критического превышения в определенные интервалы времени для конкретных геологических условий залегания пласта, m – безопасная величина количества активностей рассчитываемых по критерию двух точек в определенные интервалы времени для конкретных геологических условий залегания пласта.

Критерий критического превышения

Характерным признаком входа забоя в опасную зону считается внезапное возрастание активности по сравнению с её средним значением: $N_{кр} \geq p \cdot \bar{N}_к$, где $N_{кр}$ - активность, при которой выдается прогноз «опасно», p – коэффициент, значение которого принимается в зависимости от активности на опорном интервале $\bar{N}_к$ и должен определяться на основе предварительного анализа акустической активности призабойной зоны в спокойном состоянии.

В соответствии с РД 05-350-00 для подготовительных забоев коэффициент p принимается равным 10, а для очистных забоев p принимается равным 30. При этом критерии к учету принимаются все импульсы, проявившиеся в интервале учета (час, смена, сутки).

Критерий двух точек

Критерий «двух точек» - это возрастание средней активности в двух последовательных интервалах осреднения на 5 или 10%, удовлетворяющей следующим условиям: $\frac{\bar{N}_{k+1} - \bar{N}_k}{\bar{N}_k} \cdot 100 \geq q$, где q – показатель в процентах, который принимается равным 5, если активность $N_{k+1} \geq 10$ имп/час (сут, смена) и 10 при $C < N_{k+1} < 10$ имп/час (сут, смена). Здесь C – уровень активности, ниже которого критерий «двух точек» не применяется ($C \geq 2$ имп./ч).

3.2.3. Влияющий фактор «Мощность зарегистрированных явлений»

Значение фактора учета количества энергии зарегистрированного в интервал времени принимается равным 1, если превышен уровень потенциальной выбросоопасности пласта, иначе устанавливается значение 0.

Формально фактор учета количества импульсов в единицу времени можно представить в виде формулы: $F_{ЭНЕР} = \begin{cases} 1, & W_p > n \\ 0, & W_p < n \end{cases}$, где W_p – значение потенциальной энергии выбросоопасности пласта, n – предельное безопасное значение величины потенциальной энергии выбросоопасности пласта при конкретных геологических условиях разработки угольного пласта и условиях залегания пласта.

Энергия зарегистрированного импульса рассчитывается через виброскорость переносимых им частиц по формуле:

$$v = \frac{dx}{dt} = \omega S_{\text{пик}} \cos(\omega t) = V_{\text{пик}} \cos(\omega t) = V_{\text{пик}} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right),$$

где $\omega = 2\pi f$ – угловая частота, $S_{\text{пик}}$ – максимальное смещение точки от исходного положения, t – время.

Энергия горного давления (упругого восстановления пласта) определяется по формуле: $W_y = \frac{\sigma_{cp}^2}{2 \cdot E}$, где σ_{cp} – среднее напряжение, МПа,

принимаемое равным давлению налегающей толщи пород γH (γ – объемный вес пород, H – глубина от поверхности); E – модуль упругости угля, МПа.

Потенциальная выбросоопасность пласта определяется суммой энергии горного давления W_y и энергии газа, заключенного в пласте и способного к быстрому газовыделению W_r . Определение фактической выбросоопасности забоев горных выработок с учетом параметров технологии выемки угольного пласта производится по критерию: $B = (W_r + 0,075 \cdot W_y) \cdot l_0 / l_k - 0,15$, где: l_0 – сменная скорость подвигания забоя (м/смену) или глубина заходки (м); l_k – величина зоны разгрузки и дегазации в призабойной части пласта (м). При значении показателя $B < 0$ забой горной выработки не опасен, а при $B \geq 0$ забой выбросоопасен.

3.2.4. Влияющий фактор «Состояние рудничной атмосферы»

Получение данных о состоянии рудничной атмосферы производится с помощью шахтной системы аэрогазового контроля (АГК). Непосредственно информация по каждому датчику, расположенному в зоне ведения очистных работ берется с сервера системы АГК. Информация о состоянии технических средств аэрогазового контроля хранится в специализированной базе данных АГК, которая в специальном виде хранит данные рудничной атмосферы, такие как: концентрация газов, скорость движения воздуха, температура, давление и влажность. Анализ таких данных позволяет разрабатывать комплексные общешахтные мероприятия по технике безопасности. Знание этих параметров дает возможность принимать своевременные меры по обеспечению безопасности труда путем нормализации параметров рудничной атмосферы с помощью расчета оптимального количества воздуха, подаваемого в горные выработки.

Значение фактора состояние рудничной атмосферы устанавливается 0, если оценка выбросоопасности не превосходит критическую, и 1 в противоположном случае.

Формально фактор состояние рудничной атмосферы можно представить в виде формулы: $F_{\text{МЕТ}} = \begin{cases} 1, & C_{\text{кр}} \geq C_{\text{ДОП}} \\ 0, & C_{\text{кр}} < C_{\text{ДОП}} \end{cases}$, где $C_{\text{кр}}$ – критическое значение концентрации метана при взрывании, $C_{\text{ДОП}}$ – предельно допустимое безопасное значение величины критической концентрации метана при конкретных условиях залегания пласта.

В соответствии с РД-350-00 расчет оценки выбросоопасности забоя осуществляется следующим образом. Для расчета критического значения концентрации метана при взрывании использую формулу:

$C_{\text{кр}} = 13,3 \cdot \frac{S_{\text{нр}} l_n \gamma}{Q_{\text{ср}}} + C_{\text{ф}}$, где $C_{\text{ср}}$ – среднее значение расхода воздуха в месте

установки прогнозных датчиков, определяемое по формуле:

$$Q_{\text{ср}} = \frac{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n}{n}, \left[\text{м}^3 / \text{мин} \right].$$

Если зарегистрированное значение $C_{\text{max}} < C_{\text{ср}}$, зона не опасна по внезапным выбросам угля и газа.

3.2.5. Влияющий фактор «Расстояние от очага до ближайшего производственного участка»

В соответствии с инструкцией по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих угольные пласты, склонные к горным ударам (РД-328-99) по методике регионального прогноза зон активизации геомеханических процессов с учетом зарегистрированных сейсмических и сейсмоакустических сигналов с их характеристиками (время регистрации, координаты и энергии сейсмических событий) рассчитываются текущие положения зон опасного влияния на состояние массива горных пород

событий с энергией свыше E (Дж). Радиус объемной зоны влияния отдельного события определяется по формуле: $R_{OBZ} = R(E_k) + 0,5 \cdot A$, где R_{OBZ} – расстояние (радиус) от центра i -го очага события с энергией E_i на котором энергия уменьшается до безопасного уровня E_k , неспособного привести к разрушению пород вблизи выработки; A – погрешность определения координат события.

Координаты точек сферы опасной зоны влияния очага события можно рассчитать по формулам:

$$\begin{cases} x_{озв} = x_я + R \cdot \sin \theta \cdot \cos \varphi \\ y_{озв} = y_я + R \cdot \sin \theta \cdot \sin \varphi, \text{ при } \theta \in [0, \pi], \varphi \in [0, 2\pi], \text{ где} \\ z_{озв} = z_я + R \cdot \cos \theta \end{cases}$$

$x_{i\hat{a}\zeta}, y_{i\hat{a}\zeta}, z_{i\hat{a}\zeta}$ – координаты сферы опасной зоны влияния, $x_{\bar{y}}, y_{\bar{y}}, z_{\bar{y}}$ – координаты эпицентра зарегистрированного явления.

Чтобы вычислить попадает ли забой в опасную зону влияния динамического события необходимо, чтобы выполнялась совокупность

неравенств:
$$\begin{cases} x_{\bar{л}} \leq x_{озв} \leq x_{\bar{n}} \\ y_{\bar{л}} \leq y_{озв} \leq y_{\bar{n}}, \text{ где } x_{\bar{e}}, y_{\bar{e}}, z_{\bar{e}} - \text{координаты датчика по левому борту} \\ z_{\bar{л}} \leq z_{озв} \leq z_{\bar{n}} \end{cases}$$

ближайшего забоя от эпицентра зарегистрированного явления, $x_{\bar{i}}, y_{\bar{i}}, z_{\bar{i}}$ – координаты датчика по правому борту ближайшего забоя от эпицентра зарегистрированного явления.

Степень опасного влияния различается: в случае если неблагоприятное явление располагается в плоскости забоя, то величина опасной зоны влияния этого явления снижается пропорционально расстоянию. Если очаг явления и забой расположены в разных плоскостях, то величина опасной зоны явления уменьшается пропорционально квадрату расстояния.

Расстояние между очагом явления и датчиком можно рассчитать по формуле:
$$R_{кр} = \sqrt{\sum_{i=1}^3 (K_{\bar{д}} - K_{\bar{я}})^2} = \sqrt{(X_{\bar{д}} - X_{\bar{я}})^2 + (Y_{\bar{д}} - Y_{\bar{я}})^2 + (Z_{\bar{д}} - Z_{\bar{я}})^2}, \text{ где } R_{кр} -$$

расстояние между очагом явления и датчиком, K_d – координаты датчика, K_j – координаты явления.

Значение фактора учета зоны опасного влияния устанавливается равным 1, если радиус опасной зоны влияния явления больше расстояния между центром явления и датчиком, находящемся в забое, и 0 – если объемная зона не затрагивает участков шахты или зона влияния расположена в другом горизонте. Схема положения забоя и зарегистрированного явления в пространстве представлена на рисунке 2. Формально фактор учета зоны опасного влияния явления можно представить в виде: $F_{OЗВ} = \begin{cases} 1, & R_{кр} \leq R_{OЗВ} \\ 0, & R_{кр} > R_{OЗВ} \end{cases}$, где $R_{кр}$ – расстояние между очагом явления и датчиком, $R_{OЗВ}$ – значение величины опасной зоны влияния зарегистрированного явления.

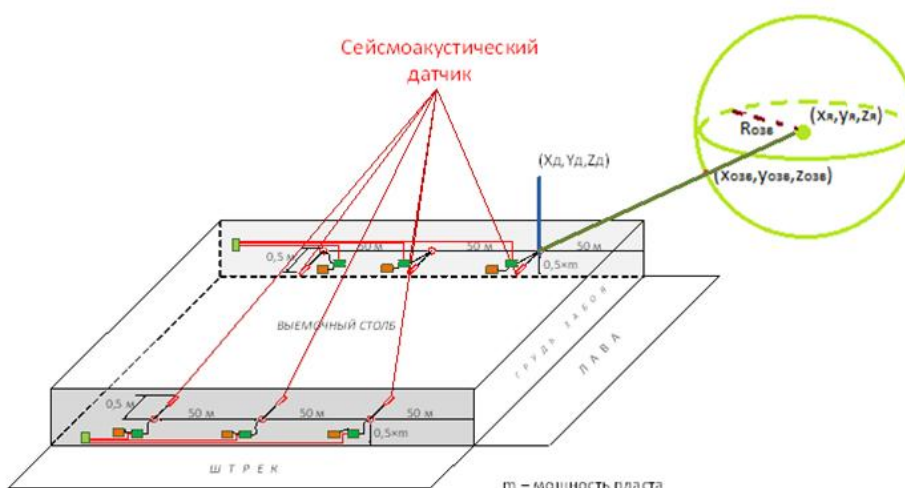


Рисунок 2 – Положение опасного явления в пространстве относительно забоя

3.2.6. Влияющий фактор «Изменение состава амплитудно-частотных характеристик искусственного сигнала»

В соответствии с инструкцией по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля (породы) и газа (РД 05-350-00) для оперативного заключения об опасности (неопасности) забоев в процессе ведения очистных и проходческих работ применяется текущий

акустический прогноз выбросоопасности по критерию изменения амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) искусственного сигнала.

Можно сделать вывод что участок, на котором проводятся исследования по прогнозу динамических явлений, вошел в зону влияния комбинированной аномалии (зона повышенного горного давления, совместно с зоной трещиноватости) если в процессе ведения горных работ за цикл заходки комбайна спектральные и амплитудные характеристики удовлетворяют следующим условиям:

1. максимум амплитуды колебательного процесса падает при приближении горных работ к аномальной зоне и нарастает при вхождении в нее с последующим формированием раскачек горных пород;

2. в процессе приближения к аномалии и углубления горных работ в нее частотный состав спектра перераспределяется из высокочастотной в низкочастотную область, что характеризует преобладающее влияние отрицательной аномалии с пониженными скоростями и повышенным затуханием.

Аналогичные выводы можно сделать относительно влияния положительной аномалии (зоны повышенного горного давления) на спектральные и амплитудные характеристики колебаний углепородного массива в зоне горных работ:

1. максимум амплитуды колебательного процесса нарастает при приближении горных работ к аномальной зоне и при вхождении в нее с последующим формированием раскачки горных пород;

2. в процессе приближения к аномалии и углубления горных работ в нее частотный состав спектра перераспределяется из низкочастотной в высокочастотную область, что характеризует влияние положительной аномалии с повышенными скоростями и пониженным затуханием.

Формально фактор учета зоны опасного влияния явления можно представить в виде:
$$F_{АЧХ} = \begin{cases} 1, & A_{КОМ} \geq n \text{ или } A_{ПОЛ} \geq m \\ 0, & A_{КОМ} < n \text{ или } A_{ПОЛ} < m \end{cases},$$
 где $A_{КОМ}$ – величина

значение влияния комплексной аномалии на изменение АЧХ сигнала, $A_{пол}$ – величина значения влияния положительной аномалии на изменение АЧХ сигнала, n – предельное безопасное значение допустимой величины изменения АЧХ искусственного сигнала при влиянии комплексной аномалии, m – предельное безопасное значение допустимой величины изменения АЧХ искусственного сигнала при влиянии положительной аномалии.

Значение фактора изменения состава амплитудно-частотных характеристик искусственного сигнала устанавливается равным 1, если по одному из 2х критериев: «Влияние положительной аномалии» и «Влияние комбинированной аномалии» получены значения, которые свидетельствуют, что зона ведения горные работы входит в зону нарушенности угольного пласта и вмещающих пород, иначе значением фактора устанавливается 0.

3.2.7. Влияющий фактор «Объемная концентрация событий»

Совместно с факторами, учитываемыми в инструкциях по безопасному ведению горных работ на пластах склонных и опасных по внезапным выбросам и горным ударам, также важно принимать в рассмотрение во время вычисления оценки опасности ведения горных работ фактор объемной концентрации прогнозируемых и возникающих событий. Если рассматривать угольный пласт и координаты распределения событий, то можно выделить области концентрации событий. В этих областях возможны различные проявления динамических явлений с большей вероятностью, чем в областях с меньшей концентрацией событий.

Величина отношения количества событий к площади, на которой зарегистрированы эти события, $\frac{n}{V}$ показывает величину плотности событий, от которой зависит вероятность возникновения динамического события. Формально фактор «Плотности распределения событий можно записать в

виде формулы»: $F_{ps} = \begin{cases} 1, & \frac{n}{V} \geq C_n \\ 0, & \frac{n}{V} < C_n \end{cases}$, где n – количество зарегистрированных или

спрогнозированных событий, V – объем региона, на котором производятся наблюдения за динамическими событиями, C_n – безопасная величина концентрации количества событий на единицу площади. Значение величины n_b подбирается экспериментальным путем и зависит как от геофизических характеристик угольного пласта, так и от горно-геологических условий разработки.

На рисунке 3 схематично представлен угольный пласт с концентрацией событий в зонах V_1 и V_2 . Зона V_1 имеет площадь меньшую, чем зона V_2 , но количество событий одинаково в обеих зонах. Поэтому концентрация событий $\frac{n}{V_2}$ в зоне V_2 оказывается большей, чем концентрация событий $\frac{n}{V_1}$ в зоне V_1 . Что может свидетельствовать о подготовительных событиях к возникновению динамического явления. А если при этом выполняется условие $\frac{n}{V_2} > C_n$, т.е. превышен предельный уровень безопасной концентрации событий, то такую зону V_2 необходимо считать опасной, в которой может произойти внезапный выброс или горный удар.

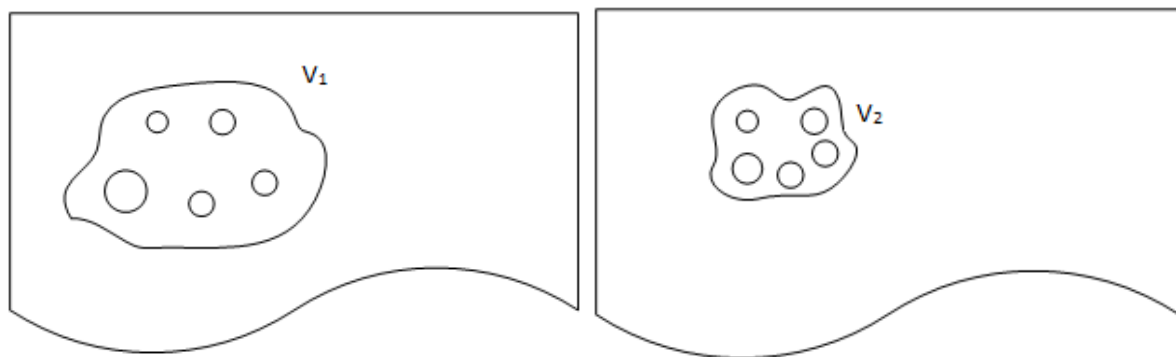


Рисунок 3 – Области концентрации событий

3.2.8. Влияющий фактор «Объемная мощность очагов»

Одновременно с учетом факторов, описанных в инструкциях по безопасному ведению горных работ на пластах склонных и опасных по внезапным выбросам и горным ударам, во время вычисления оценки опасности ведения горных работ, также важно принимать в рассмотрение фактор объемной мощности очагов прогнозируемых и возникающих событий. Рассмотрим угольный пласт и координаты распределения событий, с концентрацией энергии событий в определенной зоне наблюдения (рисунок 3). В этих областях возможны различные проявления динамических явлений с большей вероятностью, чем в областях с меньшей концентрацией событий.

Величина отношения количества энергии к площади зоны наблюдения, на которой зарегистрированы эти события, $\frac{E}{V}$ показывает величину плотности энергии, от которой может зависеть вероятность возникновения динамического события. Формально фактор «Плотности распределения

энергии событий можно записать в виде формулы»:
$$F_{PE} = \begin{cases} 1, & \frac{E}{V} \geq E_v \\ 0, & \frac{E}{V} < E_v \end{cases}, \text{ где } E -$$

суммарное количество энергий зарегистрированных или спрогнозированных событий контролируемой зоне V , V – площадь региона, на котором производятся наблюдения за динамическими событиями, V_s – безопасная величина суммарного количества энергий событий на заданной площади. Значение величины E_s подбирается экспериментальным путем и зависит как от геофизических характеристик угольного пласта, так и от горно-геологических условий разработки.

На рисунке 4 представлена схема угольного пласта с концентрацией энергий событий в зонах V_1 и V_2 . Суммарное количество энергий в зоне V_1 равно E_1 , которое меньше чем количество энергий E_2 в зоне V_2 . Т.к. зоны V_1 и V_2 одинаковы по площади, поэтому концентрация энергий событий $\frac{E_1}{V_1}$ в

зоне V_1 оказывается меньше, чем концентрация энергии событий $\frac{E_2}{V_2}$ в зоне V_2 .

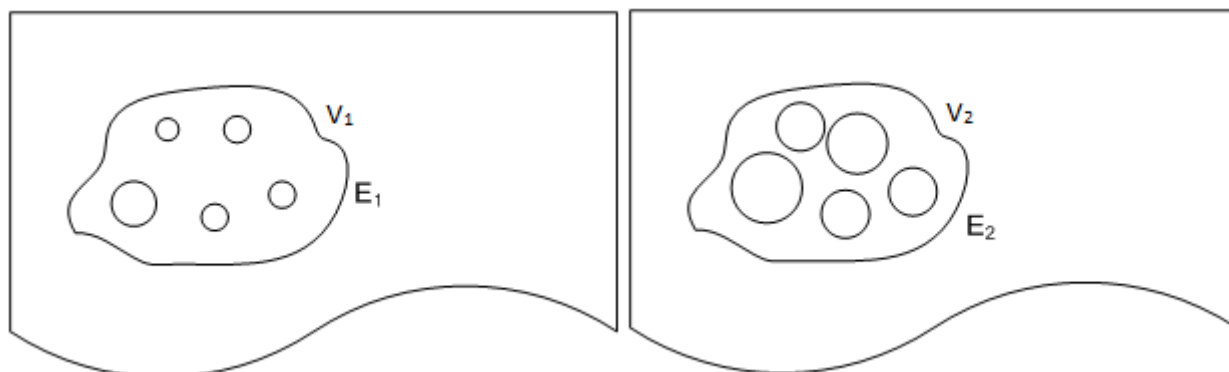


Рисунок 4 – Области концентрации энергий событий

Повышенное значение концентрации энергий в наблюдаемой зоне может свидетельствовать о подготовительных событиях к возникновению динамических явлений, которые могут спровоцировать внезапные выбросы или горные удары. А если при этом выполняется условие $\frac{E_2}{V_2} > E_v$, т.е. превышен предельный уровень безопасной концентрации событий, то такую зону V_2 необходимо считать опасной, в которой может произойти внезапный выброс или горный удар.

ВЫВОДЫ

1. В результате оценки разнородных факторов, влияющих на прогноз динамических явлений в угольном пласте была сформулирована и решена задача создания многофакторной модели оценки неблагоприятных проявлений выбросоопасности и удароопасности при подготовительных процессах динамических явлений, влияющих на безопасность ведения горных работ.

2. На основе проведенного теоретического исследования влияния факторов различной природы на оценку опасности динамических явлений в угольном пласте были изучены начальные и граничные условия влияющих

факторов многофакторной модели оценки опасности динамических явлений в угольном пласте.

3. При проведенном статистическом анализе зависимости прогноза выбросоопасности и удароопасности в угольном пласте от вида функции аппроксимации временного ряда был разработан алгоритм комплексирования разнородных факторов, влияющих на прогнозирование динамических явлений и оценку опасности динамических явлений в угольном пласте при ведении подземных горных работ.

4. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ МНОГОФАКТОРНОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В УГОЛЬНОМ ПЛАСТЕ

При теоретических исследованиях моделей упор делают на оценку логической схемы и структуры связей влияющих факторов на величину оценки прогнозируемых параметров неблагоприятного влияния различных газодинамических явлений на безопасность ведения горных работ на угольных шахтах. Теоретическое исследование многофакторной математической модели прогноза оценки опасности динамических явлений в угольном пласте и оценки влияния на безопасность ведения горных работ осуществляется за счет вычисления совместного влияния факторов, вычисленных как прямыми методами измерения горного давления, так и косвенными методами оценки сейсмических и сейсмоакустических эмиссий, возникающих при различных влияниях от возникновения газодинамических явлений в шахтах.

4.1. Вычисление степени влияния независимых факторов на критериальный фактор оценки опасности динамических явлений в угольном пласте

Невозможно учесть влияние всех факторов на процессы возникновения динамического явления, многие латентные факторы также оказывают влияние, но малая изученность их природы не позволяет учитывать их влияние. Поэтому для формирования прогнозной многофакторной модели возникновения динамических явлений необходимо составлять широкий перечень факторов, влияющих на процессы формирования очага нарушения в угольном пласте. После анализа всех влияющих факторов производится их сортировка по степени влияния и удаление лишних факторов, малозначимых на результирующее значение опасности возникновения каких либо неблагоприятных проявлений динамических явлений.

Для формальной оценки степени взаимосвязи каждого из влияющих факторов на прогнозируемый параметр используют средства корреляционного анализа. Для этого формируют матрицу парной корреляции влияющих факторов и оценивают зависимость между двумя случайными факторами, а также степень влияния каждого фактора на результирующий параметр. При оценке степени зависимости между факторами важно вовремя выявить факторы с высокой степенью значений их коэффициентов парной корреляции. Факторы модели, у которых «пороговое» значение парного коэффициента корреляции с другими факторами превышает 0,8 рекомендуется исключать из рассмотрения, т.к. это приводит к вычислительным сложностям, а именно – мультиколлинеарности факторов и вырождению матрицы и её необратимости для вычислений. Если же такие факторы оставить в системе многофакторной модели, то это приведет к неточностям при оценках влияния факторов на прогнозирующий показатель, неустойчивость модели – изменение входных данных сильно влияет на значения значимых параметров, снижению ценности модели за счет неточных значений прогнозного показателя, в крайнем случае, модель полностью перестанет описывать сложный процесс прогноза возникновения динамического явления.

Для вычисления значения множественной корреляции между влияющими факторами необходимо извлечь корень из частного, числитель которого формирует определитель матрицы парных сравнений влияющих факторов, а знаменатель определитель матрицы парных сравнений влияющих факторов, за исключением зависящего параметра.

В аналитическом виде коэффициент множественной корреляции будет равен: $R = \pm \sqrt{\frac{\Delta^*}{\Delta}}$, где Δ^* – определитель матрицы коэффициентов парных сравнений влияющих факторов, а Δ – определитель матрицы коэффициентов парной корреляции за исключением факториальной переменной.

Для выявления предпочтения среди влияющих факторов, а также для того чтобы провести ранжировку влияющих факторов, необходимо ввести систему решающих правил. Например, если каждому показателю $F_j(a_i)$ можно вычислить некоторый «вес» V_j , определяющий его значимость, то взвешенную сумму этих показателей можно рассматривать как суммарную оценку опасности влияния динамического явления: $F(a_i) = \sum_{j=1}^n V_j F_j(a_i)$.

Чтобы определить какой фактор приоритетнее необходимо ввести решающее правило: a_1 предпочтительнее a_2 , если $F(a_1) > F(a_2)$.

Сопоставить по значимости факторы, влияющие на безопасность ведения горных работ при возникновении динамического явления можно с помощью метода парных сравнений. В этом случае составляется матрица парных сравнений с элементами b_{ij} как результата парного сравнения влияющих факторов F_i и F_j , которые определяются по формуле:

$$b_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если } F_i \text{ менее значим } F_j; \\ 1, & \text{если } F_i \text{ равнозначен } F_j; \\ 2, & \text{если } F_i \text{ превосходит } F_j. \end{cases}$$

После заполнения матрицы элементами сравнения b_{ij} находят по строкам суммы баллов по каждому показателю: $S_i = \sum_{j=1}^n b_{ij}$, где n - количество показателей.

Затем определяют коэффициенты весомости влияния каждого из факторов по формуле: $V_i = \frac{S_i}{n^2}$.

При этом должно выполняться условие: $\sum_{i=1}^m V_i = 1$, а правильность заполнения матрицы парного сравнения проверяется по формуле: $\sum_{i=1}^m S_i = n^2$

Приоритет влияющих факторов распределяется по рангу, который пропорционален значению коэффициента весомости: чем больше значение V_i , тем выше ранг, причем наибольшему значению V_i соответствует $r_i = 1$.

Таблица 2 – Основные параметры, влияющие на безопасность ведения горных работ

Обозначение влияющего фактора	Описание влияющего фактора	Ранг
F1	Интенсивность подвигания забоя (Состояние выемочных комплексов)	5
F2	Количество импульсов в единицу времени	1
F3	Мощность зарегистрированных явлений	2
F4	Состояние рудничной атмосферы (Концентрация метана)	4
F5	Расстояние от эпицентра выявленного явления	3
F6	Амплитудно-частотная характеристика выявленного явления	6
F7	Объемная концентрация событий	7
F8	Объемная мощность очагов	8

Таблица 3 – Матрица предпочтений факторов опасности влияния динамических явлений на ведение горных работ

×	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	S_i	V_i	r_i
F1	1	0	0	1	0	2	2	2	8	0,125	5
F2	2	1	2	2	2	2	2	2	15	0,234375	1
F3	2	1	1	2	2	2	2	2	14	0,21875	2
F4	1	0	1	1	0	2	2	2	9	0,140625	4
F5	2	0	0	1	1	2	2	2	10	0,15625	3
F6	0	0	0	0	1	1	2	2	6	0,09375	6
F7	0	0	0	0	0	1	1	2	4	0,0625	7
F8	0	0	0	0	0	0	1	1	2	0,03125	8
									64	1	

В итоге функция зависимости величины опасности возникновения и влияния динамического явления на безопасность ведения горных работ от значений влияющих факторов примет следующий вид:

$$R(x) = 0,125 \cdot F_1 + 0,234375 \cdot F_2 + 0,21875 \cdot F_3 + 0,140625 \cdot F_4 + 0,15625 \cdot F_5 +$$

$$+ 0,09375 \cdot F6 + 0,0625 \cdot F7 + 0,03125 \cdot F8$$

4.2. Исследование многофакторной математической модели на противоречивость – критерий Стьюдента

Противоречивость многофакторных моделей может возникать при недостаточном исследовании моделируемого явления. При моделировании таких явлений как динамические процессы в угольном пласте следует учитывать, что малозначимые факторы подготовительных процессов могут нанести вред при расчете зависимого показателя, что в свою очередь может привести к неустойчивости модели и ошибкам при расчетах прогнозных параметров. При исследовании многофакторных моделей на противоречивость факторов необходимо учитывать величину изменения каждого фактора, а также их совместное влияние на зависимый параметр. Обойти противоречивость можно несколькими способами. Первый способ выделяет два подхода: исключение из совокупности влияющих факторов одну или несколько линейно связанных факторных переменных, при помощи корреляционного анализа или преобразование факторов в новые переменные, уменьшая количество переменных (факторный анализ). Вторым способом это совершенствование математического аппарата и модели за счет применения методов регуляризации и «робастой статистики» (гребневой регрессии, стабилизированных оценок и «сжатых» оценок и т.д.).

Оценка достоверности вычисленного прогноза, а также величины доверительного интервала производится в определенной последовательности. Сначала вычисляются текущие значения влияющих факторов. Затем по этим динамически изменяемым значениям факторов из заданного набора функций аппроксимации подбирается оптимальный вид функции по критерию минимизации дисперсии ошибки. Программный модуль прогноза динамических явлений имеет следующий набор функций аппроксимации: линейная, квадратичная, кубическая, гиперболическая,

логарифмическая, степенная и экспоненциальная. Пример аппроксимации временного ряда различными видами функций показан на рисунке 5. Для каждой выборки функция аппроксимации с минимальной ошибкой будет различная, поэтому необходимо рассчитывать интервал достоверности подбора оптимальной функции, определяющий точность прогноза.

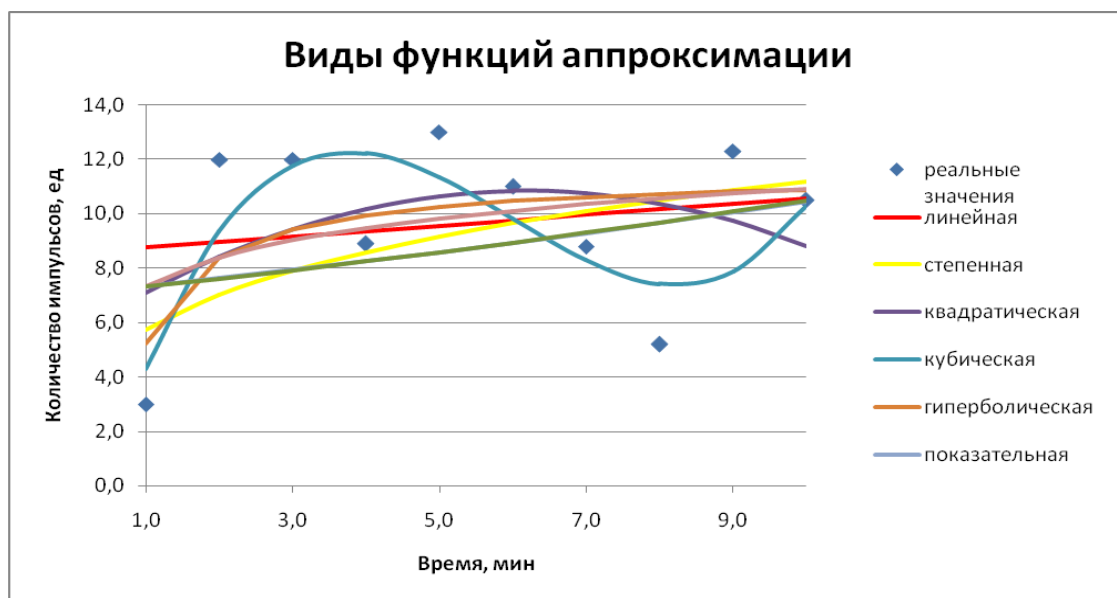


Рисунок 5. – Функции аппроксимизации временного ряда количества сейсмоакустических импульсов

Для оценки точности прогноза выполняются расчеты коэффициента детерминации, F-критерия Фишера, t-критерия Стьюдента и критерия Дарбина-Уотсона. Эти коэффициенты позволяют удостовериться в том, что наличие случайных ошибок в модели не приведет к значительному ухудшению качества оценок метода наименьших квадратов. Оптимальной функцией аппроксимации для заданной выборки данных временного ряда будет считаться функция, у которой коэффициент детерминации окажется наиболее близким к единице. Чем ближе окажется значение детерминации к единице, тем ближе модель к эмпирическим данным наблюдения. Коэффициент детерминации вычисляется по следующей формуле:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_i (y_i - f_i)^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}, \text{ где } y_i - \text{выборочные данные, а } f_i - \text{соответствующие им}$$

значения модели. Количественная мера тесноты функциональной связи, в зависимости от значения коэффициента детерминации разделяется на

несколько групп: слабая (0,1–0,3), умеренная (0,3–0,5), заметная (0,5–0,7), высокая (0,7–0,9) и весьма высокая (0,9–0,99)[52].

Точность прогноза тем выше, чем меньше величина ошибки, которая представляет собой разность между прогнозируемым и фактическим значением исследуемой величины.

Вычислить ошибку прогноза возможно только в будущем, когда пройдет интервал, на который вычислялся прогноз. Поэтому при расчете прогноза оценку его точности необходимо производить заранее, когда истинное значение прогнозируемой величины еще не известно. Для априорной оценки достоверности прогноза определяют его доверительный интервал на основе статистически выборочного метода.

При этом точность прогноза оценивается величиной доверительного интервала для заданной вероятности его осуществления, а под достоверностью понимают оценку вероятности осуществления прогноза в заданном доверительном интервале. Таким образом, точность прогноза выражается с помощью вероятностных пределов фактической величины от прогнозируемого значения.

Доверительный интервал уменьшается при увеличении продолжительности наблюдения (периода основания прогноза) и растет с увеличением периода упреждения прогноза. Погрешности, снижающие достоверность прогноза, формируются следующими параметрами: выбор формы кривой, характеризующей тренд оцениваемого временного ряда; оценивание параметров кривых производится на основе определенных выборок данных временного ряда, которые могут не совсем точно показать реальный тренд всего временного ряда; трендом характеризуется некоторый средний уровень данных, что снижает точность прогнозных значений временного ряда.

Величину доверительного интервала можно рассчитать по формуле, при вероятности: $P = 0,997 \cdot \Delta = \pm 3\sigma_n$, где σ_n – средняя квадратическая ошибка

прогноза. Для вычисления доверительного интервала с использованием коэффициента Стьюдента используют формулу: $\Delta = t_{\alpha} S_{\bar{y}}$, где $S_{\bar{y}}$ - выборочная среднеквадратичная ошибка функции аппроксимации, t_{α} - значение t -статистики Стьюдента. Доверительный интервал для прогноза учитывает в себе не только оценку неопределенности тренда, но и возможность отклонения от этого тренда и рассчитывается так: $\bar{y}_{i+z} = \bar{y}_k \pm \Delta = \bar{y}_k \pm t_{\alpha} S_{\bar{y}}$, где $S_{\bar{y}}$ - средняя квадратическая ошибка прогноза, вычисляющаяся по формуле:

$$S_{\bar{y}} = S_y \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}, \text{ где } x_k - \text{ заданное, а } \bar{x} - \text{ среднее значение}$$

независимой переменной x .

4.3. Применение адаптивных методов при прогнозировании динамических явлений

Использование адаптивных методов прогнозирования позволяет строить самонастраивающиеся рекуррентные модели, которые отражают изменяющиеся во времени динамические свойства временного ряда и дают возможность учитывать информационную ценность его членов.

Работа адаптивной модели прогнозирования временного ряда разбиваются на четыре этапа: выбор интервала наблюдения, анализ временного ряда, построение прогноза, адаптация модели и корректировка прогноза.

На первом этапе «Выбор интервала наблюдения» работы модели прогноза с помощью анализа горизонта прогнозирования выбирается, какие методы прогнозирования будут использоваться для вычисления прогноза заданной выборки временного ряда.

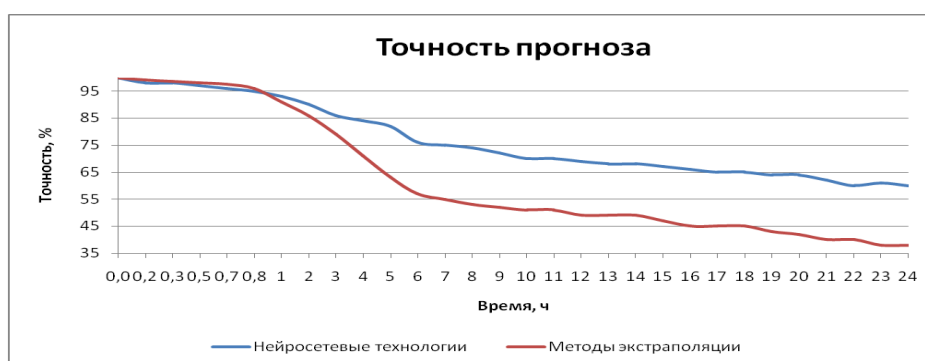
В зависимости от выбора интервала прогноза выбирается метод расчета прогноза. Так для построения точечного статистического прогноза на краткосрочные и среднесрочные интервалы (10-ти минутные интервалы,

часовой интервал) применяются методы экстраполяции. Для построения долгосрочного прогноза (смена, сутки) применяются нейросетевые технологии. Это обусловливается значительным ростом ошибки прогнозирования методами экстраполяции при значительно больших интервалах прогнозирования.

Перед расчетом прогноза временного ряда его члены должны быть сглажены. Сглаживание временного ряда осуществляется по формуле:

$$X' = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \text{ или } b = k \cdot X_{\min}, \text{ где } k = \frac{1}{X_{\max} - X_{\min}}.$$

На рисунке 6 приведены зависимости снижения точности прогноза динамических явлений в зависимости от изменения продолжительности интервала прогноза для экстраполяционного и нейросетевого методов прогнозирования. Из графиков видно, что методы экстраполяции значительно теряют точность прогнозирования на больших интервалах прогноза, поэтому их целесообразно использовать при составлении краткосрочных и среднесрочных прогнозов. Методы нейросетевых технологий показывают постепенное снижение качества прогноза в зависимости от увеличения интервала прогнозирования, но удерживают заданный уровень достоверности.



Рисунке 6 – Влияние интервала прогнозирования на точность прогноза

На втором этапе работы адаптивной модели прогноза динамических явлений анализируются параметры входного временного ряда. К таким показателям относятся: работа комбайна, местоположение источника явления относительно забоя и его влияние на него, скорость воздушного потока,

содержание метана, количественная оценка эмиссий и значений их энергетических составляющих. Каждый из этих параметров имеет свою степень влияния на результирующую функцию состояния опасности. Для определения степени влияния каждого из факторов системе прогноза динамических явлений необходимо проработать в тестовом режиме интервал времени равный горизонту прогнозирования для наработки необходимых коэффициентов степени влияния. Величины этих коэффициентов зависят от конкретной шахтной модели состояния (уровня зашумленности оборудования в конкретных местах установки датчиков системы динамического мониторинга) и механических свойств горных пород (коэффициента крепости угля, геологических особенностей шахтного поля).

Третий этап прогнозирования динамических явлений включает в себе построение прогноза по выбранному методу. При использовании методов экстраполяции дальнейший расчет прогноза будет производиться по выбранной оптимальной функции временного ряда с минимальной дисперсией ошибки. При расчете текущего прогноза используются данные о количестве активностей и их энергиях за последние пять минут, а также параметры рудничной атмосферы шахты и работы комбайна. Если выявлено неблагоприятное явление, то для учета опасного его влияния производится расчет расстояния эпицентра этого явления до забоя. Если эпицентр находится не в плоскости забоя или в плоскости, но расстояние до забоя более ста метров, то такое явление рассматривается как неопасное, в любом другом случае как опасное. На состояние опасности возникновения динамических явлений также влияет концентрация метана и угольной пыли. При расчете прогнозов по десятиминутным интервалам рассматривается показания значений активностей и их энергий за текущий десятиминутный интервал, а также архивные данные с глубиной в пять таких интервалов. Часовой прогноз опасности возникновения динамических событий показывает, как изменялось количество активностей и их энергий за текущий

час, а также с учетом архивных данных за последние 17 часов рассчитывается прогноз на 7 часов вперед.

В основе прогноза методом нейросетевых технологий используются принцип построения сети нейронов и установка степени связи между ними. Алгоритм построения прогноза значений временного ряда выполняется по следующим пунктам: получение временного ряда с интервалом в выбранную временную итерацию, заполнение «пробелов» в истории, сглаживание ряда методом скользящего среднего, получение ряда относительного изменения прогнозируемой величины, формирование таблицы «окон» с глубиной k погружения временных интервалов, добавление к таблице дополнительных данных, определение обучающей и контрольной выборок, подбор параметров нейросети, обучение нейросети, проверка работоспособности нейросети в реальных условиях.

На этапе обучения сеть проходит обучение на выборке временного ряда, значения которого в последствии необходимо прогнозировать. После этого сеть проверяется контрольной выборкой для оценки качества обучения сети. Средняя абсолютная ошибка показывает достоверность прогноза нейросети. Грубые ошибки нейронной сети обуславливаются работой с данными сильно отличающимися от тех, которые присутствовали в обучающей выборке. Таким образом, нейронная сеть не сможет предсказать горный удар, пока в обучающей её выборке не будет данных о таком явлении.

С помощью нейронной сети рассчитывается прогноз опасности возникновения динамических явлений по сменным и суточным интервалам прогнозирования. Сменные (в сутках четыре смены по шесть часов) прогнозы формируются при анализе выборки временного ряда сейсмических и сейсмоакустических данных за текущую смену, а также за семнадцать таких же архивных интервалов. Суточный прогноз опасности возникновения динамических явлений рассчитывается на основании предыдущих семнадцати суточных интервалов данных о количестве активностей и их

энергий, а также принимаются во внимание текущие значения учитываемых в прогнозе величин.

На четвертом этапе работы адаптивной модели прогноза выполняется алгоритм адаптации, который ранжирует функции аппроксимации в зависимости от точности показываемых ими результатов прогноза. Принцип работы адаптивного алгоритма заключается в ранжировании оптимально выбранной функции экстраполяции временного ряда. Если на первой итерации прогноза выбран оптимальный вид функции экстраполяции с минимальной дисперсией ошибки прогноза, то этому виду ставится приоритетный ранг. Установка такого приоритета позволяет уменьшить время расчета прогноза в дальнейшем, так как приоритетный метод будет выбираться первым. Поскольку он оптимально подходит для аппроксимации временного ряда, то с большой вероятностью он окажется оптимальным и при дальнейших прогнозных выборках. Параллельно с использованием приоритетной функции анализируется возможность существования более оптимальной функции для конкретного набора данных. Если же при следующей итерации прогноза иной вид функции аппроксимации окажется с меньшей ошибкой прогноза, то тогда этому виду функции присваивается приоритетный ранг, и он в дальнейшем будет использоваться в первую очередь.

На последнем этапе производится корректировка прогноза с учетом работы адаптивного алгоритма. Преимущество адаптивных моделей в том, что они отражают динамические свойства временного ряда и учитывают информационную ценность его ретроспективных членов и поэтому способны давать достаточно точные оценки будущих значений. Такие модели предназначаются, прежде всего, для краткосрочного прогнозирования. Они позволяют достичь компромисса между требованием статистических подходов к увеличению объемов выборки для получения более точных оценок и требованием гомогенности (однородности) данных, ибо, чем

больше период наблюдений, тем выше вероятность того, что исследуемый процесс или объект претерпел коренные изменения.

Графическое представление работы адаптивного алгоритма проиллюстрировано на рисунке 4, а величины прогнозных и реальных значений зарегистрированного числа активностей, а также значения корректировки прогноза на следующий интервал времени приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Значения параметров адаптивного алгоритма корректировки значений прогноза возникновения динамических явлений

День	Смена	Прогноз	Реальное зн.	Корректировка
22.02.2015 (1)	1	51	57	6
22.02.2015 (1)	2	34	32	-2
22.02.2015 (1)	3	63	65	2
22.02.2015 (1)	4	69	70	1
23.02.2015 (2)	1	53	55	2
23.02.2015 (2)	2	41	38	смена типа
23.02.2015 (2)	3	59	57	-2
23.02.2015 (2)	4	66	65	-1
24.02.2015 (3)	1	56	57	смена типа
24.02.2015 (3)	2	38	35	смена типа
24.02.2015 (3)	3	60	57	смена типа
24.02.2015 (3)	4	72	74	2
25.02.2015 (4)	1	53	56	3
25.02.2015 (4)	2	37	36	-1
25.02.2015 (4)	3	61	63	2
25.02.2015 (4)	4	68	70	2

Так за четыре интервала первых суток работы адаптивной модели прогноза динамических явлений и один интервал вторых суток вид прогнозной функции был неизменен (параболическая). И корректировка была по абсолютному значению меньше, чем прогнозные значения других видов прогнозной функции. На интервале второй смены второго дня работы адаптивного алгоритма получилось, что абсолютное значение приоритетного вида функции оказалось больше чем один из неприоритетных видов функции, который сразу же был принят как лучший вариант и назначен приоритетным при следующих расчета прогноза (параболический).

Следующие два интервала прогнозирования приоритетный вид функции прогноза не менялся. После этого последовали три подряд интервала на каждом из которых был сменен приоритетный вид функции прогноза (экспоненциальный – полулогарифмический – степенной). На последующих интервалах прогнозирования приоритетный метод оставался неизменным.

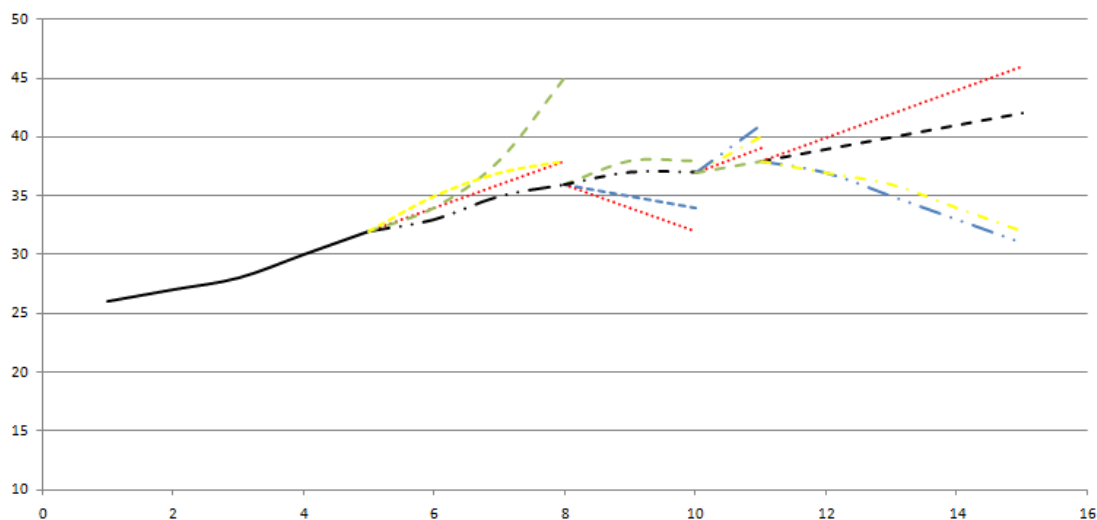


Рисунок 7 – Графическая интерпретация работы адаптивного алгоритма

4.4. Описание алгоритма комплексирования разнородных факторов, влияющих на прогнозирование динамических явлений

Многофакторная математическая модель прогноза динамических явлений учитываются разнородные данные и перед их комплексной оценкой они должны быть приведены к общим соизмеримым значениям. Для учета факторов различной природы, влияющих на прогнозируемый параметр разработаны различные алгоритмы учета, обработки и анализа временных рядов для вычисления прогноза с заданной точностью. Общая блок-схема алгоритма прогноза динамических явлений в угольном пласте приведена на рисунке 8.

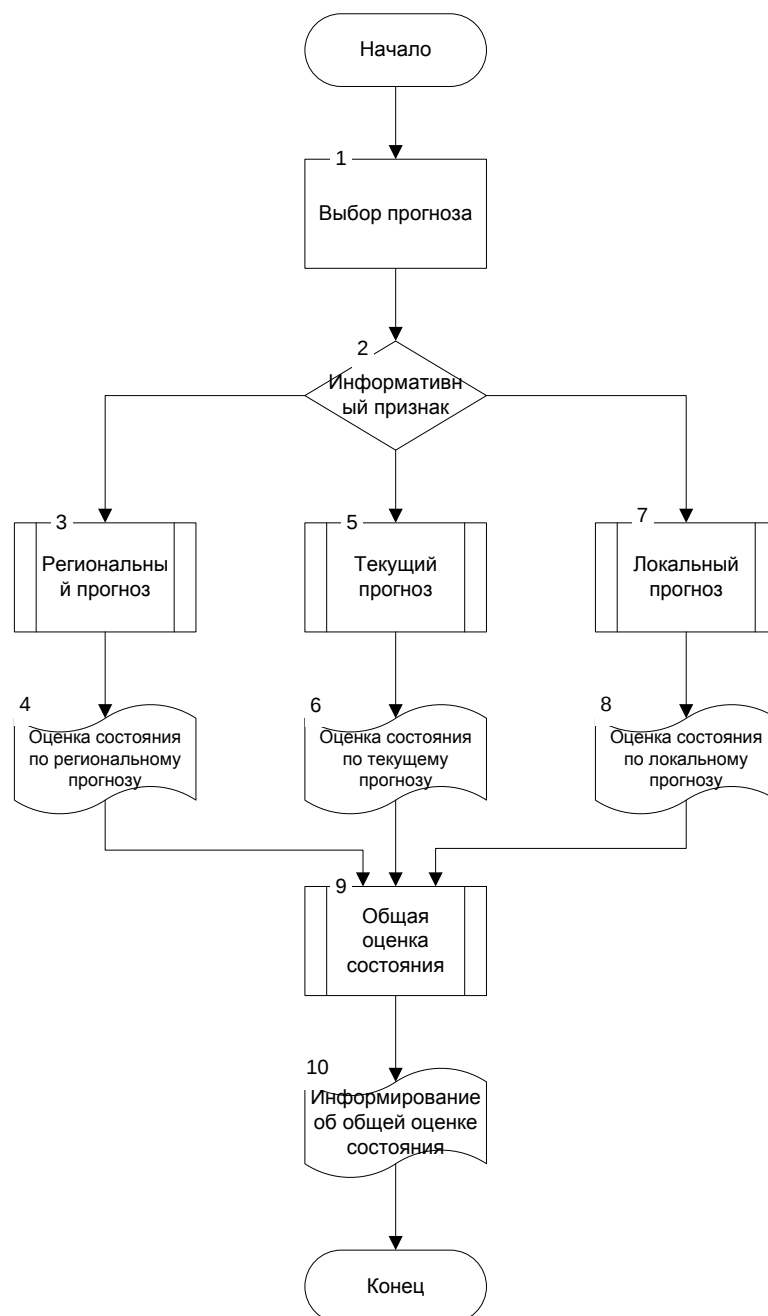


Рисунок 8 - Блок-схема общего алгоритма прогноза динамических явлений

Общий принцип осуществления расчета прогноза динамических явлений и как их следствие расчета оценки выбросо- и удароопасности с помощью различного вида датчиков сформулирован в алгоритме общего прогноза динамических явлений. Описание общего алгоритма прогноза динамических явлений представлено в таблице 5.

Таблица 5 – Общий алгоритм прогноза динамических явлений

№ блока	Название блока	Описание
1	Процесс: Выбор прогноза	В зависимости от того какой тип прогноза будет выбран автоматически сформируются выборки датчиков по зонам действия: если выбран региональный тип прогноза, то выборка задействованных датчиков в данном типе прогноза будет только СМЧ, тогда ему присваивается информационный признак 1. Если выбран для проведения расчета текущий прогноз, то формируются выборки по датчикам типа СМЧ и САК и присваивается информативный признак 2. Если выбран тип локальный прогноза, то по заранее обусловленным зонам влияния (забои, проходки) будут сформированы группы выборок по датчикам типа САК, тогда ему присваивается информационный признак 3.
2	Условие: Информативный признак	По информативному признаку осуществляется выбор тип прогноза из возможных: если выбран признак 1, то будет рассчитываться региональный прогноз и переход к блоку 3. Если информативный признак равен 2 – то будет вычисляться текущий прогноз и переход к блоку 5. 3. Если информативный признак равен 3 – то будет вычисляться локальный прогноз и переход к блоку 7.
3	Процедура: Региональный прогноз	Данная процедура за счет специальных вложенных процедур и формул осуществляет расчет регионального прогноза.
4	Процесс: Оценка состояния по региональному прогнозу	На данном этапе алгоритма на основе влияющих факторов на региональную картину прогноза выдается оценка состояния массива горных пород. Данная оценка обладает четырьмя видами состояния: «неопасное», «слабоопасное», «среднеопасное» и «сильноопасное».
5	Процедура: Текущий прогноз	Данная процедура за счет специальных вложенных процедур и формул осуществляет расчет текущего прогноза.

№ блока	Название блока	Описание
6	Процесс: Оценка состояния по текущему прогнозу	На данном этапе алгоритма на основе влияющих факторов на текущую картину прогноза выдается оценка состояния массива горных пород. Данная оценка обладает четырьмя видами состояния: «неопасное», «слабоопасное», «среднеопасное» и «сильноопасное».
7	Процедура: Локальный прогноз	Данная процедура за счет специальных вложенных процедур и формул осуществляет расчет локального прогноза.
8	Процесс: Оценка состояния по локальному прогнозу	На данном этапе алгоритма на основе влияющих факторов на локальную картину прогноза выдается оценка состояния массива горных пород. Данная оценка обладает четырьмя видами состояния: «неопасное», «слабоопасное», «среднеопасное» и «сильноопасное».
9	Процедура: Общая оценка состояния	Данная процедура при учете ранжированных степеней влияния видов прогноза на общее состояние массива горных пород вычисляет общую оценку состояния углепородного массива.
10	Процесс: Информирование об общей оценке состояния	После расчета общей оценки состояния массива горных пород, оператору на монитор выдается визуальная сигнализация степени опасности происходящих в углепородном массиве газо- и геодинамических явлений. Индикация принимает следующие цветовые стили в зависимости от уровня опасности: «зеленая» - «неопасно», «желтая» - «слабоопасно», «оранжевая» - «среднеопасно» и «красная» - «сильноопасно»

Алгоритм подготовки разнородных данных к общему виду предназначен для унифицирования данных различной частоты и величины их значений. В алгоритме подготовки входных данных к обработке применяются процедуры сглаживания выбросов и масштабирования значений временных рядов. Описание подготовки входных данных

представлено в таблице 6, а блок-схема подготовки входных данных на рисунке 9.

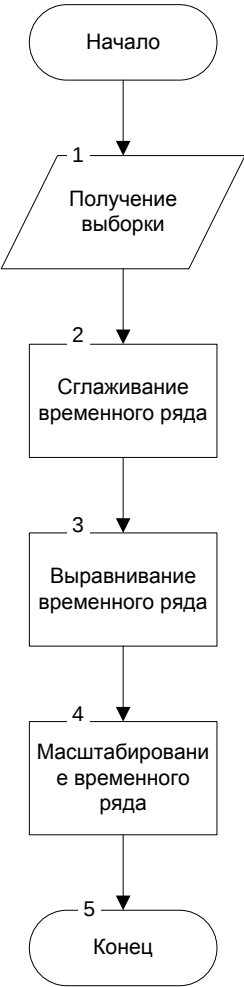


Рисунок 9 – Блок-схема алгоритма подготовки временного ряда

Таблица 6 – Описание блок-схемы подготовки входных данных

№ блока	Название блока	Описание
----------------	-----------------------	-----------------

№ блока	Название блока	Описание
1	Получение данных	Для расчета часового прогноза временные выборки зарегистрированных импульсов формируются на основании часовых интервалов за последние 17 часов. Запрос выборки осуществляется с помощью специальной функции GetSQLHourActivity. Для расчета прогноза по сменам временные выборки зарегистрированных импульсов формируются на основании интервалов по сменам (6 часов: с 8 до 14, с 14 до 20, 20 до 02, с 02 до 8) за последние 17 смен. Запрос выборки осуществляется с помощью специальной функции GetSQLShiftActivity. Для расчета десятиминутного прогноза временные выборки зарегистрированных импульсов формируются на основании десятиминутных интервалов за последние 17 часов. Запрос выборки осуществляется с помощью специальной функции GetSQLMinuteActivity.
2	Сглаживание временного ряда	Сглаживание применяется для устранения случайных отклонений (шума) из экспериментальных значений исходного ряда. Формулы для сглаживания для групп из трех точек имеют вид: $\hat{y}_0 = \frac{1}{3}(y_{-1} + y_0 + y_{+1})$; $\hat{y}_{-1} = \frac{1}{6}(5y_{-1} + 2y_0 + y_{+1})$; $\hat{y}_{+1} = \frac{1}{6}(-y_{-1} + 2y_0 + y_{+1})$;
3	Выравнивание временного ряда	Выравнивание применяется для более удобного представления исходного ряда без изменения его числовых значений: $y = f(t, a, b)$, где t - время, a, b - параметры, к виду: $y = a_1 T + b_0$
4	Масштабирование временного ряда	Масштабирование применяется для приведения значений ряда в диапазон от 0 до 1 по формуле: коэфф. масштаб. = $(x - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$

Алгоритм фильтрации применяется для входных выборок по всем влияющим факторам. Чтобы факториальный параметр удовлетворял заданным ограничениям достоверности и точности прогноза, и математическая модель системы была адекватна моделируемому

динамическому явлению необходимо производить фильтрацию временного ряда каждого фактора. Описание алгоритма фильтрации временного ряда представлено в таблице 7, а блок-схема алгоритма фильтрации временного ряда приведена на рисунке 10.

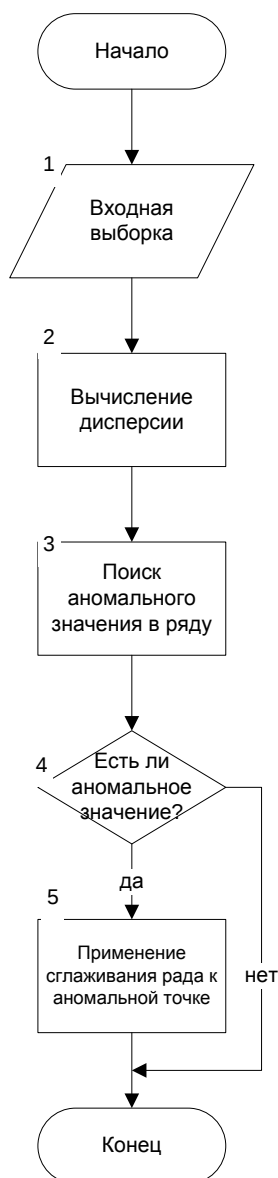


Рисунок 10 – Блок-схема алгоритма фильтрации временного ряда

Таблица 7 – Описание блок-схемы алгоритма фильтрации временного ряда

№ блока	Название блока	Описание
1	Процесс: Входная выборка	Процедура алгоритма фильтрации получает на вход временной ряд, требующий проведения специализированной обработки

№ блока	Название блока	Описание
2	Процесс: Вычисление дисперсии	Расчет значения среднеквадратического отклонения осуществляется по формуле: $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (Y_t - \bar{Y})^2}{n-1}}$
3	Процесс: Поиск аномального значения в ряду	Поиск по всему входному временному ряду аномальных значений по формуле: $\lambda_i = \frac{ Y_t - Y_{t-1} }{\sigma}$
4	Условие: есть ли аномальное значение?	Если во входной выборке нашлись аномальные значения, то их необходимо сгладить, если нет, то анализ выборки закончен.
5	Процесс: сглаживание аномальной точки в ряду	Сглаживание применяется для устранения случайных отклонений (шума) из экспериментальных значений исходного ряда. Формулы для сглаживания для групп из трех точек имеют вид: $\hat{y}_0 = \frac{1}{3}(y_{-1} + y_0 + y_{+1})$; $\hat{y}_{-1} = \frac{1}{6}(5y_{-1} + 2y_0 + y_{+1})$; $\hat{y}_{+1} = \frac{1}{6}(-y_{-1} + 2y_0 + y_{+1})$;

Применение адаптивного алгоритма корректировки значений прогноза, совместно с минимизацией ошибок прогноза методом наименьших квадратов дает возможность утверждать, что при динамическом изменении значений влияющих факторов математическая модель динамического явления будет всегда адекватна моделируемому процессу. Описание адаптивного алгоритма выбора вида функции прогноза представлено в таблице 8, а блок-схема адаптивного алгоритма выбора вида функции прогноза приведена на рисунке 11.

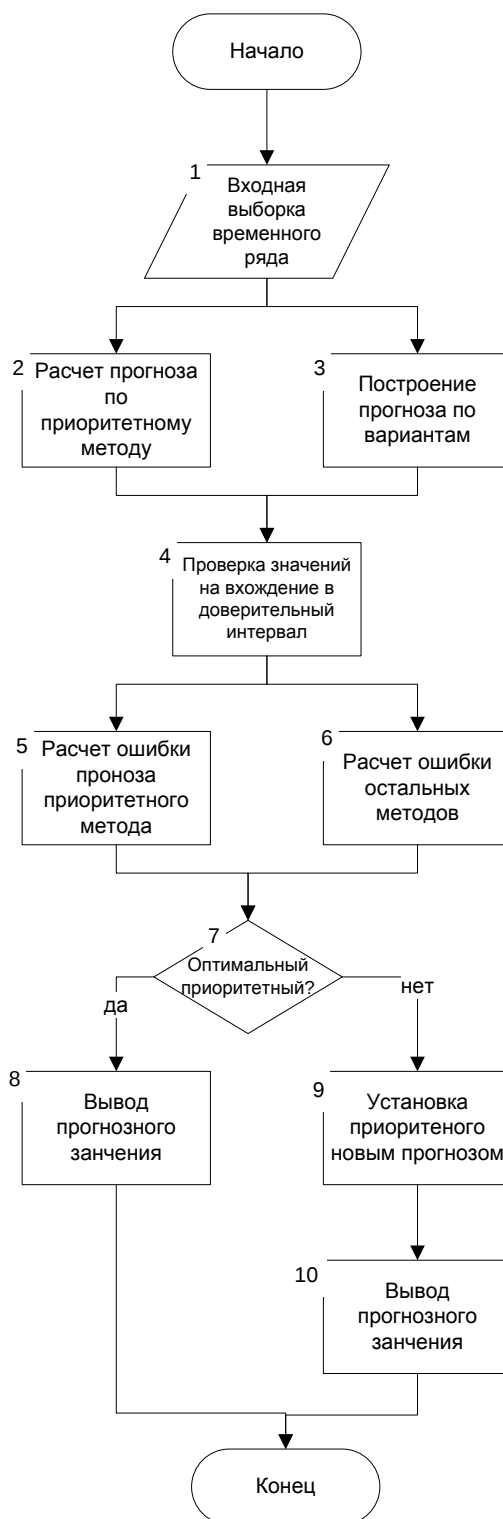


Рисунок 11 - Блок-схема адаптивного алгоритма выбора вида функции прогноза

Таблица 8 – Описание блок-схемы адаптивного алгоритма выбора вида функции прогноза

№ блока	Название блока	Описание
1	Входная выборка	Получение входного временного ряда для расчета его прогнозного значения

№ блока	Название блока	Описание
2	Расчет прогноза по приоритетному методу	По умолчанию приоритетным методом выбран линейный вид функции экстраполяции. Если данная итерация не первая этого алгоритма, то расчет прогнозного значения выборки необходимо производить по приоритетному методу.
3	Расчет прогноза по неприоритетным методам	В данном процессе осуществляется расчет прогнозных значений по всем видам функций прогноза, кроме приоритетного на данной итерации расчета прогноза.
4	Проверка значения прогноза на вхождение в доверительный интервал	После вычисления прогнозного значения его необходимо проверить на вхождение в достоверный интервал прогнозирования с заданным уровнем точности прогноза. (с меньшей точностью могут появиться ложные точки прогноза)
5	Расчет ошибки прогноза приоритетного метода	Коэффициент детерминации приоритетной прогнозной функции вычисляется по следующей формуле: $R^2 = 1 - \frac{\sum_i (y_i - P_i)^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}$, где y_i – выборочные данные, а P_i – соответствующие им значения приоритетной модели.
6	Расчет ошибки прогноза неприоритетных методов	Коэффициент детерминации неприоритетных прогнозных функции вычисляется по следующей формуле: $R^2 = 1 - \frac{\sum_i (y_i - N_i)^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}$, где y_i – выборочные данные, а N_i – соответствующие им значения неприоритетных моделей.
7	Оптимальный приоритетный?	Если коэффициент детерминации приоритетного метода на данной итерации прогноза будет ближе к 1 чем остальные виды функций прогноза, то значение приоритетной функции прогноза считается правильным, а приоритетный вид функции прогноза сохраняет свой ранг. Если же среди неприоритетных методов какой либо вид функции прогноза окажется ближе к 1 чем приоритетный, то этому методу ставиться приоритетный ранг, а его значение прогноза будет наиболее достоверным при заданных условиях точности.

№ блока	Название блока	Описание
8	Вывод прогнозного значения	Значение прогноза приоритетного метода является наиболее точным.
9	Установка приоритетного метода	Изменение ранга вида функции прогноза.
10	Вывод прогнозного значения	Значение прогноза неприоритетного метода является наиболее точным.

Алгоритм выявления типа аномалии при анализе информации о опасности динамических явлений в угольном пласте в призабойной зоне является важным звеном общего алгоритма прогноза и оценки опасности угольного пласта, т.к. управляющее воздействие будет иметь противоположное значение в зависимости от типа выявленной аномалии. Описание алгоритма выявления типа аномалии представлено в таблице 9, а блок-схема алгоритма выявления типа аномалии приведена на рисунке 12.

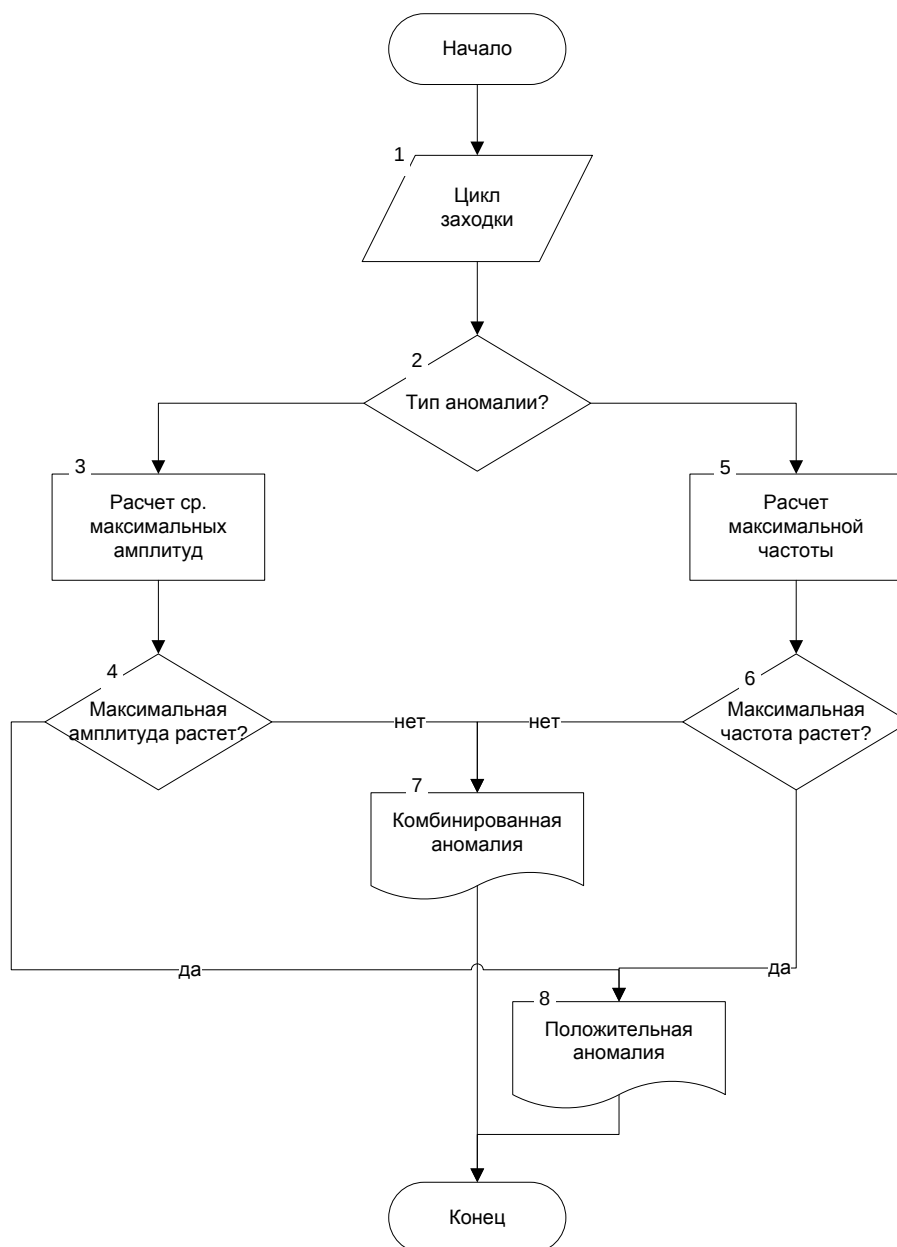


Рисунок 12 - Блок-схема алгоритма выявления типа аномалии

Таблица 9 – Описание алгоритма выявления типа аномалии

№ блока	Название блока	Описание
1	Входная выборка: цикл заходки	Получение временного интервала начала и конца очередного цикла заходки комбайна
2	Условие: Тип аномалии	Распараллеливание процесса обработки частотного и амплитудного параметров временного ряда зарегистрированных импульсов угольного массива

№ блока	Название блока	Описание
3	Процесс: Расчет средних максимальных амплитуд	Вычисление среднего значения максимальной амплитуды зарегистрированных импульсов углепородного массива за выбранный интервал времени
4	Условие: Максимальная амплитуда растет?	Если на выбранном временном интервале зарегистрирован рост средней максимальной амплитуды зарегистрированных импульсов углепородного массива, то переход к блоку 8, иначе к блоку 7.
5	Процесс: Расчет среднего значения максимальной частоты	Вычисление среднего значения максимальной частоты зарегистрированных импульсов углепородного массива за выбранный интервал времени
6	Условие: Максимальная частота растет?	Если на выбранном временном интервале зарегистрирован рост средней максимальной частоты зарегистрированных импульсов углепородного массива, то переход к блоку 8, иначе к блоку 7.
7	Информирование	Фактору оценки опасности возникновения динамических явлений по АЧХ импульсов угольного массива присвоено значение, показывающее что комбайн входит в зону комбинированной аномалии.
8	Информирование	Фактору оценки опасности возникновения динамических явлений по АЧХ импульсов угольного массива присвоено значение, показывающее что комбайн входит в зону положительной аномалии.

4.5. Алгоритм группировки очагов динамических явлений в угольном пласте

Повторяющиеся на одних и тех же участках угольного пласта ГДЯ, свидетельствуют о наличии некоторой аномальной совокупности горно-геологических условий и характеристик пласта, определяют повышенную опасность по выбросам и горным ударам участка. Для определения зон (участков) повышенной опасности угольного пласта по ГДЯ разработан

алгоритм группировки их очагов (рисунок 13), схожих по местоположению на основе кластеризации зарегистрированных событий.

Под кластером очагов понимается группа очагов ГДЯ, центры которых удалены от барицентра на некоторое заданное расстояние. Тогда, алгоритм поиска очагов ГДЯ, входящих в кластер очагов, схожих по своему расположению в угольном пласте следующий:

1. Всё пространство, где были зарегистрированы динамические события разбивается на ячейки, с учетом, что:

а. Сторона ячейки должна быть равна: $a = 2^k$, где k – коэффициент сетки.

б. Максимальное расстояние R между очагами в группе должно удовлетворять условию: $R < 2^k$.

2. Производится взаимная группировка очагов ГДЯ по координатам их местоположения.

а. Определение принадлежности к кластеру очередного очага явления: если он не принадлежит ни к какому кластеру, то создается новый кластер и очаг добавляется в него. Очагу в новом кластере присваивается атрибут ссылки на созданный кластер.

б. Создается список ячеек пространства, в виде таблицы сопоставления координат сети ячеек пространства и ссылок на очаги, относящиеся к данной ячейке, а также соседние с ним.

с. Перебираются все очаги в ячейках из полученного списка.

д. Вычисляется расстояние между текущим очагом и проверяемым из списка. Если вычисленное расстояние окажется меньше заданного максимального расстояния R , то:

d1. Если проверяемый очаг не входит ни в один кластер, то он вносится в тот же кластер, что и текущий очаг.

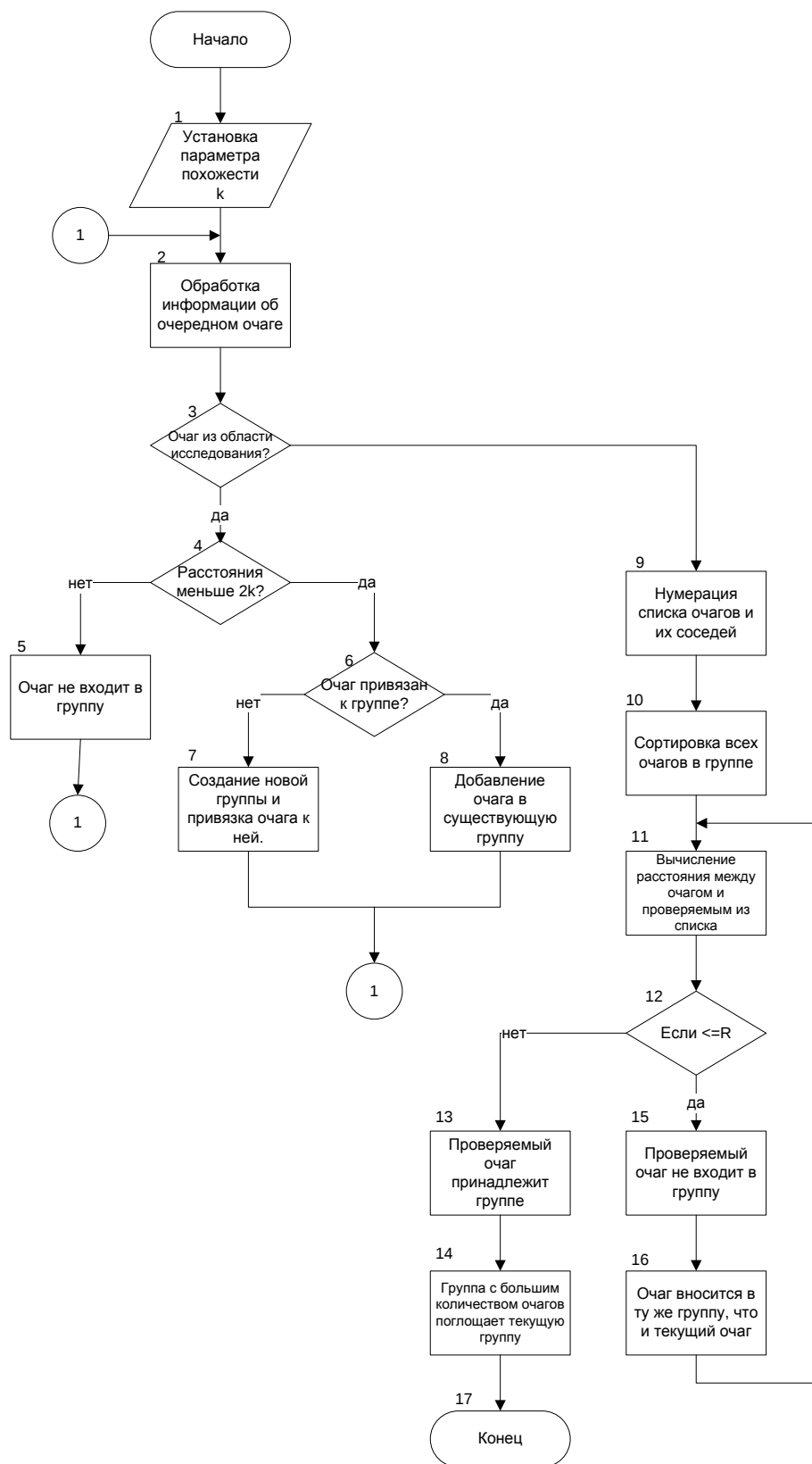


Рисунок 13 - Блок-схема алгоритма группировки очагов динамических явлений в угольном пласте

d2. Если проверяемый очаг уже принадлежит какому-то кластеру, отличному от текущего, тогда кластер с большим количеством очагов поглощает кластер с меньшим количеством очагов.

Результатом работы алгоритма будут кластеры, в каждом из которых расстояние между очагами не превышает заданного максимального расстояния R .

4.6. Алгоритм оконтуривания очагов динамических явлений в угольном пласте

Оконтуривание области кластера очагов позволяет получить границы участков повышенной опасности угольного пласта по ГДЯ. Алгоритм оконтуривания (рисунок 14) основывается на построении плоскости по трем очагам. В том случае, если скалярное произведение векторов, построенных из барицентра кластера к двум наиболее удаленным очагам кластера отрицательно, то угол, образованный между векторами, построенными из центра кластера к очагам является острым, иначе тупым. Если угол между векторами острый, то необходим второй проход алгоритма оконтуривания для исключения внутренних очагов из границы исследуемого кластера.

Вычисление барицентра кластера производится осреднением координат, входящих в него очагов.

1. Находятся три самые отдаленные от центра кластера очага, центры которых образуют начальную грань.
2. Остальные очаги кластера проверяются на вхождение в построенную грань на основе интегральной теоремы Коши.
3. Строится следующая грань через центр двух очагов построенной грани и один центр очага, не лежащего в этой грани.
4. При добавлении центра очага в контур, массив точек контура сортируется по возрастанию полярных углов, под которыми видны очаги из центра кластера.

5. При замыкании пространственной фигуры, ограничивающей кластер очагов ГДЯ, алгоритм останавливается.

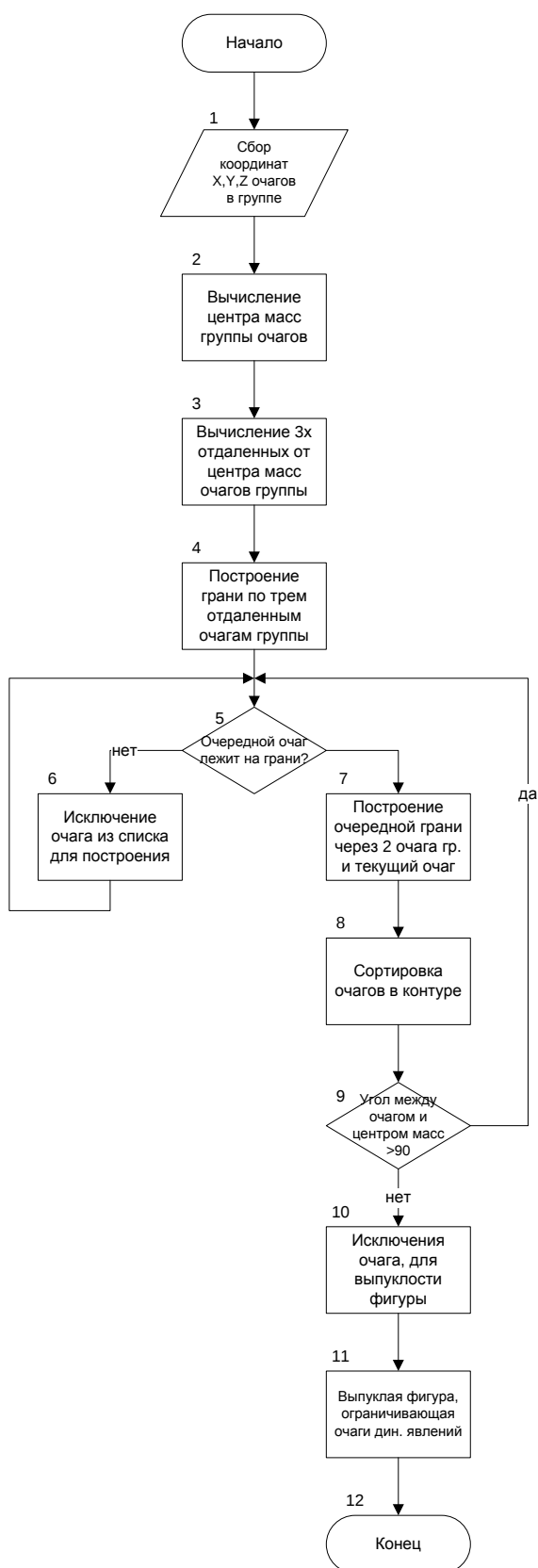


Рисунок 14 - Блок-схема алгоритма оконтуривания очагов динамических явлений в угольном пласте

В результате работы алгоритма кластер очагов будет ограничен границами, точки которых упорядочены относительно центра кластера. Фигура, ограничивающая кластер очагов ГДЯ получается исключением координат центров очагов, в которых изменение производной линии контура превышает значение 0,27.

4.7. Алгоритм прогноза места возникновения очага динамического явления в угольном пласте

Проводить работы по локализации очагов динамических явлений в угольном пласте необходимо на основе архивных данных о распределении концентраций событий и их энергии в угольном пласте. Помимо статистической информации о распределении событий в угольном пласте необходимо рассматривать текущие значения состояния угольного пласта. Для корректного расчета прогнозного влияния динамических событий на производственные участки геоинформационная система для обеспечения безопасных условий ведения горных работ должна включать алгоритмы, учитывающие корректировку координат прогнозных очагов, относительно фактических зарегистрированных очагов.

На первом этапе работы алгоритма прогноза места возникновения очага динамического явления (рисунок 15) в угольном пласте рассчитываются статистические закономерности распределения очагов динамических явлений в угольном пласте по ретроспективным данным за 17 интервалов (час, смена, сутки). После чего анализируется текущее состояние на каждом из наблюдаемых участков. Если координаты спрогнозированных явлений попадают в зону ведения технологических работ, то данным очагам присваивается повышенный уровень опасности, т.к. с большой долей вероятности они могут спровоцировать различные газо- и геодинамические явления. Для уточнения статусного состояния опасности прогнозируемых очагов необходим дополнительный анализ зон концентрации событий. Если концентрация событий в отдельно взятом объеме превышает заданного

безопасного уровня, то данные прогнозные очаги нужно относить к категории опасных.

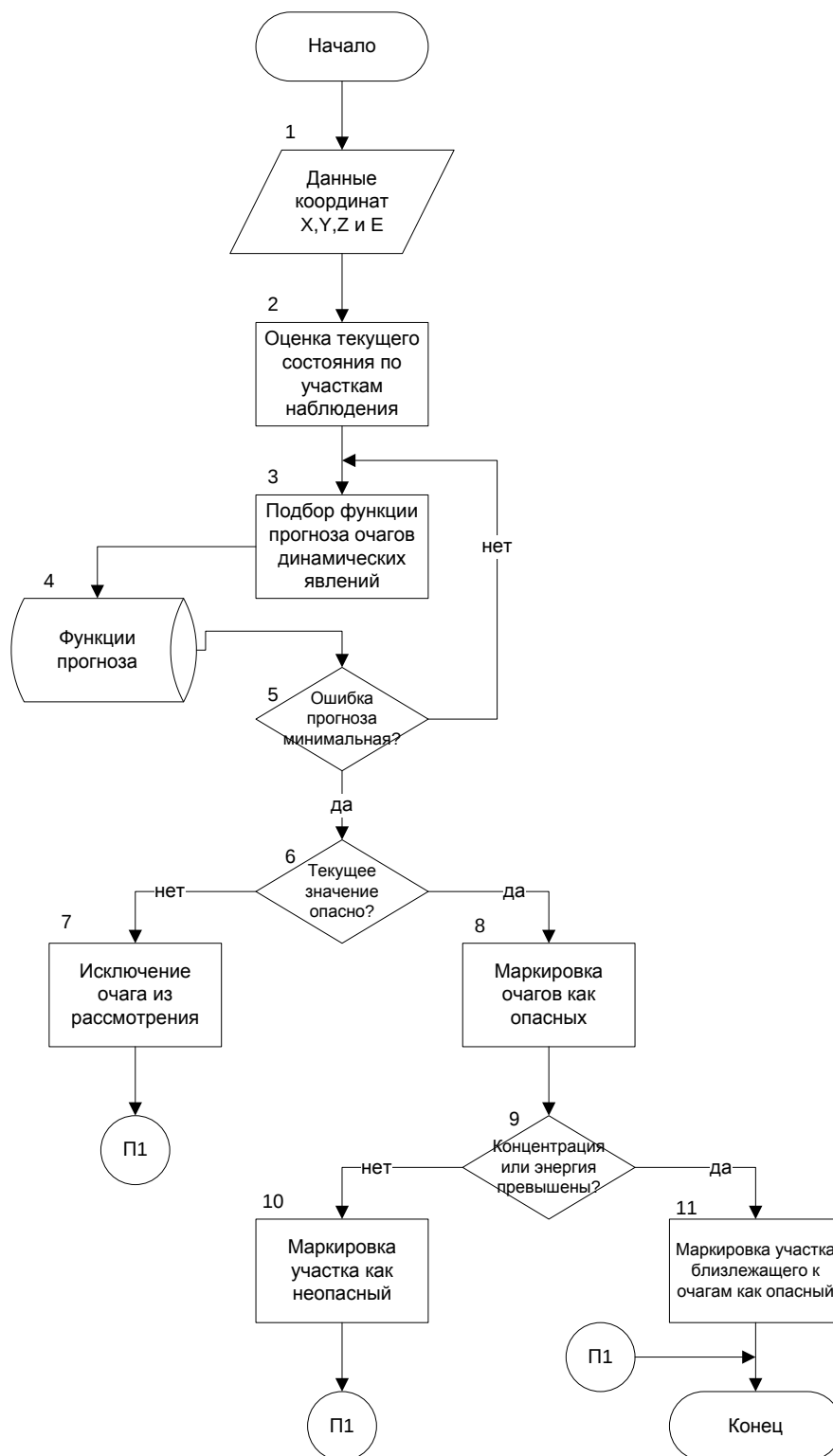


Рисунок 15 – Блок-схема алгоритма прогноза места возникновения очага явления в угольном пласте

В ходе разработки алгоритма прогноза места возникновения очага явления, были сформированы критерии оценки факторов, которые наиболее влияют на возникновение динамических явлений в угольном пласте. Из данного заключения вытекают два условия:

- ✓ Если концентрация событий или их энергий в отдельно взятом объеме пространства возрастает, то это свидетельствует о возрастании напряжений в данной области наблюдения.
- ✓ Если концентрация событий или их энергий в отдельно взятом объеме пространства снижается, то это свидетельствует о протекающих процессах разгрузки массива горных пород в наблюдаемой области.

4.8. Виды прогноза выбросоопасности и удароопасности угольного пласта

В соответствии с задачами, которые решаются в процессе разведки, строительстве и эксплуатации рудников и шахт, методы прогноза геомеханических явлений делятся на три вида: региональный, локальный и текущий. Для решения задач на различных масштабных уровнях рассмотрения и анализа элементов геологической среды необходимо создание комплексных систем геоконтроля, объединяющих в себе комплексирование данных различных мониторингов угольного пласта.

Региональный прогноз является долговременным, и под ним подразумевается предвидение реакции угольных пластов и вмещающих пород на проведение горной выработки. При этом прогнозе на всех стадиях разведки, доразведки и эксплуатации месторождений и шахтных полей решается задача оценки вероятности развития геомеханических явлений, а также выделения по площади и в разрезе границ опасных зон. Региональный прогноз, базируясь на данных геологоразведочных работ и опыте эксплуатации шахтных полей, наряду с другими сведениями с учетом использования различных способов предотвращения ГДЯ.

К задачам первого ранга относятся задачи оценки влияния крупных региональных и транзитных землетрясений на состояние безопасности

подземных горных работ. Например, такие проблемы возникли в фазу активизации сейсмических событий в г. Полысаево, когда на определенной стадии её развития очаги роения этих событий разрослись по всей Белово-Ленинской промышленной зоне Кузбасса и достигли магнитуды $M = 3$. В этом же ранге задач рассматривается оценка влияния смежных шахтных полей и крупной зоны сейсмичности г. Полысаево.

Локальный прогноз предусматривает оценку вероятности развития ГДЯ на пластах отдельных участков шахтных полей угольных шахт. Его задача заключается в объективном разграничении пластов, опасных по геомеханическим явлениям на опасные и неопасные зоны на основе комплексного изучения свойств, геологических условий разработки и установленных закономерностей. Это наиболее трудоемкий и вместе с тем, наиболее важный вид прогноза. При локальном прогнозе учитываются и уточняются данные регионального прогноза.

К задачам второго ранга отнесены задачи контроля за развитием крупномасштабных процессов на отрабатываемых пластах, охватывающих площади выемочных столбов лав, междупластий отрабатываемых пластов, выработанных пространств, уклонных полей, зон сдвижения пород. Развитие этих процессов, в основном, происходит инерционно с фазами нарастания и спада их интенсивности, в связи с чем они диктуют ритмы активизации уровней горного давления в соответствии с изменением пространственных границ территории угледобычи.

Текущий прогноз геомеханических явлений основан на непрерывном наблюдении и анализе состояния призабойной части пласта. Этот метод прогноза необходим для оперативного контроля степени опасности развития ГДЯ и решает задачу заблаговременного предупреждения шахтеров о входе забоя выработки в опасную зону и выходе из нее.

К задачам третьего ранга отнесены задачи непосредственного контроля за оценкой опасности угольного пласта в рабочих зонах отрабатываемых пластов (забой лавы, выработки), по оценке уровней действующих в

угольном пласте нагрузок, опасностей разрушений элементов систем разработки, крепи выработок, потери устойчивости обнажений горного массива.

Цели и задачи указанных подсистем мониторинга определены действующими нормативными документами «Инструкцией по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих угольные пласты, склонные к горным ударам (РД 05-328-99) и «Инструкцией по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля (породы) и газа» (РД 05-350-00). Реализация их в многофункциональных системах безопасности угольных шахт предполагает обеспечение получения и передачи централизованных потоков оперативной информации о безопасном состоянии участка недр, её постоянной доступности для структур реагирования и принятия решений.

В соответствии с представленным перечнем основных задач мониторинга безопасного состояния массива и прогноза горных ударов осуществлялся выбор оптимального состава и конструктивных особенностей системы мониторинга, адаптированной под условия шахты. В таблице 10 представлена градация задач прогноза геомеханических событий по зонам влияния различных событий.

Таблица 10 – Типовые задачи контроля безопасного состояния угольного пласта в подсистемах различного ранга как элементов многофункциональной системы безопасности на шахтах Кузбасса

Ранг подсистемы	Цель мониторинга	Основные задачи мониторинга
-----------------	------------------	-----------------------------

Ранг подсистемы	Цель мониторинга	Основные задачи мониторинга
I	Региональный прогноз уровней динамических (сейсмических) рисков	Выделение и контроль за развитием: ✓ негативных влияний прохождения волн транзитных землетрясений на состояние горной среды и подземных сооружений; ✓ состояния сейсмической и динамической активности смежных шахтных полей (в том числе затопленных) ✓ оценка влияния зон сейсмической активизации.
II	Локальный прогноз геомеханических событий	✓ оценка степени удароопасности краевых частей массива и целиков; ✓ оценка эффективности применяемых мер профилактики горных ударов; ✓ установление границ влияния ЗПГД и зон разгрузки; ✓ выявление участков интенсивного расслоения кровли; ✓ проведения геофизического обследования оконтуренных комплексно-механизированных забоев (лав) с целью выявления аномальных тектонических зон и других участков изменения геомеханических характеристик кровли; ✓ контроль за качеством установки и состоянием анкерной крепи
III	Текущий прогноз геомеханических событий	✓ получение фактических параметров удароопасного состояния массива на участках проводимых горных работ. ✓ планирование и осуществление мер профилактики горных ударов

При решении задач регионального прогноза возникновения геомеханических явлений предусматривается организация систем

сейсмологического мониторинга. Методы сейсмического контроля используются для состояния сейсмической и динамической активности смежных шахтных полей. Этими методами устанавливаются геомеханически опасные зоны, а также рассчитывается статистика количества событий и их энергия по координатам этих событий и осуществляется построение карт плотности (ФНИП 576).

Для решения задач локального прогноза предусматривается построение комплексных систем подземного сейсмоакустико-деформационного мониторинга за развитием процессов нарастания горного давления, сдвижения горных пород, развития дискретных (блоковых) деформаций в зонах геологических нарушений. Применение сейсмоакустического метода используется для оценки опасности ведения горных работ в локальных зонах, таких как проходческие и очистные выработки (РД-350-00). Измерение горного давления тензометрическими методами дает возможность точно оценить уровень опасности возникновения геомеханического явления. Этими методами устанавливаются зоны разгрузки и зоны повышенного горного давления в пределах шахтопласта.

При решении задач текущего прогноза традиционно используются системы деформационного и геофизического мониторинга удароопасности краевых частей массива, целиков, а также деформирования ответственных конструктивных элементов систем разработок и развития, связанных с ними негативных геомеханических процессов (РД-328-99). Для решения данного типа задач применяются технологии сейсмоакустических измерений косвенных характеристик эмиссий акустических активностей, возникающих в шахтном поле при разрушении массива горных пород и их уточнением точного измерения напряжений в массиве на основе тензометрического метода. Этими методами устанавливается оценка опасности влияния геомеханических событий на подготовительные выработки и очистные забои. В учет принимается оценка шумности, произведенная за интервалы времени (час, смена, сутки). Классификацию методов мониторинга опасности

динамических явлений в угольном пласте в зависимости от вида производимого прогноза оценки влияния динамических событий на угольный пласт можно представить в следующем виде: региональный прогноз (сейсмические и тензометрические измерения), локальный прогноз (сейсмоакустический и тензометрические измерения), текущий прогноз выполняется на основе сейсмоакустических измерений.

Для построения модели геомеханического явления необходимо изучить и проанализировать процессы, предвещающие его возникновение. Если такие явления имеют достаточно сложную структуру и зависят от многих факторов, то необходимо использовать такие модели, которые в процессе познания могут уточняться и совершенствоваться, оставаясь адекватной рассматриваемому явлению. Геомеханические явления в частности горные удары, выбросы газа и пыли, техногенные землетрясения относятся к быстропротекающим явлениям, которые относятся к сложно-прогнозируемым.

В Инструкции по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля (породы) и газа (РД 05-350-00) в разделе локального прогноза выбросоопасности описывается, как можно оценить опасность от возникновения внезапных газодинамических явлений с помощью измерения начальной скорости газовыделения из пробуренных в угольный массив шпуров, а также скорость десорбции и скорость газоотдачи. На основании тензометрических методов можно оценить напряженное состояние пласта, которое зависит от давления газа в угольном пласте. В разделе по расчету текущего прогноза выбросоопасности оценку выбросоопасности забоя можно вычислить на основе данных о расходе воздуха, подвигании забоя и о сечении выработки. Зона будет считаться неопасной по внезапным выбросам, если максимальная концентрация метана в выработке будет меньше критической. Также расчет текущего прогноза выбросоопасности можно производить по сравнению количественных оценок в различные промежутки времени эмиссий горного массива, где в

рассмотрение принимаются критерии «критического превышения» и «критерий двух точек», показывающие быстроту изменения оценки опасного влияния. В разделе 2.4 РД 05-350-00 дается методика для расчета текущего прогноза выбороопасности по амплитудно-частотным характеристикам сигнала.

В инструкции по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих угольные пласты, склонные к горным ударам (РД 05-328-99) описывается, как проводить региональный прогноз зон активности геомеханических процессов, с учетом зоны влияния отдельных событий, строить карты плотности и сводный каталог событий горных ударов.

В инструкции по безопасному ведению горных работ на рудных и нерудных месторождениях, объектах строительства подземных сооружений, склонных и опасных по горным ударам (РД 06-329-99) описывается применение тензометрических технологий для расчета локального и регионального прогноза удароопасности по изменению скорости деформации и напряжений (приложение 10). В приложении 4 описывается применение геомеханических методов для прогноза удароопасности на шахтах по дискованию керна и по трещиноватости массива.

В федеральных нормах и правилах в области промышленной безопасности № 576 о положении по безопасному ведению горных работ на месторождениях, склонных и опасных по горным ударам перечисляется перечень необходимых мероприятий для ведения горных работ при безопасных условиях. В приложении 9 описываются методы проведения регионального прогноза удароопасности по дискованию керна, методами сейсмической активности вычисления зон повышенного горного давления. В приложении 10 описаны методы проведения локального прогноза удароопасности с помощью геофизических методов по амплитудным характеристикам акустических сигналов, акустической эмиссии.

Для организации всестороннего контроля за возникновением различных геомеханических явлений в процессе ведения горных работ

следует использовать трехуровневую подсистему мониторинга, объединяющую подсистемы регионального прогноза (оценки) сейсмических и динамических рисков, перспективного прогноза ударо-выбросоопасности (в том числе горно-тектонических ударов) и локального прогноза ударо-выбросоопасности с решением сопутствующих геомеханических задач обеспечения безопасной добычи.

4.9. Применение сейсмической методики наблюдения эмиссии горных пород

В основе методик сейсмической оценки опасности возникновения динамических явлений положен принцип регистрации и анализа упругих колебаний горного массива (сейсмическая эмиссия), возникающих в рудниках и шахтах при разрушении горных пород. Существуют различные оценки значимости явления, но условно, к динамическим явлениям относят сейсмические явления с энергией выше 10Дж и частотой колебаний до нескольких десятков Гц.

Физические основы применения метода для оценки состояния опасности динамических явлений базируются на существовании реальной связи между колебаниями и динамическими явлениями. Очагом возникновения колебаний считается место в угольном пласте, в котором возникла сейсмическая волна. Это место одновременно может являться местом динамического разрушения структуры пород и (или) высвобождением упругой энергии.

Для обеспечения безопасности ведения горных работ сейсмические наблюдения должны охватывать все опасные по динамическим явлениям и сотрясениям районы шахты (рудника) и обеспечивать возможность регистрации и локализации (определения места) очагов сотрясений с энергией не менее 1кДж. В ситуациях с подготовительными выработками, проводимыми в районах, весьма опасных по динамическим явлениям, необходимо учитывать наблюдения колебаний с более низкими энергиями.

Сейсмические наблюдения в шахтах должны проводиться непрерывно и круглогодично измерительной сетью, соответствующим образом размещенной относительно районов, опасных по динамическим явлениям, а также обладающей соответственно подобранными техническими параметрами.

Обычно подсистемы сейсмического мониторинга применяются совместно с системой цифровой передачи сигналов и обеспечивают определение местоположения толчков, возникающих в районе горного предприятия, оценку их энергии и степени опасности по горным ударам методами сейсмологии.

Для своевременной идентификации характерных фазовых сейсмических процессов необходимо использовать большой динамический диапазон каналов регистрации и передачи данных (110дБ) с полосой регистрируемых частот (0-150 Гц) и помехоустойчивостью цифровой передачи. Данные параметры обеспечивают правильную запись как слабых сейсмических явлений порядка 10^2 Дж, так и явлений с большой энергией, без насыщения и искажения сигнала.

Непрерывная запись сейсмических сигналов на сервере в комплексе с анализом архивных данных позволяет вычислять прогноз удароопасности угольного пласта. Удобный доступ к архивным данным позволяет свободно воспроизводить записи, анализировать их и обрабатывать.

4.10. Применение сейсмоакустической методики наблюдения эмиссии горных пород

Под акустической эмиссией обычно понимают явление возникновения и распространения упругих колебаний (акустических волн) в различных процессах, развивающихся при деформации напряжённого материала и различных динамических процессах. Причиной АЭ является движение среды, что позволяет использовать ее для диагностики процессов в материалах. Эти процессы могут быть результатами существования в

угольном пласте напряжений или нестабильных состояний, во время которых возможно внезапное освобождение энергии. Это освобождение энергии образует в среде упругие волны, которые распространяются, постепенно затухая, от очага до границ среды и регистрируются как сейсмоакустические импульсы. Главным влияющим фактором на процессы микрорастрескивания, трещинообразования и сдвига, вдоль существующих трещин являются и механизм, ответственный за генерирование сейсмоакустической эмиссии.

Спектр сейсмоакустических импульсов достаточно широк: от низких частот, близких к сейсмическим, до ультразвуковых частот. Во время возникновения в породе упругих волн высшие частоты затухают быстрее и подвергаются отфильтрованию, поэтому по мере отдаления от очага в спектре импульса наблюдается относительный рост содержания составляющих низких частот. В непосредственной близости от очага регистрируются очень высокие частоты.

К сожалению, не установлено четкой частотной границы разделения сейсмической и сейсмоакустической эмиссий. Однако, в общем, под понятием сейсмоакустической эмиссии необходимо понимать явления с более высокими частотами и низшими амплитудами, зарегистрированные сейсмоакустическими датчиками.

Зарегистрированные изменения интенсивности микрорастрескивания угольного пласта и связанные с этим изменения сейсмоакустической активности коррелируются с изменениями напряжений и сигнализируют о моментах внезапного освобождения энергии, например о возможном готовящемся разрушении, или горном ударе.

4.11. Тарировочные испытания сейсмических и сейсмоакустических датчиков

Лабораторный стенд для испытания и проведения тарировки сейсмических и сейсмоакустических датчиков включает в свой состав: СМЧ

– датчик-зонд измерения сейсмической эмиссии угольного пласта, САК – датчик-зонд измерения сейсмоакустической энергии угольного пласта, регистратор-контроллер сейсмических, сейсмоакустических данных о опасности динамических явлений в угольном пласте, вибростенд – виброустановка электродинамическая ВСВ-133, АЦП – лабораторный модуль сбора данных L-Card LTR 212 и персональный компьютер со специализированным программным обеспечением.

Тарировка сейсмического датчика выполняется по следующей методике: с помощью молоточка (массой 50г и длиной ручки 200 мм) наносится серия легких ударов с расстояния 150 мм по станине вибростенда. При этом направление удара должно совпадать с направлением оси чувствительности вибропреобразователя. Сигнал с выхода сейсмического датчика подается на входы АЦП и регистратор-контроллер. Оценка точности измерения контролируемых параметров СМЧ производится путем определения центральной частоты регистрируемого АЦП и регистратора сигнала и сравнения ее значения с величинами указанными в техническом задании. Тарировка сейсмоакустического датчика осуществляется по схеме: виброустановка включается в работу в режиме воспроизведения виброускорения не менее 10 м/с^2 на фиксированной (базовой) частоте 100 ± 5 Гц. Показания АЦП и регистратора-контроллера отображаются на мониторе компьютера. Оценка точности измерения контролируемых параметров САК производится путем сравнения основной частотной гармоники регистрируемого АЦП и регистратора сигнала и соответствующего значения базовой частоты виброустановки.

4.12. Применение тензометрической методики наблюдения напряжений в угольном пласте

При исследовании напряженно-деформированного состояния (НДС) угольного пласта тензометрическим методом измеряется величина выбранного информативного тензочувствительного параметра (приращения

деформаций, напряжений и т.д.), изменяющегося в течение времени проведения измерений.

В средах с высокой прочностью ($\sigma_{пр}$) и высокой жесткостью ($E_{ср}$) до давлений, при которых сохраняется сплошность среды (например, угольного пласта), возможно с достаточной точностью установить связь между напряжением и деформациями через измерения деформаций.

Принципы работы тензорезисторных преобразователей деформаций (тензорезисторов) жесткого соединенных с упругим элементом заключается в том, что при силовом воздействии на упругий элемент происходит его сжатие или растяжение, в связи, с чем изменяется площадь поперечного сечения тензорезистора, что вызывает изменение сопротивления ΔR .

Связь между деформациями упругого элемента и изменением сопротивления тензорезистора описывается следующим соотношением:

$$\frac{\Delta l}{L} = k \cdot \frac{\Delta R}{R},$$

где L – база упругого элемента (мм), $\pm \Delta l$ – приращение базы (мм), $\pm \Delta R$ приращение сопротивления тензорезистора (Ом), R – номинальное сопротивление (Ом), k – коэффициент тензочувствительности $\sim 1,9 - 2,1$.

Исследования напряженно-деформированного состояния (НДС) угольного пласта тензометрическим методом могут проводиться двумя способами: измерением абсолютных значений напряжений или деформаций и измерением относительных изменений напряжений или деформаций. Для проведения измерений деформаций из горной выработки вглубь угольного пласта измерительная скважина, в которой размещается деформометр, с помощью которого регистрируются деформации контура скважины.

В случае измерения абсолютных значений напряжений в угольном пласте необходимо после установки динамометра создать в нем начальное пригрузочное давление, в случае напряженного состояния приближенного к гидростатическому, равное p_h . В случае если напряженное состояние угольного пласта отличается от гидростатического, начальное давление

рассчитывают по формуле: $P = \frac{\delta_i(1-\lambda)}{2}$, где δ_i – наибольшее главное напряжение; λ – коэффициент бокового распора. В пластичных горных породах λ может достигать значений 0,6 – 0,8.

Измерение абсолютных значений также можно выполнять с помощью ружья Фейта. Затем расчеты напряжений осуществляются по формулам расчета текущего напряженно-деформированного состояния и их значения сравниваются с паспортом соответствующей лавы, чтобы определить опасность полученных значений НДС угольного пласта.

В случае определения приращения напряжений в динамометре создается небольшой дополнительный распор, обеспечивающий прочный контакт динамометра с горной породой. Измерения приращений напряжений производят в трех ортогональных скважинах, направление которых совпадает с направлением главных напряжений в угольном пласте (направление главных напряжений в массиве определяется расчетно, а также геомеханическими или геофизическими методами). Приращение напряжений по осям x , y и z можно рассчитать по формулам $\Delta\delta_1 = \frac{1}{K_y}(\Delta\delta_z + \Delta\delta_y - \Delta\delta_x)$, $\Delta\delta_2 = \frac{1}{K_y}(\Delta\delta_z + \Delta\delta_x - \Delta\delta_y)$, $\Delta\delta_3 = \frac{1}{K_y}(\Delta\delta_x + \Delta\delta_y - \Delta\delta_z)$, где $\Delta\delta_1$, $\Delta\delta_2$ и $\Delta\delta_3$ – величины изменения напряжения в датчиках, расположенных соответственно по осям x , y и z ; K_y – коэффициент, учитывающий упругое взаимодействие датчика и среды.

Для оценки величины изменения напряжения за выбранный временной интервал используют методы, учитывающие значения нормальных напряжений, тензора напряжений и вектора перемещений, а также координаты точек проведения замеров, величины главных напряжений в угольном пласте.

4.13. Тарировочные испытания тензометрических датчиков

Тарировочные испытания датчиков проводятся с целью установления взаимосвязи между деформациями и напряжениями скважинные динамометры тарируют в лабораторных условиях на образцах материалов со сходными с горными породами упругими характеристиками.

Лабораторный стенд для испытания и проведения тарировочных испытаний тензометрических датчиков включает в свой состав: ТНЗ – датчик-зонд измерения деформации угольного пласта, пресс – статическая гидравлическая машина INSTRON 300 DX, регистратор-контроллер тензометрических данных о опасности динамических явлений в угольном пласте, АЦП – лабораторный модуль сбора данных L-CardLTR 212 и персональный компьютер со специализированным программным обеспечением.

Испытания тензометрического датчика осуществляется в два этапа: проверка на одноосное сжатие и проверка на многоосное сжатие. Первый этап испытаний проводится в следующей последовательности: макет ТНЗ устанавливается на платформе прессы стенда, затем пресс включается в работу в режиме одноосного ступенчатого нагружения в диапазоне 0-20 МПа, с шагом 1 МПа. Сигнал с выхода ТНЗ подается на входы АЦП и регистратор-контроллер. Показания АЦП и регистратора-контроллера отображаются на мониторе компьютера. Фиксируются показания АЦП, соответствующие каждому шагу нагружения прессы. Оценка точности измерения контролируемых параметров ТНЗ производится путем сравнения показаний АЦП и соответствующих значений механических напряжений каждого шага нагружения прессы. Второй этап испытаний на многоосное сжатие проводится в следующей последовательности: на пресс устанавливается стальной параллелепипед, без крышки, с просверленным в боку отверстием. После этого в параллелепипед помещается тензометрический датчик и через просверленное отверстие выводятся провода для подключения датчика к регистратору контроллеру, который в

свою очередь подключается к персональному компьютеру со специализированным программным обеспечением. Внутри цилиндра помещается кварцевый песок, чтобы создать состояние, приближенное к гидростатическому. После чего сверху цилиндра устанавливается пластина, для приложения усилия. Модель эксперимента многоосного сжатия тензометрического датчика представлена на рисунке 16.

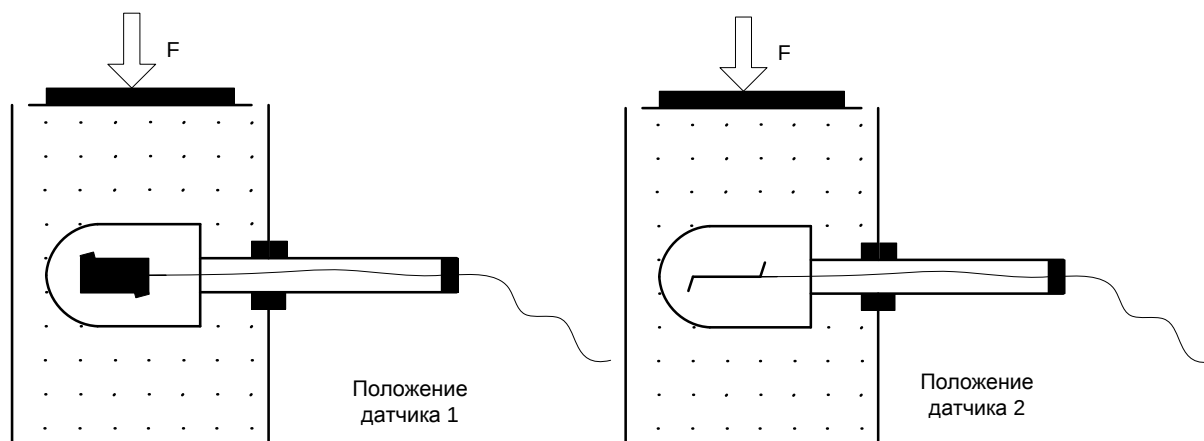


Рисунок 16 – Модель эксперимента многоосного сжатия

Так как тензометрический датчик имеет ось чувствительности, то эксперимент на многоосное сжатие проводят в двух положениях датчика (вдоль и поперек оси чувствительности датчика) для идентификации анизотропных свойств датчика. Нагружение и оценка точности работы датчика при многоосном сжатии аналогична испытаниям при одноосном сжатии на стенде.

4.14. Структура сейсмоакустических и сейсмических датчиков

Датчик-зонд измерения сейсмоакустической эмиссии угольного пласта (САК), предназначенный для обнаружения сейсмоакустических очагов критических деформаций в угольном пласте и их релаксаций (горные удары, внезапные выбросы, обрушение пород кровли в выработках и т.д.).

Общее устройство датчика-зонда САК в разрезе представлено на рисунке 17. Конструкция сейсмоакустического зонда выполнена в виде полимерного цилиндра, внутри которого расположены три

электродинамических геофона, ориентированных вдоль осей Z-X-Y для трёхкомпонентной записи сейсмоакустических сигналов.

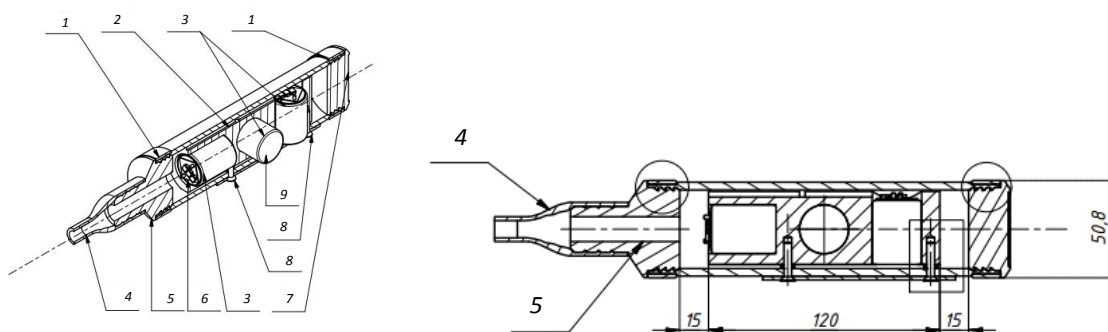


Рисунок 17 - Датчик-зонд измерения сейсмоакустической эмиссии угольного пласта САК

Обозначения на рисунках: 1 – кольцо запрессовочное, 2 – фиксирующий цилиндр, 3 – геофон, 4 – трубка термоусадочная, 5 – проходная торцевая заглушка, 6 – шунтирующий резистор, обеспечивающий уровень взрывозащиты «искробезопасная электрическая цепь» (ia), 7 – глухая торцевая заглушка, 8 – винт DIN962 M4x16, 9 – пластина крепежная.

При воздействии вибрации на геофоны они выдают электрический сигнал в виде напряжения. Датчики обеспечивают измерение сейсмоакустической эмиссии угольного пласта (вибрации в полосе частот от 28 Гц до 2 кГц) с последующим формированием аналогового выходного сигнала для его передачи, регистрирующим и записывающим устройствам.

Датчик-зонд измерения сейсмической эмиссии угольного пласта (СМЧ), предназначен для обнаружения сейсмических очагов критических деформаций в угольном пласте и их релаксаций (горные удары, внезапные выбросы, обрушение пород кровли в выработках и т.д.).

Конструкция сейсмического зонда выполнена аналогично сейсмоакустическому зонду, конструкция и технические характеристики которого описаны выше.

Функции СМЧ датчика состоят в осуществлении следующих задач: измерение сейсмической характеристики угольного пласта (вибрации в полосе частот от 1 Гц до 200 Гц) и формирование аналогового выходного сигнала для передачи информации регистрирующим и записывающим устройствам.

4.15. Структура тензометрических датчиков

Тензодатчик или тенезометрический преобразователь представляет собой электромеханический прибор, преобразующий деформацию регистрирующего механического устройства в электрический сигнал.

Тензометрические датчики-зонды, построенные на основе тензометрических преобразователей используются для измерения деформаций угольного пласта. В своем составе данные типы датчиков содержат чувствительный тензометрический элемент с анкерными зонами, кабель, отличающийся тем, что, с целью обеспечения возможности правильной установки в скважине, выполненной в толще угольного пласта, и повышения достоверности измерения деформаций, в него введен закладной узел, выполненный в виде параллелепипеда. Специальный чувствительный тензометрический элемент выполнен в виде пластины и замоноличен в закладном узле, размеры чувствительного тензометрического элемента и закладного узла, при этом на закладной узел нанесен защитный слой - натриевое жидкое стекло с инертным наполнителем. На рисунке 18 представлена структура тензометрического датчика-зонда с обозначениями: 1 – закладной узел, 2 – пластина, 3 – выходной кабель, 4 – тензорезисторы, 5 – герметик, 6 – анкерные элементы пластины, 7 – защитный слой натриевого жидкого стекла с инертным наполнителем.

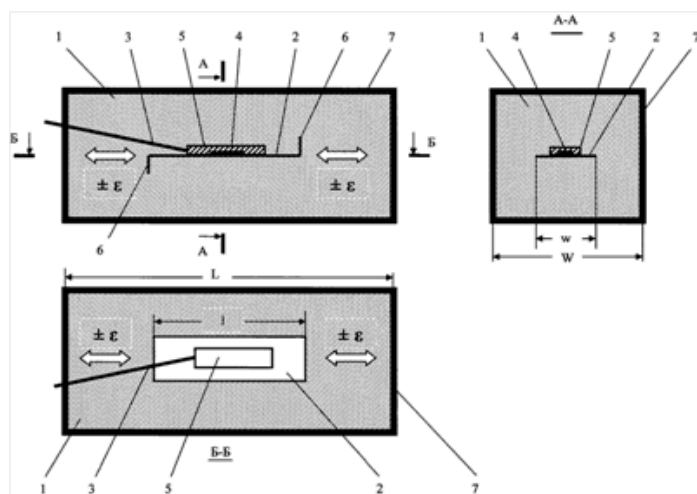


Рисунок 18 – Структура тензометрического датчика-зонда

4.16. Принципы размещения сейсмоакустических, сейсмических и тензометрических датчиков в угольном пласте

В зависимости от вида датчика и выполняемых им функций принципы размещения, а также установка конкретного датчика в угольном пласте существенно разнятся.

Сейсмоакустические датчики устанавливаются только в выработках, пройденных по угольному пласту (рудному телу). Места установки датчиков САК выбираются так, чтобы в процессе ведения горных работ в непосредственной близости от очистного или подготовительного забоя (не далее 50 метров) всегда находилась пара симметрично расположенных относительно плоскости забоя датчиков САК. По мере подвигания очистного или подготовительного забоя вступают в работу заранее установленные новые датчики, а датчики, вышедшие из указанной зоны (для подготовительного забоя) или попадающие в зону работы очистной лавы (для очистного забоя), демонтируются.

На рисунке 19 изображена примерная схема размещения сейсмоакустических датчиков в добычных выработках при системе разработки длинными очистными забоями (лавами). Из приведенной схемы видно, что датчики размещаются в скважинах, пробуренных горизонтально в выемочном столбе с обеих сторон (из конвейерного и вентиляционного штреков) на расстоянии до 50 метров от груди забоя в направлении его подвигания. По мере подвигания забоя ближайшие к лаве датчики демонтируются.

Сейсмические датчики могут быть установлены в магистральных и капитальных выработках как пластовых, так и полевых. Это обусловлено тем, что проницаемость угольного пласта при распространении сейсмических колебаний в диапазоне частот от 1 до 200 Гц практически не зависит от его свойств. Места установки датчиков СМЧ выбираются с таким расчётом, чтобы условная геометрическая линия, образованная цепью этих

датчиков в плане горизонта шахты, образовывала, по возможности, замкнутый контур. Если датчики СМЧ устанавливаются одновременно на нескольких смежных горизонтах, желательно также, чтобы сеть этих датчиков образовывала условную замкнутую поверхность, охватывающую единый связный угольный пласт, внутри которого планируется осуществлять сейсмический мониторинг.

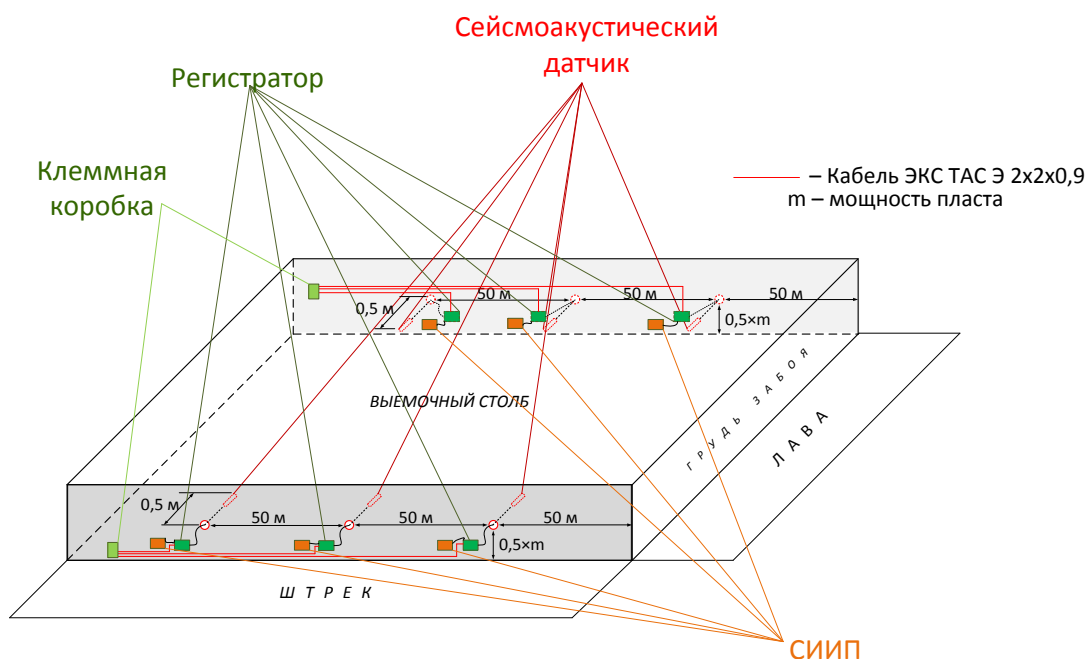


Рисунок 19 – Схема размещения сейсмоакустического оборудования на отрабатываемом пласте

Установка тензометрических датчиков в угольный пласт аналогична принципам расстановки сейсмоакустических датчиков, а именно их рекомендуется устанавливать в выработках, пройденных по угольному пласту вдоль вентиляционного и конвейерного штреков

Если установка тензометрического датчика в единичном экземпляре в конкретном месте угольного пласта подразумевает определение напряжений в заданной точке угольного пласта. То совместное использование нескольких тензометрических датчиков при одновременном анализе информации с этих датчиков позволяет сформировать пространственную картину о перераспределении напряжений в зоне установки датчиков в виде гиперкуба

напряжений. Значения данного гиперкуба могут показывать насколько опасна данная горно-геологическая обстановка в угольном пласте пород для безопасного ведения горных работ при возможных неблагоприятных проявлениях различных динамических явлений в контролируемой зоне.

4.17. Построение оптимальной структуры архитектуры нейронной сети

Для решения различного рода задач, в зависимости от количества влияющих факторов и количества возможных вариантов решений разрабатывается оптимальная архитектура нейронной сети для конкретной задачи. Для решения задачи прогноза оценки опасности динамических явлений в угольном пласте в качестве входных нейронов принимаются влияющие факторы математической модели оценки состояния массива горных пород, а нейронами выходного слоя принимаются всевозможные оценки состояния углепородного массива. Количество входных нейронов для нейросети оценки опасности динамических явлений в угольном пласте соответствует количеству входных факторов модели оценки опасности и равно девяти. Входной слой нейронной сети составляют факторы: «Интенсивность подвигания забоя», «Количество импульсов в единицу времени», «Мощность зарегистрированных явлений», «Состояние рудничной атмосферы», «Расстояние от эпицентра явления до ближайшего забоя», «Изменение состава амплитудно-частотных характеристик искусственного сигнала», «Объемная концентрация событий» и «Объемная мощность очагов». Выходной слой нейросети представлен четырьмя нейронами, которые соответствуют возможным оценкам опасности динамических явлений в угольном пласте и принимают следующие значения: «Неопасное», «Слабоопасное», «Среднеопасное» и «Опасное».

Исходя из перечисленных входных и выходных факторов разработана архитектура нейронной сети, которая включает в себя девять нейронов во входном слое, на которые подаются значения факторов, влияющих на изменение оценки опасности динамических явлений в угольном пласте, и

четыре нейрона в выходном слое, характеризующих прогнозную оценку опасности угольного пласта. Архитектура полученной модели нейронной сети представлена на рисунке 20.

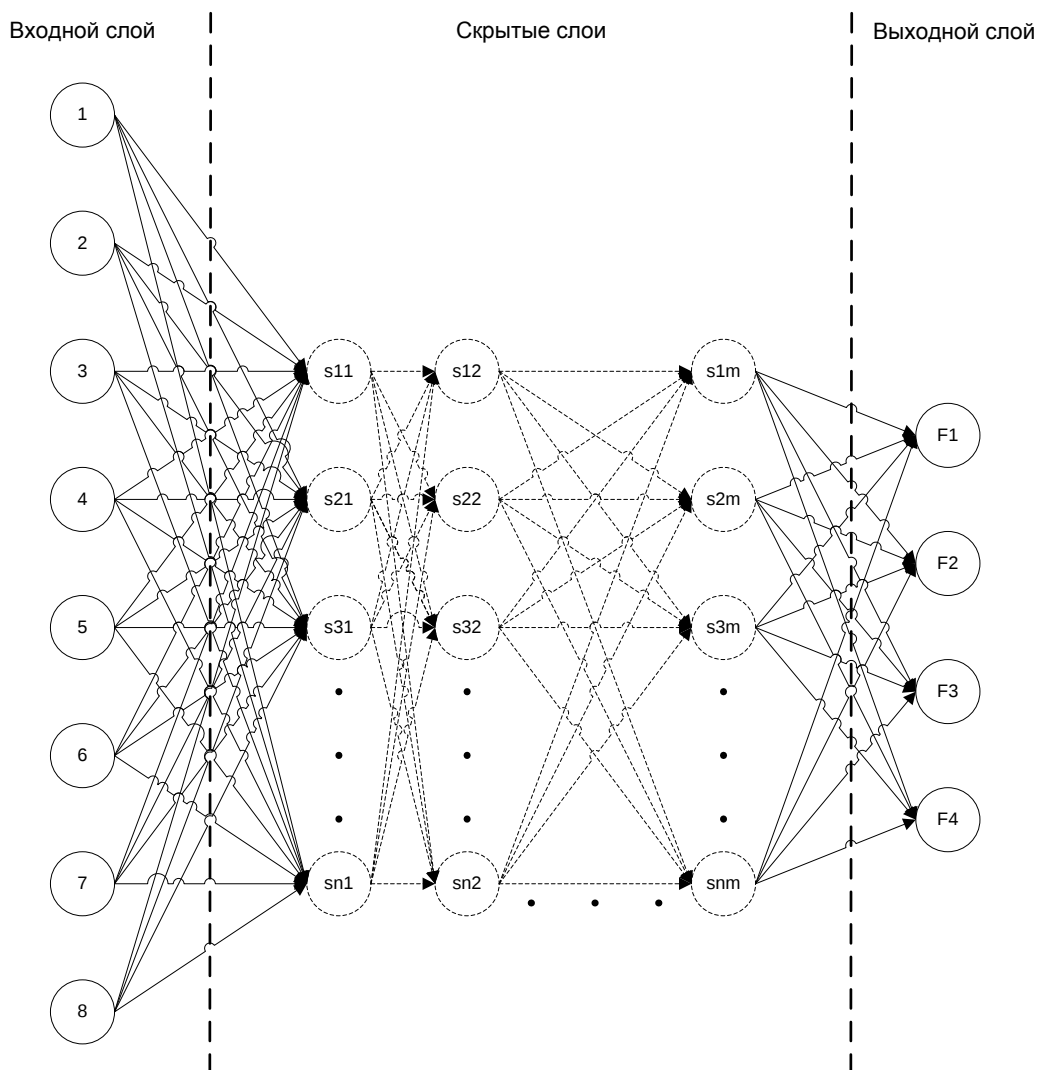


Рисунок 20 – Модель архитектуры нейронной сети для вычисления оценки опасности динамических явлений в угольном пласте

При выборе архитектуры сети также важно правильно подобрать функцию активации, вычисляющую выходной сигнал искусственного нейрона. Виды функции активации могут быть следующие: пороговый (рисунок 21 а), кусочно-линейный (рисунок 21 б) и сигмовидный (рисунок 21 в), а также их производные[3][4]. Математические представления функций активации нейрона приведены в таблице 11.

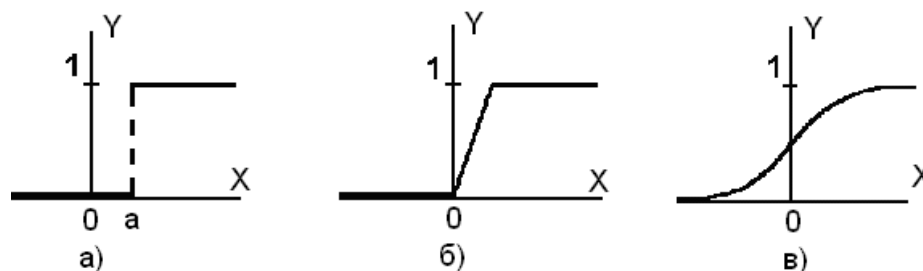


Рисунок 21 – Виды функций активации нейрона

Таблица 11 – Математические формулы функций активации нейрона

Название	Формула	Область значений
Пороговая	$f(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ 1, & x \geq a \end{cases}$	$\{ 0 ; 1 \}$
Кусочно-линейная	$f(x) = \begin{cases} k_0 x + b_0, & x < x_1 \\ k_1 x + b_1, & x_1 < x < x_2 \\ \dots \\ k_n x + b_n, & x_n < x \end{cases}$	$[0 ; 1]$
Сигмовидная	$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$	$(0 ; 1)$

Процесс подбора количества скрытых слоев, количества нейронов в скрытом слое и функций активации нейронов в нейросети кардинально влияет как на процесс обучения сети, так и на качество результатов прогноза. Ниже приведена таблица количества устойчивых переходных процессов в серии экспериментов при сигмовидной функции активации в скрытом слое (Таблица 12). Максимальное количество удачных исходов равняется 9, что меньше, чем при сигмовидной функции активации.

Таблица 12 – Количество удачных экспериментов при сигмовидной функции активации

		Кол-во нейронов в скрытом слое									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кол-во скрытых слоев	1	0	0	1	3	7	9	4	1	0	0
	2	0	0	2	5	6	8	4	1	0	7
	3	0	8	8	8	8	6	5	5	4	5
	4	0	5	6	6	6	3	4	7	4	7
	5	0	2	7	3	4	7	3	6	5	7
	6	0	6	6	6	3	6	6	7	4	6

		Кол-во нейронов в скрытом слое									
	7	0	6	6	4	4	1	2	6	3	6
	8	0	3	4	1	2	2	3	4	5	5
	9	0	1	0	3	5	4	2	4	3	3
	10	0	1	0	1	3	4	2	3	1	5

Обучение нейронной сети производят большим количеством тренировочных выборок, множество примеров в которых пересекается между собой, Блок-схема алгоритма обучения нейронной сети (рисунок 22).

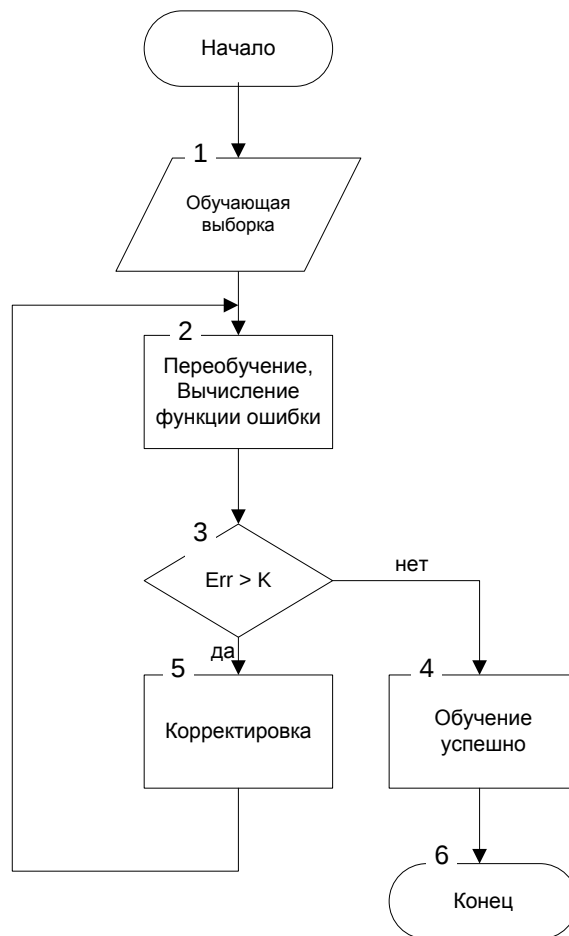


Рисунок 22 - Блок-схема алгоритма обучения нейронной сети

После каждой итерации обучения вычисляют ошибку обучения. Обычно величина ошибки равна сумме квадратов ошибок по всем выходам. Существует множество различных алгоритмов для обучения нейронной сети. Самым распространенным и общим для всех видов сетей является алгоритм обратного распространения ошибки. Алгоритм обратного распространения ошибки заключается в следующем: после вычисления вектора ошибки сети, при следующей итерации обучения сети на входной слой её нейронов

подается корректирующая функция обучающей выборки, состоящая из значений необходимого результата с вычетом значений ответа нейронной сети на предыдущем этапе обучения. Поэтому ответы на следующем этапе будут иметь более близкие к необходимому результату ответы. Обучение нейронной сети прекращается когда будет, достигнут необходимый заранее заданный уровень процент правильных результатов работы нейронной сети.

4.18. Дискретизация значений выходного слоя нейронов для прогноза оценки опасности угольного пласта

Существуют разные потребности в оценке влияния динамического явления на безопасность ведения горных работ, для каждого конкретного региона расположения шахты в зависимости от местной горно-геологической обстановки, а также от параметров угольного пласта. В зависимости от всех влияющих факторов при учете прогноза оценки опасности динамических явлений в угольном пласте осуществляется необходимость производить градацию значений оценки с различными интервалами, например на 2х степенную (опасное или не опасное состояние) или 4х степенную – с различными оценками опасности.

При рассмотрении значений, получаемых на нейроне выходного слоя нейронной сети, то при 2х степенной градации прогноза оценки опасности динамических явлений в угольном пласте будет иметь такие значения: F1 – неопасное, а F2 – опасное. При 4х степенной градации значений выходного слоя соответствуют значениям функции опасности угольного пласта: F1 – не опасное, F2 – слабоопасное, F3 – среднеопасное и F4 – сильноопасное. Нейрон выходного слоя, у которого значение будет максимальным, по сравнению с другими выходными нейронами и будет показывать наиболее приемлемое решение при заданных величинах входных факторов.

Числовые интервалы значений для разграничения типов состояний при 2х и 4х степенной градации прогноза оценки опасности динамических явлений в угольном пласте при возможных неблагоприятных проявлений

газодинамических явлений, влияющих на безопасность ведения горных работ можно представить виде таблиц:

- ✓ 4х степенная градация оценки опасности влияния динамического явления:

Значение выхода нейросети	Интерпретация состояния
[0, 0.20]	Неопасное
(0.20, 0.45]	Слабоопасное
(0.45, 0.81]	Среднеопасное
(0.81, 1]	Сильноопасное

- ✓ 2х степенная градация оценки опасности влияния динамического явления:

Значение выхода нейросети	Интерпретация состояния
[0, 0.5]	Неопасное
(0.5, 1]	Опасное

4.19. Описание принципа расчета прогноза оценки опасности динамических явлений в угольном пласте по участкам локализации динамических событий

Вычисления прогнозных оценок состояния массива горных пород по различным участкам осуществляется на основе одинаковых процедур, только при расчете прогноза для разных участков шахты входные данные для этих процедур будут значениями соответствующих расположений участков, а также установленных в них датчиков.

При проведении исследований оценки опасности динамических явлений в угольном пласте по региональному прогнозу в расчёт принимается информация, полученная от сейсмических датчиков и анализируется по временным интервалам за час, смена, сутки на основе архива информации за предыдущие семнадцать временных интервалов с горизонтом прогнозирования в семь интервалов. Для расчета проведения исследований оценки опасности динамических явлений в угольном пласте в локальных

зонах в расчёт принимается информация, полученная от сейсмоакустических и тензометрических датчиков и анализируется по временным интервалам за час, смена, сутки на основе архива информации за предыдущие семнадцать временных интервалов с горизонтом прогнозирования в семь интервалов. Анализ таких временных рядов предполагает использование методов сглаживания данных, выполненного с помощью скользящего, кулисообразно перекрывающегося интервала осреднения величин активностей и их энергий, сдвигаемого с заданной периодичностью на определенный параметр величины активности или их энергий, зарегистрированных за этот период. В зависимости от вида прогнозируемой опасности и горно-геологических условий в забое указанные параметры должны быть изменены.

При проведении исследований оценки опасности динамических явлений в угольном пласте с помощью средств текущего прогнозирования в расчёт принимается информация, полученная от сейсмических, сейсмоакустических и тензометрических датчиков и анализируется по временным интервалам за час, смена, сутки на основе архива информации за предыдущие семнадцать временных интервалов с горизонтом прогнозирования в семь интервалов с учетом влияния факторов расположения забоев относительно локализации газодинамических событий и зон их опасного действия.

Работа алгоритма прогноза оценки опасности динамических явлений в угольном пласте использует стандартные процедуры обработки информации для региональной, локальной и текущей оценки опасности влияния возникшего газодинамического явления на безопасность ведения горных работ, лишь только с разницей в учете типа датчика и положения анализируемых участков и подразделяется на четыре этапа: этап «Сбора данных», этап «Обработка данных», этап «Анализ данных» и этап «Прогноз». На этапе «Сбора данных» осуществляется формирование выборок по часовым, сменным и суточным временным интервалам их архива базы данных за предыдущие семнадцать интервалов наблюдения. На этапе

обработки данных осуществляется необходимое масштабирование, а также очистка временных рядов от зашумленности. Этап анализа включает в себя учет влияющих факторов на оценку опасности динамических явлений в угольном пласте. На этапе прогноза производится расчет прогнозных показателей оценки опасности динамических явлений в угольном пласте на основе данных анализа влияющих факторов.

4.20. Исследование сочетания влияющих факторов на зависимый параметр оценки опасности динамических явлений в угольном пласте

Значения влияющих факторов оказывают разное влияние на прогнозируемый параметр в зависимости от количества состояний прогнозируемого параметра. Так при четырех параметрах оценки опасности динамических явлений в угольном пласте при изменении влияющего фактора F3 - Количество импульсов в единицу времени (значение влияющего фактора равно 0,21) с неопасного значения на опасное приводит к изменению общей оценки опасности динамических явлений в угольном пласте в регионе, где зарегистрировано предельное количество шумности с неопасного на слабоопасное состояние (0 – 0,2). Тогда как при двух параметрах оценки опасности динамических явлений в угольном пласте такое же изменение фактора количества импульсов в единицу времени на 0,21 не оказывает влияния на общую оценку опасности динамических явлений в угольном пласте, т.к. она изменяется со значения неопасное состояние на опасное в пределах с 0 до 0,5. При использовании четырех уровневой градации прогнозной оценки опасности динамических явлений в угольном пласте и одновременном изменении факторов «F1 – Интенсивность подвигания забоя» и «F2 – Состояние выемочных комплексов» в сторону превышения их безопасного заранее заданного уровня произойдет изменение оценки опасности динамических явлений в угольном пласте на один значимый интервал, т.к. суммарное значение одновременного влияния этих факторов будет равно 0,25, а интервал изменения состояния при четырех

параметрической оценки состояния массива горны пород равен 0,2. Но при использовании двух уровневую градацию оценки опасности динамических явлений в угольном пласте интервал варьирования параметра оценки опасности динамических явлений в угольном пласте будет равен 0,5, и при суммарном значении изменения влияющих факторов на оценку состояния горны пород в 0,25 смены оценки опасности состояния не произойдет. Общее правило изменения оценки опасности динамических явлений в угольном пласте, от изменения значений влияющих факторов можно представить в

виде зависимости: $\Delta R(x) = \sum_1^n F_n \cdot V_n$ и $\Delta = \begin{cases} 1, & \sum_1^n F_n V_n \geq \text{rank}(R) \\ 0, & \sum_1^n F_n V_n < \text{rank}(R) \end{cases}$, где $\Delta R(x)$ –

возможное изменение оценки опасности динамических явлений в угольном пласте, F_x – влияющий фактор, V_n – весовой коэффициент влияющего фактора, n – количество влияющих факторов на оценку опасности динамических явлений в угольном пласте.

В приложении А3 приведено полное описание исследования зависимости влияющих факторов на изменение величины оценки опасности динамических явлений в угольном пласте. Обозначения 0 и 1 соответствуют значениям влияющих факторов как неопасное и опасное при двухуровневой классификации опасности динамических явлений в угольном пласте. Обозначения 0, 1, 2 и 3 соответствуют значениям результирующей оценки опасности динамических явлений в угольном пласте как «неопасное», «слабоопасное», «среднеопасное» и «сильноопасное». Анализ различных влияющих факторов, а также их взаимное изменение на оценку опасности динамических явлений в угольном пласте, что факторы имеющие наивысшую степень влияния на зависимый параметр – это факторы «Количества импульсов в единицу времени» и «Количества энергии в единицу времени» при превышении безопасных уровне каждого из которых влечет изменение оценки опасности динамических явлений в угольном

пласте. Из многофакторной оценки опасности динамических явлений в угольном пласте факторы с среднезначимыми величинами являются факторы: «Интенсивность подвигания забоя», «Состояние выемочных комплексов», «Расстояние от эпицентра выявленного явления», «Состояния рудничной атмосферы» и «Амплитудно-частотная характеристика выявленного явления». После проведения анализа многофакторной модели оценки опасности динамических явлений в угольном пласте малозначимыми факторами оказались факторы «Плотность распределения событий» и «Плотность распределения энергии событий».

4.21. Выявление связи частоты сейсмоакустического сигнала от значения величины действующих напряжений в угольном пласте

Обычно источником акустических колебаний при разрушении угольного забоя в исследуемой области спектра является не непосредственно рабочий орган механизированного комплекса, бурильного оборудования и т.п., а собственно процесс разрушения горных пород, вызываемый этим технологическим воздействием. При этом отклик трещины на силовое воздействие должен быть резонансным. Акустические колебания, возникающие в ходе этого процесса, распространяется от зоны первичного разрушения вглубь угольного пласта, до плоскости максимума опорного давления, от которой, они испытывают наибольшее отражение.

На рисунке 23 показаны три характерные зоны влияния выработанного пространства на распределение напряжений впереди горной выработки. Вмещающие породы и горная выработка, на которые технологическое воздействие оказывает угольный пласт плоскость максимального значения опорного давления источник акустических колебаний шпур с геофоном отделены друг от друга толстыми штрихпунктирными линиями. Слабым пунктиром в зоне начального напряженного состояния показана волна, прошедшая через плоскость максимума опорного давления, и уходящая на бесконечность.

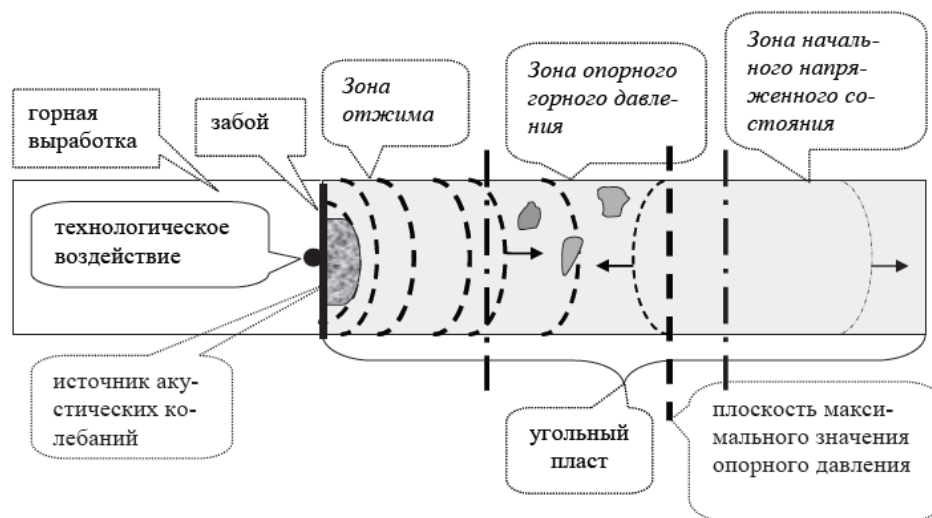


Рисунок 23 – Схема процесса распределения акустических колебаний в угольном пласте (область неправильной формы темно-серого цвета в зоне опорного давления)

Акустические колебания распространяются от источника колебаний (зоны первичного разрушения пород в призабойной области) по угольному пласту. Последний, в данном случае, можно приближенно рассматривать как акустический волновод, ограниченный сверху и снизу кровлей и почвой выработки, состоящих соответственно из пород значительно отличающимися по физико-механическим свойствам от аналогичных свойств угольного пласта. Степень не идеальности границ отражающих поверхностей такого волновода определяется различием их коэффициентов крепости, которое в предельном случае, составляет около 10 раз. При этом возбужденные в призабойной области сейсмоакустические колебания по мере распространения вглубь пласта изменяются за счет прохождения через среду с переменными параметрами, у которой изменяется напряженность и горное давление. Отсюда можно сделать вывод, что разрывные нарушения могут выступать в качестве индикатора напряженно-деформированного состояния угольного пласта. Участок угольного пласта, в котором развивается подобные явления, находится в неустойчивом напряженно состоянии.

Мощность эмиссии сейсмоакустических волн описывается выражением: $W_s = \mathcal{E}_1 \cdot N$, где $\mathcal{E}_1$ – энергия излучения, N – число трещин. Мощность упругого деформирования принимается равной мощности

сейсмоакустического импульса, за момент времени равным длительности импульса и характеризуется действующими в объеме деформирования напряжениями: $W_g = \frac{2(1-\mu)}{G \cdot \tau} \delta_e^2 \cdot a^3$, преобразуя последние две формулы и выразив число трещин и величину напряжений в угольном пласте получим формулу связи частоты сигнала с действующими напряжениями: $\delta_e = \sqrt{\frac{N \cdot G \cdot \tau}{2a^3(1-\mu)}} = N \sqrt{\frac{G \cdot h \cdot \nu \cdot \tau}{2a^3(1-\mu)}}$, где δ_e – величина напряжений – граничное напряжение одноосного сжатия, эквивалентное сложному напряженному состоянию, N – количество трещин, μ – коэффициент Пуассона (0,345 каменного угля), G – модуль сдвига, а – характерный размер трещин (0,003), τ – длительность импульса, h – постоянная планка ($6,626 \times 10^{-34}$ Дж*с), ν – частота излучения.

Исследования, проводимые на шахте им Кирова, при характеристиках угольного пласта представленных в таблице 13 сопоставляются с расчетными данными при подстановке соответствующих значений показателей характеризующих угольный пласт. Выражение зависимости напряжения в угольном пласте от количества трещин выглядит следующим образом:

$$\delta_e = N \sqrt{\frac{1 \cdot 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 766 \cdot 0,05}{2 \cdot (0,003)^3 \cdot (1-0,345)}} = N \sqrt{\frac{38,3}{0,00000003537}} = N \cdot 32906 \text{ Па} = N \cdot 32 \text{ КПа}.$$

Для глубин залегания пласта Поленовский расчетные значения величин напряжений в угольном пласте должны быть порядка 5-10 МПа. При пересчете значений формулы зависимости напряжения от частоты и длительности импульса сейсмоакустической эмиссии получаются следующие зависимости: $\delta_e = 1000 \cdot 5317 \cdot \sqrt{\nu \cdot \tau} = 5,317 \cdot 10^6 \cdot \sqrt{\nu \cdot \tau}$ и $\delta = 5,317 \cdot 10^6 \cdot \sqrt{\nu \cdot \tau} (\text{Па}) = 5,317 \cdot \sqrt{\nu \cdot \tau} (\text{МПа})$.

Таблица 13 – Характеристики угольного пласта

Наименование коэффициента	Значение
скорость волны в ГМ - C	2500
плотность пласта - ρ_0	1400
коэффициент затухания - KЗ	0,1
коэффициент критического превышения - Kкр	4

Наименование коэффициента	Значение
критерий АЧХ - Качх	3
отношение Qп/Qр за 10 минут - Kv	0,8
газодинамический показатель - Rk	0,65
Минимальная длительность импульса, мкс	50
Максимальная длительность импульса, мкс	1000
Глубина залегания пласта	200
Трещиноватость пород	90-60

В период проведения эксперимента на шахте им. С.М. Кирова были зарегистрированные импульсы от различных газодинамических явлений с характеристиками, представленными в таблице 14.

Таблица 14 – Характеристики зарегистрированных импульсов

№	Частота	Длительность	Энергия
1	619	589	0,707
2	801	767	32,955
3	748	484	1,04
4	582	758	13,931
5	523	408	0,641
6	962	535	1,318
7	245	770	0,555
8	969	758	57,497
9	682	774	2,136
10	816	394	0,773
11	594	599	0,851
12	994	379	6,71
13	810	326	1,194
14	826	303	0,835
Ср	726	560	

При подстановке данных о зарегистрированных импульсах в угольном пласте получаются предсказанные значения напряжений на данной глубине залегания угольного пласта:

$$\delta = 5,317 \cdot 10^6 \cdot \sqrt{\nu \cdot \tau} (\text{Па}) = 5,317 \cdot \sqrt{\nu \cdot \tau} (\text{МПа}) = 3,379 (\text{МПа}).$$

Вывод: Правильное соотношение расчетных и практических данных говорит о правильной выборе методов измерения характеристик угольного пласта, постановке и проведении эксперимента.

Исследования, проводимые на шахте Заполярная с горно-геологическими характеристиками угольного пласта представленными в таблице 15 сопоставляются с расчетными данными при подстановке соответствующих значений показателей характеризующих угольного пласта. Выражение зависимости напряжения в угольном пласте от количества трещин выглядит следующим образом:

$$\delta_e = N \sqrt{\frac{1 \cdot 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 766 \cdot 0,05}{2 \cdot (0,005)^3 \cdot (1 - 0,212)}} = N \sqrt{\frac{38,3}{0,0000000197}} = N \cdot 13943 \text{ Па} = N \cdot 13 \text{ КПа}.$$

Для глубин залегания пласта Тройной расчетные значения величин напряжений в угольном пласте должны быть порядка 25-30 МПа. При пересчете значений формулы зависимости напряжения от частоты и длительности импульса сейсмоакустической эмиссии получаются следующие зависимости: $\delta_e = 1000 \cdot 4200 \cdot \sqrt{\nu \cdot \tau} = 4,2 \cdot 10^6 \cdot \sqrt{\nu \cdot \tau}$ и $\delta = 4,2 \cdot 10^6 \cdot \sqrt{\nu \cdot \tau} (\text{Па}) = 4,2 \cdot \sqrt{\nu \cdot \tau} (\text{МПа})$.

Таблица 15 – Характеристики угольного пласта

Наименование коэффициента	Значение
скорость волны в ГМ - С	2500
плотность пласта - ρ_0	1400
коэффициент затухания - КЗ	0,1
коэффициент критического превышения - Ккр	4
критерий АЧХ - Качх	3
отношение Q_p/Q_r за 10 минут - К ν	0,8
газодинамический показатель - Rk	0,65
Минимальная длительность импульса, мкс	50
Максимальная длительность импульса, мкс	1000
Глубина залегания пласта	810
Трещиноватость пород	40-60

В период проведения исследований на шахте Заполярная были зарегистрированные импульсы от различных газодинамических явлений с характеристиками, представленными в таблице 16.

Таблица 16 – Характеристики зарегистрированных импульсов

№	Частота	Длительность	Энергия
1	825	467	0,707

№	Частота	Длительность	Энергия
2	808	457	32,955
3	814	443	1,04
4	825	454	13,931
5	801	444	0,641
6	828	452	1,318
7	809	437	0,555
8	807	442	57,497
9	795	471	2,136
10	832	436	0,773
11	811	444	0,851
12	801	441	6,71
13	832	447	1,194
14	828	434	0,835
Ср	816	455	

При подстановке данных о зарегистрированных импульсах в угольном пласте получаются предсказанные значения напряжений на данной глубине залегания угольного пласта: $\delta = 4,2 \cdot 10^6 \cdot \sqrt{\nu \cdot \tau} (Па) = 4,2 \cdot \sqrt{\nu \cdot \tau} (МПа) = 25,59 (МПа)$.

Вывод: Проведение исследований в разных горно-геологических условиях на пластах с различными характеристиками крепости угля и глубиной залегания показали, что применяемые при постановке эксперимента методы и средства измерений показали ожидаемые результаты, что свидетельствует о правильности проведения исследований.

ВЫВОДЫ

1. Произведены вычисления степени влияния независимых факторов на критериальный фактор оценки опасного влияния возникающих динамических явлений и оценки опасности динамических явлений в угольном пласте при ведении горных работ.

2. Произведено исследование многофакторной модели оценки опасности динамических явлений в угольном пласте на противоречивость и мультиколлинеарность входящих в неё влияющих факторов.

3. Разработан и описан алгоритм оценки опасности динамических явлений в угольном пласте с применением адаптивных методов для прогнозирования быстропротекающих процессов в угольном пласте.

4. Построена оптимальная структура нейронной сети для помощи оценки опасности динамических явлений в угольном пласте в зависимости от величины влияющих факторов и прогноза возникновения неблагоприятных проявлений динамических явлений в угольном пласте.

5. Разработан принцип и алгоритм учета пространственного расположения зарегистрированных и прогнозируемых динамических событий в угольном пласте и их влияния на оценку опасности динамических явлений в угольном пласте при ведении горных работ.

5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В УГОЛЬНОМ ПЛАСТЕ

Проведение практических исследований позволяет раскрыть суть и содержание исследуемых явлений при подготовительных процессах формирования динамических явлений в угольном пласте и проводить оценку его опасности. Проведение удачных экспериментов, свидетельствует о положительных результатах в процессах познания и модели оценки опасности динамических явлений в угольном пласте, определения развития и возможностей использования полученных знаний. Основная задача практического исследования заключается в повышении эффективности деятельности горнопромышленного предприятия за счет внедрения разработанной модели оценки опасности динамических явлений в угольном пласте, различных алгоритмов и процедур заблаговременной идентификации подготовительных процессов гео- и газодинамических явлений для обеспечения безопасных условий ведения горных работ.

5.1. Технические решения по структуре и обслуживанию геоинформационной системы оценки опасности динамических явлений

Автоматизированная геоинформационная система оценки опасности динамических явлений в угольном пласте имеет в своем составе несколько функциональных подсистем: сейсмического мониторинга, сейсмоакустического мониторинга, тензометрического мониторинга, оценки опасности динамических явлений в угольном пласте и прогноза состояния углевмещающего массива. Данная система построена по иерархическому принципу и включает в себя устройства различного уровня:

а). устройства нижнего уровня, предназначенные для получения информации об объекте мониторинга, в виде датчиков-зондов измерения параметров, характеризующих оценку опасности динамических явлений

возникающих в угольном пласте, выполненных во взрывобезопасном исполнении;

Датчики-зонды измерения сейсмической и сейсмоакустической эмиссии для обнаружения очагов критических деформаций в углепородном массиве и их релаксации обладают характеристиками для измерения вибрации в полосе сейсмоакустических частот от 28 Гц до 2кГц и сейсмических частот от 1 до 200 Гц, а также формирования аналогового выходного сигнала для передачи в регистратор-контроллер.

б). устройства среднего уровня – регистраторы-контроллеры, модемы, промежуточные усилители и медиаконвертеры – предназначенные для сбора информации от датчиков, предварительной обработки информации, обмена информацией с техническими средствами верхнего уровня через общешахтную высокоскоростную информационную магистраль;

Регистраторы-контроллеры, входящие в состав подсистемы среднего уровня, обеспечивают синхронную запись аналоговых сигналов от датчиков-зондов нижнего уровня, последующее их усиление с сохранением динамического диапазона, преобразование в цифровой формат и передачу в линии связи пакетами в формате TCP/IP. Высокоскоростное устройство модемной связи предназначено для передачи данных от датчиков и регистраторов, находящихся в шахте, в центр обработки информации на поверхность земли. Сетевой искробезопасный источник питания СИИП предназначен для питания шахтной аппаратуры автоматизации и связи в шахтах и рудниках, опасных по газу и пыли. Источник имеет встроенную аккумуляторную батарею и обеспечивает автоматический переход на питание от аккумуляторной батареи при отключении питающего сетевого напряжения.

в). устройства верхнего уровня, предназначенные для хранения, обработки и визуализации состояния параметров и объектов управления системы с использованием графической анимации операторского интерфейса, регистрации и хранения данных, документирования и генерации отчетов, автоматической диагностики состояния технических средств всех

уровней, протоколирования учетных показателей работы системы, архивирования информации в базах данных, механизма выработки технологических решений;

Устройства верхнего уровня визуализируют состояния параметров и объектов управления геоинформационной системы оценки опасности динамических явлений в угольном пласте с использованием графических образов и анимации, операторского интерфейса, регистрации и хранения данных, документирования и генерации отчетов, автоматической диагностики состояния технических средств всех уровней, протоколирования учетных показателей работы системы, архивирования информации в базах данных. Средства вычислительной техники включают в себя компьютерный комплекс, состоящий из серверной части (сервер сбора данных с функциями «горячего» резерва) и клиентской части (автоматизированные рабочие места операторов). Все компьютеры верхнего уровня оснащены источниками бесперебойного питания (ИБП). Программное обеспечение (ПО) сервера и клиентских персональных компьютеров разработано на платформе Windows (Windows Server 2012 Rus, Windows 7 Prof Rus) и включает в себя общесистемное ПО (Microsoft SQL Server 2012, Microsoft Office 2010, элементы Microsoft Visual Studio 2012), специализированное ПО (SCADA-система Proficy iFIX, система архивирования Proficy Historian компании GE) и прикладное ПО собственной разработки (драйверы регистраторов-контроллеров, OPC-сервер, программы обработки архива, визуализации и генерации отчетов, оценки и прогноза опасности динамических явлений в угольном пласте.

г). устройства и линии связи, обеспечивающие обмен информацией и командами между различными устройствами и подсистемами геоинформационной системы оценки опасности динамических явлений в угольном пласте;

д). устройства электропитания.

На рисунке 24 представлена организационная структура взаимодействия служб шахты, на которой полужирным начертанием выделены службы, принимающие участие в поддержании работоспособного состояния геоинформационной системы оценки опасности динамических явлений в угольном пласте.

Рисунок 24 – Организационная структура взаимодействия служб шахты

Для ведения геофизического мониторинга, анализа и интерпретации регистрируемой информации и поддержания работоспособности геоинформационной системы оценки опасности динамических явлений в угольном пласте необходимо в распоряжении шахты иметь на базе геолого-

маркшейдерской службы службу геофизического мониторинга оценки опасности угольного пласта. В этой службе должны быть задействованы горный геофизик и инженер-геофизик. Помимо этого для обеспечения эксплуатации геоинформационной системы оценки опасности динамических явлений в угольном пласте, проверки состояния, выполнения регламентных работ, перемещение оборудования в ходе продвижения горных работ и т.д. в ней должны входить бригадир участка и электрослесарь для обеспечения возможностей по правильной установке, монтажу, демонтажу и коммутации отдельных частей оборудования геоинформационной системы в горных выработках.

Обеспечение правильной установки датчиков-зондов в угольный пласт в геофизическую службу должны входить горный мастер-бурильщик и горный инженер-маркшейдер для точного получения координат установки датчиков системы, отбору проб угля. Для контроля соблюдения норм проветривания и решения аэрологических задач в службу геофизического мониторинга должен входить инженер из службы ВТБ. Контроль и обслуживание верхнего уровня геоинформационной системы оценки опасности динамических явлений в угольном пласте должны выполнять инженеры службы АСУ шахты.

5.2. Обработка сейсмических и сейсмоакустических данных

Процесс обработки данных подразумевает формирование из поступающих данных наборы выборок сформированных с учетом типов датчиков, а также участков их размещения. В первую очередь данные разделяются на две группы в зависимости от того получена информация от сейсмического или сейсмоакустического датчика. Помимо этого информация полученная с сейсмоакустических датчиков подразделяется на группы, в зависимости от того сколько было участков наблюдения, каждый из которых представляет собой независимую зону наблюдения.

При проведении исследований на шахте им Кирова для обработки сейсмических данных за время наблюдения (март 2015 года) было выявлено, что за 31 суточный интервал было зарегистрировано 899 импульсов, из которых в 325 случаях характеристики полученных данных приводили к смене оценки опасности динамических явлений в угольном пласте. При этом по данным расчетов прогнозных значений только в 314 случаях прогнозируемые характеристики должны были привести к смене оценки опасности динамических явлений в угольном пласте. Процент ошибки при вычислениях оценки опасности динамических явлений в угольном пласте составил 3,38%. Сводные аналитические данные о количествах зарегистрированных активностей и их энергий, а также влияния величин изменения на количество прогнозных оценок опасности динамических явлений в угольном пласте приведено в таблице 17.

Таблица 17 – Анализ обработки сейсмических измерений

Интервал прогноза	Зарег. кол-во имп.	Прогн. кол-во имп.	Зарегис трир. кол-во энерг.	Прогноз . кол-во энерг.	Кол-во/прогн. ценок состояния	Ошибка прогноза оценки состояния, %
10-мин инт.	7	8	37	39	4247	4,9
Час	35	38	183	192	735	12
Смена	215	224	1087	1121	113	8,9
Сутки	899	876	4462	4370	24	22,6
Месяц	27732	27564	138452	137743	-	-

Количество оценок состояния совпавших с прогнозными оценками опасности динамических явлений в угольном пласте и ошибка прогноза оценки состояния рассчитывалась за месячный интервал по средним значениям оценок ошибок за сутки.

Сейсмоакустические исследования проводились на различных локальных участках с различными параметрами шумности, что учитывалось

при формировании оценок опасности динамических явлений в угольном пласте. Так данные полученные в очистных забоях на пл. Поленовский и пл. Болдыревском шахты им. С.М. Кирова представлены в таблице 18 и 19, а данные зарегистрированные на участке «Проходка 1» приведены в таблице 20.

Таблица 18 – Анализ обработки сейсмоакустических измерений (на участке 1)

Интервал прогноза	Зарег. кол-во имп.	Прогн. кол-во имп.	Зарегис трир. кол-во энерг.	Прогноз . кол-во энерг.	Кол-во/прогн. ценок состояния	Ошибка прогноза оценки состояния, %
10-мин инт.	217	256	1147	1248	4183	8,7
Час	1085	1216	5673	6144	677	17
Смена	215	224	1087	1121	109	9,3
Сутки	6665	28032	138332	139840	23	25,7

Таблица 19 – Анализ обработки сейсмоакустических измерений (на участке 2)

Интервал прогноза	Зарег. кол-во имп.	Прогн. кол-во имп.	Зарегис трир. кол-во энерг.	Прогноз . кол-во энерг.	Кол-во/прогн. ценок состояния	Ошибка прогноза оценки состояния, %
10-мин инт.	223	261	1134	1218	4168	8,5
Час	1072	1203	5624	6137	663	15,3
Смена	218	232	1063	1126	114	9,1
Сутки	6595	12232	105132	109531	19	32,2

Таблица 20 – Анализ обработки сейсмоакустических измерений (на участке 3)

Интервал прогноза	Зарег. кол-во имп.	Прогн. кол-во имп.	Зарегис трир. кол-во энерг.	Прогноз . кол-во энерг.	Кол-во/прогн. ценок состояния	Ошибка прогноза оценки состояния, %
10-мин инт.	79	91	396	409	4028	7,4
Час	387	409	1989	2015	684	13,7
Смена	2393	2428	11876	11957	123	7,2
Сутки	8770	8983	49052	49087	21	27,6

Проведения анализа полученных данных сейсмического мониторинга можно сделать несколько заключений: наиболее точными оказываются прогнозные оценки, сделанные за кратковременные периоды прогнозирования (10 мин, час, смена); увеличение временного интервала прогнозирования влечет линейное возрастание количества ошибок прогноза оценки опасности динамических явлений в угольном пласте. Анализ сейсмоакустических данных показал, что при учете коэффициентов превышения шумности в подготовительных забоях равному 10, а в очистных – 30 результаты ошибок оценки опасности динамических явлений в угольном пласте в проходческих забоях колеблются в интервале от 7,2 до 27,6 %, а в очистных забоях от 9,1 до 32,2 %.

5.3. Обработка тензометрических данных

При проведении исследований использовались трехкомпонентные тензометрические датчики, в которых датчики располагались перпендикулярно друг другу в соответствии с характерными тремя составляющими тензора напряжений δx , δy и τ_{xy} . Рассчитать значения этих составляющих можно по трем измеренным компонентам тензора деформаций ε_x , ε_y и γ_{xy} по известным постоянным материала: модуле упругости E и коэффициенте Пуассона μ по соответствующим формулам:

$$\delta x = \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_x + \mu\varepsilon_y), \quad \delta y = \frac{E}{1-\mu^2}(\varepsilon_y + \mu\varepsilon_x), \quad \tau_{xy} = G\gamma_{xy} \text{ и } G = \frac{E}{2(1+\mu)}.$$

Для измерения значений линейной деформации ε_x , ε_y и ε_z в трех направлениях под углами α , β и γ относительно оси x используются специальные уравнения преобразования деформаций при повороте осей координат:

$$\varepsilon_x = \varepsilon_x \cos^2 \alpha + \varepsilon_y \sin^2 \alpha + \gamma_{xy} \cos \alpha \sin \alpha,$$

$$\varepsilon_y = \varepsilon_x \cos^2 \beta + \varepsilon_y \sin^2 \beta + \gamma_{xy} \cos \beta \sin \beta \text{ и } \varepsilon_z = \varepsilon_x \cos^2 \gamma + \varepsilon_y \sin^2 \gamma + \gamma_{xy} \cos \gamma \sin \gamma.$$

Получаемые при проведении эксперимента данные с тензометрических датчиков, установленных в очистных забоях для получения прямых данных о величинах горного давления в конкретных точках угольного пласта расположенных за зоной опорного давления в зоне начального напряженного состояния, а именно в 30-50 метрах от лавы свидетельствовали об изменении величин напряжений в гиперкубе напряжений при движении очистного забоя по направлению к установленным в угольном пласте тензометрическим датчикам. В таблице 21 приведены значения величин горного давления измеряемые тензометрическим датчиком, установленным в угольном пласте в зоне начального напряженного состояния.

Таблица 21 – Величина изменения горного давления в зависимости от расстояния ведения горных работ и места установки тензодатчика

№	Расстояние от датчика до забоя, м	Условная измеряемая величина	Быстрота изменения измеряемой величины (ед/ч)
1	50	18132	453
2	45	21763	631
3	40	24382	912
4	35	33708	732
5	30	43283	376

Проводя анализ полученных результатов можно сделать вывод, что при приближении забоя к датчику и уменьшения расстояния между ними почти в два раза (переход датчика из зоны начального напряженного состояния в зону опорного давления) наблюдается изменение значений наблюдаемой величины напряжений в угольном пласте в два с половиной раза. При этом

пиковые значения быстроты изменения наблюдаемого параметра измеряемой величины в интервал наблюдения равный часу колебался от 0,86 до 3,8 % от значения измеряемой условной величины, что не приводило к изменению оценки опасности динамических явлений в угольном пласте. Что свидетельствует о слишком малом изменении в относительном количестве пиковых значений относительно условных величин измерения горного давления.

5.4. Исследование граничных условий и величин изменения влияющих факторов ошибку оценки опасности динамических явлений в угольном пласте

Принимая во внимание результаты, полученные на этапе обработки данных исследования сочетания влияющих факторов на зависимый параметр оценки опасности динамических явлений в угольном пласте можно выявить зависимости получения ошибочного прогноза в зависимости от сочетания влияющих факторов.

Рассмотрим условия проведения эксперимента на шахте им. С.М.Кирова и значения влияющих факторов. При проведении исследования на пласте Поленовский отсутствовала возможность своевременного получения значения величины влияющего фактора «Подвигание забоя», поэтому был разработан специальный алгоритм, который в зависимости от текущего времени определял тип текущей смены. Значения подвигания забоя в рабочую смену устанавливалось равное определенному значению, не превышающему предельно допустимое безопасное значение подвигания забоя, которое не влияло смену значения фактора «Подвигания забоя». Тогда как в ремонтную смену это значение вовсе было равно нулю. Поэтому значение влияющего фактора в общей формуле оценки опасности динамических явлений в угольном пласте все принималось равным $F1=0$.

Напрямую значение фактора «Состояние выемочных комплексов» не могло быть получено, т.к. отсутствовала связь подземного комбайна с

автоматизированной системой на дневной поверхности. Для получения сведений о величине влияния данного фактора проводились измерения косвенным образом по работе лавного конвейера в системе АСУ ТП шахты, при условии, что если работает лавный конвейер, то в 90% случаев это означает что лавный комбайн также работает. А так как на предприятии непрерывного производства стремятся к достижению максимальных результатов прибыли, то, как показала практика в ремонтную смену комбайн был выключен, а в рабочую постоянно работал. Поэтому значение фактора F2 три четверти суток было равным 1 и одну четверть – 0.

Значение фактора количества импульсов определяется отдельно для каждого региона наблюдения. При этом фактор количества сейсмоакустических активностей в единицу времени является составным и зависит от двух критериев («критического превышения» и «двух точек»), у каждого из которых для соответствующего региона установлен безопасный уровень. Данный влияющий фактор имеет большой вес, поэтому если зарегистрировано предельная безопасная шумность, то она может сказаться на изменении значения общей оценки состояния данного региона. Если по какому либо из оцениваемых критериев получено сообщение что превышен безопасный уровень, то оператору сейсмической станции сразу же выдается сообщение. Оценка влияющего значения данного фактора производится как в 10-ти минутном интервале, так и в часовом и сменном и суточном, с различной точностью измерения.

Величина значения фактора «Количество энергии» рассчитывается по 10-ти минутным, часовым, сменным и суточным интервалам и если она превышает заранее заданный безопасный уровень выбороопасности пласта в регионе наблюдения, величина которого зависит от глубины залегания пласта, среднего напряжения и модуля упругости пласта, то значение фактора устанавливается равным 1, иначе 0.

Для расчета текущего значения величины влияния фактора «Состояние рудничной атмосферы» необходимо получение в режиме реального времени

данных о концентрации метана или среднего значения расхода воздуха в исследуемом регионе. Если такие данные невозможно получить, то необходимо выставлять ежесменно значение данного параметра на следующую смену. Если текущее значение показателя состояния рудничной атмосферы выявлено меньше предельно безопасного, значение фактора ставится равным 0, иначе 1.

Ещё один фактор с большим весовым коэффициентом является фактор расстояния от эпицентра зарегистрированного явления до ближайшего забоя. Значение данного фактора рассчитывается ежеминутно для максимально быстрого предупреждения о возникшем явлении в небезопасной близости от наблюдаемого региона.

Фактор изменения состава амплитудно-частотных характеристик сигнала учитывается для каждого наблюдаемого участка отдельно и за выбранный цикл заходки комбайна. Т.е. если в очистном забое низкочастотная составляющая сигнала в предыдущий час была меньше чем в текущий, то это может означать что забой вошел в зону аномалии и необходимо с помощью специального точечного исследования проводить уточнения типа зоны аномалии – положительная или комбинированная.

Модель оценки опасности динамических явлений в угольном пласте учитывает два статистических фактора, которые могут оказывать значительное влияние на оценку вероятности возникновения неблагоприятных проявлений и следовательно оценку опасности динамических явлений в угольном пласте. Которые заключаются в учете концентрации событий и их энергий в ограниченном по площади регионе. И если этот регион превышает заранее установленный безопасный уровень концентрации явлений и их энергий, то фактор принимает значение 1, иначе 0. За время проведения исследований на шахте им. С.М. Кирова модель оценки опасности динамических явлений в угольном пласте работала в режиме приведенном в таблице 22.

Таблица 22 – Общее состояние модели во время выполнения эксперимента

Влияющий фактор	Частота измерения величины	Фактическая частота смены состояния фактора
Величина подвигания забоя	Ежесменно ($\frac{3}{4}$ -1 и $\frac{1}{4}$ -0)	0
Состояние выемочных комплексов	Ежесменно ($\frac{3}{4}$ -1 и $\frac{1}{4}$ -0)	$\frac{3}{4}$ -1 и $\frac{1}{4}$ - 0
Количество импульсов в единицу времени	10 мин, час, смена , сутки	10 мин, час, смена , сутки
Количество энергии в единицу времени	10 мин, час, смена , сутки	10 мин, час, смена , сутки
Состояние рудничной атмосферы	Ежесменно	0
Расстояние от эпицентра явления до ближайшего забоя	Ежеминутно	ежеминутно
Изменение состава амплитудно-частотных характеристик искусственного сигнала	Ежесменно ($\frac{3}{4}$ -1 и $\frac{1}{4}$ -0)	($\frac{3}{4}$ -1 и $\frac{1}{4}$ -0)
Плотность возникновения событий	Ежечасно	0
Плотность распределения энергии событий	Ежечасно	0

Такой режим работы модели во время проведения исследования снизил точность расчета оценки опасности динамических явлений в угольном пласте со 100% до 72% при ежесменной обработке текущих значений влияющих факторов, до 57,6% при ежечасной (при обработке статистических критериев) и до 52,8% при ежеминутной.

После проведения анализа достоверности прогноза в условиях проведения эксперимента на шахте им. С.М.Кирова можно провести оценку точности прогноза в зависимости от того как часто возможно получать оценки влияющих факторов. Например, часовой прогноз будет в 1/6 раза менее точен, если проводить смену влияющего фактора раз в смену и 1/36 менее точен, если проводить раз в смену 2х факторов. Полный расчет

снижения достоверности прогноза оценки опасности динамических явлений в угольном пласте при изменении дискретизации частоты обновления значений влияющих факторов представлен в таблице 23.

Таблица 23 – Таблица снижения точности за счет дискретизации обработки влияющих факторов

Количество факторов	Ошибка при расчете вида прогноза		
	10-ти мин.	часовой	сменный
Смена значения влияющего фактора раз в смену			
1	0%	16%	90,2%
2	0%	33%	85,2%
3	0%	50%	79,1%
4	0%	66%	81,5%
5	0%	83%	90,2%
6	0,07%	87%	85,2%
7	0,46%	92%	93,9%
8	2,77%	94,3%	97,6%
9	16%	95,2%	97,6%
Смена значения влияющего фактора раз в час			
1	2,8%	17,2%	22,2%
2	3,4%	19,4%	25,4%
3	7,1%	28,7%	26,3%
4	8,2%	33,6%	28,7%
5	14,3%	37,9%	29,1%
6	15,2%	39,2%	32,6%
7	19,7%	41,4%	37,8%
8	21,4%	42,2%	39,4%
9	16,3%	44,6%	41,5%
Смена значения влияющего фактора раз в сутки			
1	0,03%	1,37%	14,2%
2	0,07%	1,44%	17,37%
3	0,11%	1,59%	19,1%
4	0,14%	1,67%	24,5%
5	0,17%	1,79%	26,2%
6	0,19%	1,87%	27,2%
7	0,21%	1,92%	28,9%
8	0,24%	1,94%	29,6%
9	0,32%	1,95%	31,6%

5.5. Оценка обработки ошибок вычисления прогноза

Для проверки статистической гипотезы прогноза оценки опасности динамических явлений в угольном пласте при ведении горных работ, с учетом влияющих факторов на безопасность ведения работ на выбранных участках наблюдения применяют методы оценки достоверности результатов исследования для изучения влияния факторов на оценку безопасности ведения горных работ в выбранных зонах подразделяется на параметрические и непараметрические. Для проведения быстрой и малотрудозатратной оценки используют непараметрические методы количественной статистической обработки данных, которые не требуют знания закона распределения изучаемых временных рядов наблюдаемых совокупностей выборочной информации. А для более точной оценки достоверности получаемых результатов математической модели необходимо использовать параметрические методы, которые отличаются большой точностью количественных оценок статистической обработки данных, при этом необходимо знать законы распределения наблюдаемых параметров, а также обладать большим запасом времени и сил.

Ключевыми понятиями при решении задачи проверки статистических гипотез является вычисление вероятности возникновения ошибок вычисления измеряемых величин математических явлений. Для упрощения понимания возможных ошибок при решении задач выделяют ошибки первого рода, так называемые ошибки ложной тревоги при которых верная гипотеза неверно отвергнута и ошибки второго рода – пропуском событий, при которых верная неверно принята. В таблице 24 приведена информация о проведении исследований по вероятностному возникновению ошибок при проведении наблюдений за суточной оценкой опасности динамических явлений в угольном пласте при ведении горных работ и различных влияющих факторов на эту оценку, а также даны оценки по критериям репрезентативности данных при различных доверительных границах прогноза.

Таблица 24 – Описание вида ошибок при проведении исследования

Дата	Прогноз оценки состояния	Оценка состояния	Вид ошибки
1-03-2015	0	0	нет
2-03-2015	1	0	1
3-03-2015	1	1	нет
4-03-2015	1	0	1
5-03-2015	1	0	1
6-03-2015	0	0	нет
7-03-2015	1	1	нет
8-03-2015	1	1	нет
9-03-2015	0	0	нет
10-03-2015	0	0	нет
11-03-2015	0	0	нет
12-03-2015	0	0	нет
13-03-2015	1	0	1
14-03-2015	0	1	2
15-03-2015	0	0	нет
16-03-2015	0	0	нет
17-03-2015	0	1	нет
18-03-2015	0	1	нет
19-03-2015	0	0	нет
20-03-2015	0	0	нет
21-03-2015	0	0	нет
22-03-2015	1	1	нет
23-03-2015	1	0	1
24-03-2015	1	1	нет
25-03-2015	0	1	2
26-03-2015	0	0	нет

Оценка репрезентативности и доверительных границ до превышения горизонта прогнозирования в семнадцать измерительных интервалов. За период тестового режима работы модуля прогноза и оценки опасности динамических явлений в угольном пласте было выявлено 30% ошибок прогноза оценки опасности динамических явлений в угольном пласте, влияющего на безопасность ведения горных работ. Вычисление ошибки репрезентативности оценки опасности динамических явлений в угольном

пласте осуществлялось по формуле: $m = \sqrt{P \cdot (q/n)} = \sqrt{30 \cdot (100 - 30)/17} = \pm 11$, где P – значение относительной ошибки измерений за выбранный интервал наблюдения, q – относительное значение количества безошибочных экспериментов за интервал наблюдения, n – количество проводимых измерений за выбранный интервал проведения эксперимента.

Вычисление доверительных границ средней величины генеральной совокупности (P_{gen}) при заданной степени вероятности безошибочного прогноза в 95% (величина критерия t равна 2 ($t = 2$)), производится следующим образом: $P_{gen} = P_{vyb} \pm tm = 30\% \pm 2 \cdot 11 = 30\% \pm 22\%$. Соответствующие измерения, проведенные отдельно для ошибок первого и второго рода показали следующие результаты: $m_1 = \sqrt{24 \cdot (100 - 24)/17} = \pm 10,35\%$, $m_2 = \sqrt{6 \cdot (100 - 6)/17} = \pm 5,76\%$, $P_{gen1} = P_{vyb1} \pm tm = 24\% \pm 2 \cdot 10,35 = 24\% \pm 20,7\%$ и $P_{gen2} = P_{vyb2} \pm tm = 6\% \pm 2 \cdot 5,76 = 6\% \pm 11,51\%$.

Вывод: Установлено с вероятностью безошибочного прогноза $P=95\%$, что частота возникновения ошибки оценки опасности динамических явлений в угольном пласте в тестовый период проведения измерений модулем прогноза влияния оценки опасности динамических явлений в угольном пласте на безопасность ведения горных работ, будет находиться в пределах от 8 до 52% случаев. Для ошибок первого рода при соответствующих параметрах ошибки за тестовый период могут возникать в пределах от 3 до 45%, а ошибки второго рода в 0,3 до 12%.

Расчет оценки репрезентативности и доверительных границ после установления горизонта прогнозирования в семнадцать измерительных интервалов. Вычисления ошибки репрезентативности оценки опасности динамических явлений в угольном пласте показали, что параметр $m = \sqrt{22 \cdot (100 - 22)/9} = \pm 13,8$, при этом вычисления доверительных границ средней величины генеральной совокупности (P_{gen}) при заданной степени вероятности безошибочного прогноза в 95% (величина критерия t равна 2 ($t =$

2)), показывают результаты в: $P_{gen} = P_{vyb} \pm tm = 22\% \pm 2 \cdot 13,8 = 22\% \pm 27,6\%$.

Отдельные измерения для оценки заданных параметров при ошибках первого и второго рода показали одинаковые результаты:

$$m1 = m2 = \sqrt{11 \cdot (100 - 11) / 9} = \pm 10,42\%,$$

$$P_{gen1} = P_{gen2} = P_{vyb1} \pm tm = P_{vyb1} \pm tm = 11\% \pm 2 \cdot 10,42 = 11\% \pm 10,42\%.$$

Вывод: При условии безошибочности прогноза $P=95\%$, что частота возникновения ошибок оценки опасности динамических явлений в угольном пласте в период после настройки прогнозных критериев будет находиться в пределах от 8,2 до 36%. При таких же входных условиях ошибки первого и второго рода могут возникать в пределах от 0,58 до 21,42%.

Исследование репрезентативности и доверительных границ прогноза оценки опасности динамических явлений в угольном пласте за весь период наблюдения. Расчеты параметра репрезентативности прогноза оценки опасности динамических явлений в угольном пласте равен $m = \sqrt{27 \cdot (100 - 27) / 26} = \pm 8,7$, для ошибок первого рода равен – $m1 = \sqrt{19 \cdot (100 - 19) / 26} = \pm 7,8$, и для ошибок второго рода равен – $m2 = \sqrt{8 \cdot (100 - 8) / 26} = \pm 5,3$. В свою очередь вычисления доверительных границ средней величины генеральной совокупности (P_{gen}) при заданной степени вероятности безошибочного прогноза в 95% (величина критерия t равна 2 ($t = 2$)), показывают соответствующие результаты:

$$P_{gen} = P_{vyb} \pm tm = 27\% \pm 2 \cdot 8,7 = 27\% \pm 17,4\%,$$

$$P_{gen1} = P_{vyb1} \pm tm = 19\% \pm 2 \cdot 7,8 = 19\% \pm 15,6\%$$

и

$$P_{gen2} = P_{vyb2} \pm tm = 8\% \pm 2 \cdot 5,3 = 8\% \pm 5,3\%.$$

Вывод: Если брать в рассмотрение условие прогноза $P=95\%$, то частота возникновения ошибок оценки опасности динамических явлений в угольном пласте в период за всё время проведения наблюдений показателей всех ошибок лежащих в пределах от 9,6 до 44,4%, с учетом ошибок первого рода в

интервале от 3,4 до 34,6% и показателях ошибок второго рода от 2,7 до 13,3%.

5.6. Методика создания обучающих выборок для нейронной сети

Вся информация, которой нейронная сеть будет обладать о задаче, содержится в наборе обучающих примеров. Поэтому качество обучения нейронной сети напрямую зависит от количества и качества примеров в обучающей выборке, а также от того, насколько полно эти примеры описывают данную предметную область. При создании модуля прогноза газодинамических событий в угольных шахтах и оценки опасности влияния этих событий на оценки опасности динамических явлений в угольном пласте и на безопасность ведения горных работ учитывались выборки влияющих факторов разнородной природы, как данные об оценке опасности динамических явлений в угольном пласте, информации о состоянии рудничной атмосферы шахты и режимов работы очистных комплексов для максимального охвата всевозможных вариантов развития быстропротекающих процессов.

В качестве учебного набора используется большой набор выборок с данными о проявлениях динамических явлений, полученных из различных датчиков внутри выбранного участка. В процессе сбора информации об оценке опасности динамических явлений в угольном пласте выполнялась задача обеспечения нейронной сети эффективным набором данных полученных при различных горно-геологических условиях и при различных технологических воздействиях на угольный пласт. В итоге был получен набор, эффективно охватывающий разнообразие и богатство естественных данных составленный из 3870 сочетаний влияющих факторов. Сбор представительного набора информационных потоков не несущих в себе информацию о смене оценки опасности динамических явлений в угольном пласте более труден, т.к. любая информация может принадлежать к процессу, не влияющему на смену статуса оценки состояния. Практически данную

задачу решают с помощью проведения процедуры самонастройки нейронной сети. Суть данного подхода заключается в том, что система многократно переобучается на ряде данных о зафиксированных событиях, но которые не привели к превышению уровня безопасности по установленным критериям оценки опасности динамических явлений в угольном пласте. Перед началом процедуры самонастройки был построен начальный набор, не содержащий событий приведших к смене оценки опасности динамических явлений в угольном пласте. Большинство из этих выборок содержит события, влияющие на смену оценки опасности динамических явлений в угольном пласте, которые имеют значительное влияние на возникновение ошибок первого рода. В итоге начальные обучающие выборки, не содержащие события для возможного смены оценки опасности динамических явлений в угольном пласте состоят из 3330 элементов. В таблице 25 приведена структурная схема алгоритма самонастройки нейронной сети для минимизации времени обучения сети.

Таблица 25 – Структурная схема алгоритма самонастройки нейронной сети

№ шага	Описание выполняемых функций
1	Создание случайной начальной обучающей выборки из выборок не приводящих к смене оценки опасности динамических явлений в угольном пласте из 2520 элементов
2	Установка значения итерации и порога обучения нейронной сети
3	Провести процесс обучения нейронной сети
4	Запуск тестового примера выборки, не содержащей зарегистрированные события приводящие к смене оценки опасности динамических явлений в угольном пласте и собираем выборки в которых отклик нейронной сети получился больше порогового уровня
5	Добавляем выборки, полученные на 4 шаге к выборкам с событиями, не приводящими к смене оценки опасности динамических явлений в угольном пласте. Процесс обучения нейросети останавливается после пяти итераций, когда превышен заданный уровень сходимости процесса обучения (ложное число обнаружений остается примерно одинаковым)

Обычно для наилучшего результата обучения нейронной сети формируются выборки для пофакторного обучения нейронов, при этом оптимальным числом соотношения обучающей, тестовой и контрольной выборок из общей совокупности данных является соотношение: 60:20:20.

Существуют различные методы, с помощью которых возможно снизить временные затраты на обучение и переобучение нейронной сети. Использование метода центральной плотности сокращения обучающих выборок целью, которого является сокращение обучающей выборки для уменьшения машинного времени на обучение. Идеей данного метода заключается в наложении сетки на признаковое пространство, определение объектов выборки, принадлежащих каждой из клеток сетки, и их замена на объекты новой сокращенной обучающей выборки. Применение данного метода дает значительный прирост производительности вычислений по качеству и размеру получаемых выборок.

Чтобы произвести обучение нейронной сети моделирующей деятельность многофакторной модели, с девятью влияющими факторами обучающая выборка в 128 объектов является подходящей по условию $n \cdot p$ раз. Пример выборки данных для обучения фактора F1 модели оценки опасности динамических явлений в угольном пласте приведен в таблице 26. В таблице приведена выборка из 18 элементов, в которой фиолетовым цветом и диагональной штриховкой отмечен обучающий фактор, а красным цветом и вертикальной штриховкой отмечены изменяющиеся значения остальных факторов многофакторной модели оценки опасности динамических явлений в угольном пласте.

Таблица 26 – Пример обучающей выборки для фактора F1 многофакторной модели оценки опасности динамических явлений в угольном пласте

	Влияющие факторы							
F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
	0	0	0	0	0	0	0	0

		Влияющие факторы						
F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9
	0	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0		0
	0	0	0	0	0	0		
	0	0	0	0	0		0	0
	0	0	0	0	0		0	
	0	0	0	0	0			0
	0	0	0	0	0			
	0	0	0	0		0	0	0
	0	0	0	0		0	0	
	0	0	0	0		0		0
	0	0	0	0		0		
	0	0	0	0			0	0
	0	0	0	0			0	
	0	0	0	0				0
	0	0	0	0				
	0	0	0			0	0	0
	0	0	0			0	0	

При обучении нейронной сети необходимо учитывать, что обучающие выборки должны обладать определенными свойствами: достаточность – число обучающих примеров должно быть в несколько раз больше, чем число весов межнейронных связей; разнообразность – большое число разнообразных комбинаций вход-выход; равномерность представления – примеры различных классов должны быть представлены примерно в одинаковых пропорциях. Так для нейронной сети модели оценки опасности динамических явлений в угольном пласте при девяти нейронах во входном слое и четырех нейронах в выходном слое число связей в видимых слоях равно 48, что при условии полносвязной нейронной сети, то число связей в скрытых слоях должно быть в два с половиной – три раза большим, чем число видимых связей, итого при такой архитектуре нейронной сети обучающая выборка должна содержать не менее $48 \cdot 2,5 = 120$ элементов. При архитектуре нейронной сети в девять входных слоев и 2 выходных слоя

количество видимых связей оказывается равным 40, поэтому обучающая выборка должна будет содержать не менее $40 \cdot 2,5 = 100$ элементов.

5.7. Методика выявления недопущения переобучения сети при изменении характера входного ряда прогнозных данных

При получении результатов работы многофакторной модели оценки опасности динамических явлений в угольном пласте, при которых результат становится неадекватен заявленным ограничениям необходимо проводить процесс обучения нейронной сети заново, т.к. в некоторых случаях проявляется так называемое явление «оверфиттинга», заключающегося в следующем: необходимость производить обучение сети, если после процесса обучения, на обучающей выборке практически нет ошибок, то на тестовой имеется большое число ошибок. Такие результаты могут появиться в следующих случаях: если количество примеров в обучающей выборке недостаточно, чтобы находить решение вне выборки; если входные данные неравномерно распределены по степени корреляции к выходным данным в различных выборках; Если входные данные сильно коррелируют между собой. Для своевременной идентификации таких неблагоприятных свойств нейронной сети необходимо автоматизировать процесс проверки тестовой выборки на заранее установленных условиях по количественному содержанию.

Количество ошибок в тестовой выборке не должно превышать в 10 раз количество ошибок в обучающей выборке, если обучающая выборка в несколько раз больше количества связей между нейронами сети. В случае если количество элементов в обучающей выборке соизмеримо с количеством связи между нейронами сети, то количество ошибок в тестовой выборке не должно превышать в 45 раз количество ошибок в обучающей выборке. Формально ограничение для своевременной идентификации необходимости обучения нейронной сети представляется формулой:

$$learn = \begin{cases} Nml > 10 \cdot Nmt & , Nelem > N \cdot Nrel \\ Nml > 45 \cdot Nmt & , Nelem \sim Nrel \end{cases} ,$$

где *learn* - необходимость обучения нейросети, *Nml* – количество ошибок в обучающей выборке, *Nmt* – количество ошибок в тестовой выборке, *Nelem* – количество элементов в обучающей выборке, *Nrel* – количество связей между нейронами нейронной сети, *Nt* – коэффициент пропорциональности (обычно принимается равный от 2 до 4). Используя представленные зависимости можно своевременно идентифицировать процесс неправильного обучения и произвести обучение сети под заданные условия заново.

Выводы: Для корректной работы процесса обучения нейронной сети необходимо выполнение определенных условий, а частности: обеспечения достаточного количества примеров в обучающей выборке, необходимо исключить корреляционные зависимости во входных параметрах.

5.8. Структурная и инфологическая модели оценки опасности динамических явлений в угольном пласте

Модель оценки опасности динамических явлений в угольном пласте строится на основании связной работы геофизиков за счет правильного выставления параметров угольного пласта и анализа полученных результатов мониторинга угольного пласта, администраторов – за счет выполнения своевременной настройки и текущей перенастройки параметров системы мониторинга и прогноза различных динамических явлений и операторов формирующих текущие отчеты о оценки опасности динамических явлений в угольном пласте и следящими за выполнением регламента по поддержанию работоспособностей модулей системы оценки опасности динамических явлений в угольном пласте. На первом этапе создания модели оценки опасности динамических явлений в угольном пласте формировались требования геофизиков по получению от модели необходимых параметров оценки опасности динамических явлений в угольном пласте, пригодных для вынесения заключения по ним об опасности ведения горных работ на

наблюдаемых участках. После выявления необходимых параметров, которыми должна обладать модель оценки опасности динамических явлений в угольном пласте проводился анализ и формальное описание как можно получать требуемые параметры исходя из информации, получаемой с датчиков об оценке опасности динамических явлений в угольном пласте. На последнем этапе создания модели оценки состояния массива горных пород требовалось применить системы искусственного интеллекта для создания механизма помощи принятия решения по ситуации сложившейся на основании архивных данных и текущего складывающегося тренда.

Задачи оператора, геофизика и администратора заключаются в обеспечении своевременной настройки системы, мониторинга и выработки отчетности по текущим событиям. При правильной настройке критериев системы и её своевременной перенастройке обеспечивается точное прогнозирование неблагоприятных проявлений динамических событий в различных регионах шахты. На основе произведенного прогноза с учетом анализа архивной информации и выявленных закономерностях подготавливается оценка опасности динамических явлений в угольном пласте. После чего геофизик на основе своих знаний о характеристиках угольного пласта и горно-геологических характеристиках текущего места ведения горных работ может принять правильное решение для обеспечения безопасности ведения горных работ.

5.9. Структура пространственных таблиц данных и их связей в модели оценки опасности динамических явлений в угольном пласте

Обеспечение хранения большого объема пространственных данных о оценке опасности динамических явлений в угольном пласте на различных наблюдаемых участках шахты обеспечивается за счет использования реляционной базы данных. Базы данного типа отличаются некоторыми особенностями: каждый элемент таблицы соответствует элементу данных; каждый столбец имеет уникальное название; одинаковые строки в таблице

отсутствуют. Главное свойство реляционных таблиц базы данных заключается в отношении между составляющими её частями.

Регистрация текущих сейсмических данных о региональной оценке опасности динамических явлений в угольном пласте, а также расчет прогнозных значений неблагоприятного влияния за выбранные промежутки времени (час, смена, сутки) заносится в специальные таблицы базы данных для обработки, анализа и осуществления необходимого информирования о предстоящих неблагоприятных явлениях. Структура данных, а также их описание в зависимости от интервала времени обработки и прогнозирования событий по часовым, сменным и суточным промежуткам представлены в таблицах 27, 28 и 29 соответственно.

Таблица 27 – Структура таблицы данных ForecastHour

Имя столбца	Тип данных	Описание
ID	int	Идентификатор часового прогнозирования
date	date	Поле дата представляет дату, на которую осуществлялся расчет часового прогноза
time	time(6)	Поле время представляет час, на который выдается часовой прогноз активности и энергии сейсмической и сейсмоакустической активности угольного пласта
realpulse	real	Количество импульсов зарегистрированных в интервал времени равный одному часу, указанному в поле time
forecastpulse	real	Прогнозируемое количество импульсов на интервал времени равный одному часу, указанному в поле time
realenergy	real	Количество энергии зарегистрированной в интервал времени равный одному часу, указанному в поле time
forecastenergy	real	Прогнозируемое количество энергии, зарегистрированное в интервал времени равный одному часу, указанному в поле time

Таблица 28 – Структура таблицы данных ForecastShift

Имя столбца	Тип данных	Описание
ID	int	Идентификатор сменного прогнозирования

Имя столбца	Тип данных	Описание
date	date	Поле date представляет дату, на которую осуществлялся расчет сменного прогноза
shift	int	Поле shift представляет смену, на которую осуществлялся расчет сменного прогноза
starttime	time(6)	Поле starttime представляет час, с которого начинается смена, на которую осуществляется расчет сменного прогноза.
endtime	time(6)	Поле endtime представляет час, на котором заканчивается смена, на которую осуществляется расчет сменного прогноза.
realpulse	real	Количество импульсов зарегистрированных в интервал времени равный одной смене, указанной в поле shift
forecastpulse	real	Прогнозируемое количество импульсов на интервал времени равный одной смене, указанной в поле shift
realenergy	real	Количество энергии зарегистрированной в интервал времени равный одной смене, указанной в поле shift
forecastenergy	real	Прогнозируемое количество энергии, зарегистрированное в интервал времени равный одной смене, указанной в поле shift

Таблица 29 – Структура таблицы данных ForecastDay

Имя столбца	Тип данных	Описание
ID	int	Идентификатор дневного прогнозирования
date	date	Дата на которое осуществлялся расчет прогноза
realpulse	real	Количество импульсов зарегистрированных в интервал времени равный одним суткам
forecastpulse	real	Прогнозируемое количество импульсов на интервал времени равный одним суткам
realenergy	real	Количество энергии зарегистрированной в интервал времени равный одним суткам
forecastenergy	real	Прогнозируемое количество энергии, зарегистрированное в интервал времени равный одним суткам

Каждый наблюдаемый регион характеризуется определенным перечнем характеристик, которые могут изменяться со временем. К таким характеристика относится форма забоя, т.к. из за периодического подвигания

лавы изменяется его форма. Шумность присущая каждому забое также будет иметь свои характеристики в зависимости от типа забоя (проходческий и очистной) и количества работающего в забое оборудования. Для учета таких изменяющихся во времени параметров сформирована таблица учета характеристики каждого из наблюдаемых регионов, представленная в таблице 30.

Таблица 30 – Структура таблицы данных Region

Имя столбца	Тип данных	Описание
ID	int	Ключевое поле кода идентификации таблицы участков для прогноза оценки опасности динамических явлений в угольном пласте
RegionID	int	Идентификатор участка, по которому рассчитывается локальный прогноз возникновения динамических явлений
RegionName	text	Поле RegionName содержит название участка, по которому рассчитывается локальный прогноз возникновения динамических явлений
RegionK1	int	Поле RegionK1, показывает значение коэффициента критического превышения для соответствующего участка шахты
RegionK2	int	Поле RegionK2, показывает значение коэффициента двух точек для соответствующего участка шахты

Модель оценки опасности динамических явлений в угольном пласте учитывает пространственное расположение наблюдаемых объектов и местоположение возникающих неблагоприятных динамических явлений и оценивает их действие на наблюдаемые регионы шахты. Этот процесс автоматизации заключается в следующем: в установленные промежутки времени в таблицы учета пространственного расположения зарегистрированных и прогнозируемых явлений заносятся данные статистики и прогноза. На основании этих данных с помощью специального алгоритма учета оценки опасности динамических явлений в угольном пласте

рассчитывается величина опасного действия зарегистрированных и прогнозируемых явлений на наблюдаемые участки шахты. Структура таблиц, а также виды хранящихся в них данных приведены в таблице 31.

Таблица 31 – Структура таблицы данных RegionForecastHour и RegionForecastDay

Имя столбца	Тип данных	Описание
ID	int	Ключевое поле кода идентификации таблицы часовых прогнозов оценки опасности динамических явлений в угольном пласте по наблюдаемым участкам
Date	datetime	Поле Date, содержит дату и время на которое рассчитывался прогноз количества импульсов и их энергий на наблюдаемом участке
zoneID	int	Поле zoneID, содержит индекс участка, по которому осуществляется прогноз
realpulse	real	Поле realpulse, содержит количество зарегистрированных импульсов на исследуемом участке за выбранный интервал времени
forecastpulse	real	Поле forecastpulse, содержит прогнозируемое количество импульсов на исследуемом участке за выбранный интервал времени
realenergy	real	Поле realenergy, содержит количество зарегистрированных энергий импульсов на исследуемом участке за выбранный интервал времени
forecastenergy	real	Поле forecastenergy, содержит прогнозируемое количество энергий импульсов на исследуемом участке за выбранный интервал времени
status	int	Поле status, содержит расчетное текущее значение оценки опасности динамических явлений в угольном пласте в наблюдаемом регионе за указанный интервал времени
forecaststatus	int	Поле forecaststatus, содержит прогнозируемую оценку опасности динамических явлений в угольном пласте в наблюдаемом регионе на указанный интервал времени
Xzone, Yzone, Zzone	real	Поля Xzone, Yzone, Zzone содержат координаты x,y,z соответственно центра наблюдаемого региона
Rzone	real	Поле Rzone, содержит величину радиуса центра

Имя столбца	Тип данных	Описание
		наблюдаемого региона
geometry	geometry	Поле geometry, содержит информацию в специализированном формате о геометрии наблюдаемого региона

Для поддержания оптимального состояния модели оценки опасности динамических явлений в угольном пласте, а также для учета и возможности анализа архивных данных создана таблица в базе данных SQL, которая содержит все характеристика модели оценки опасности динамических явлений в угольном пласте. Периодическое пополнение этой таблицы текущими данными о оценки опасности динамических явлений в угольном пласте обусловлено необходимостью уменьшения ошибки прогноза возникновения динамических явлений. Структура данных таблицы учета влияющих факторов на оценку опасности динамических явлений в угольном пласте представлена в таблице 32.

Таблица 32 – Структура таблицы данных ForecastSettings

Имя столбца	Тип данных	Описание
ID	int	Поле ID является ключевым полем для таблицы текущих настроек модели оценки опасности динамических явлений в угольном пласте
RegionID	int	Поле RegionID показывает участок, и его характеристики модели оценки опасности динамических явлений в угольном пласте за выбранный интервал времени
Date	date	Поле Date показывает дату, на которую устанавливаются характеристики наблюдаемого участка
Time	time(6)	Поле Time показывает время начала смены, на которое устанавливаются характеристики наблюдаемого участка
F1	real	Поле F1 показывает текущее значение фактора подвигания забоя на выбранный промежуток времени

Имя столбца	Тип данных	Описание
F1safe	real	Поле F1safe показывает безопасное значение фактора подвигания забоя на выбранный промежуток времени
F2	real	Поле F2 показывает текущее значение фактора состояния выемочных комплексов для выбранного участка за выбранный промежуток времени
F31	real	Поле F31 показывает текущее значение фактора количество импульсов в единицу времени для выбранного участка за выбранный промежуток времени по критерию критического превышения
F31safe	real	Поле F31safe показывает безопасное значение фактора количество импульсов в единицу времени для выбранного участка за выбранный промежуток времени по критерию критического превышения
F32	real	Поле F32 показывает текущее значение фактора количество импульсов в единицу времени для выбранного участка за выбранный промежуток времени по критерию двух точек
F32safe	real	Поле F32safe показывает безопасное значение фактора количество импульсов в единицу времени для выбранного участка за выбранный промежуток времени по критерию двух точек
F4	real	Поле F4 показывает текущее значение фактора количество энергии в единицу времени для выбранного участка за выбранный промежуток времени
F4safe	real	Поле F4safe показывает безопасное значение фактора количество энергии в единицу времени для выбранного участка за выбранный промежуток времени
F5	real	Поле F5 показывает текущее значение фактора состояния рудничной атмосферы в единицу времени для выбранного участка за выбранный промежуток времени
F5safe	real	Поле F5safe показывает безопасное значение фактора состояния рудничной атмосферы в единицу времени для выбранного участка за выбранный промежуток времени

Имя столбца	Тип данных	Описание
F6	real	Поле F6 показывает текущее значение фактора расстояния до ближайшего забоя в единицу времени для выбранного участка за выбранный промежуток времени
F7	real	Поле F7 показывает текущее значение фактора изменение состава амплитудно-частотных характеристик искусственного сигнала в единицу времени для выбранного участка за выбранный промежуток времени
F8	real	Поле F8 показывает текущее значение фактора плотности распределения событий в единицу времени для выбранного участка за выбранный промежуток времени
F8safe	real	Поле F8safe показывает безопасное значение фактора плотности распределения событий в единицу времени для выбранного участка за выбранный промежуток времени
F9	real	Поле F9 показывает текущее значение фактора плотности распределения энергии событий в единицу времени для выбранного участка за выбранный промежуток времени
F9safe	real	Поле F9safe показывает безопасное значение фактора плотности распределения энергии событий в единицу времени для выбранного участка за выбранный промежуток времени

Отношения в реляционной базе данных являются логическими, т.к. связи могут иметь как монопольный тип – один к одному, так и многопольный – один ко многим или многие ко многим. Далее приведено описание связей между таблицами данных в реляционной базе данных для поддержания адекватности структуры модели оценки опасности динамических явлений в угольном пласте. Таблица Region содержит название участка и его характеристики, на котором осуществляется прогноз выбросоопасности и удароопасности различных динамических явлений на основе анализа архивной информации о количестве зарегистрированных сейсмических и сейсмоакустических импульсах и их энергий за различные

интервалы данных (10-ти мин., час, смена, сутки). Ключевым полем в этой таблице является поле кода участка, а связь данной таблицы с таблицами, где хранится информация о зарегистрированных импульсах и их энергиях осуществляется с помощью поля идентификатора участка, на котором осуществляется наблюдение за угольным пластом и прогноз различных неблагоприятных проявлений динамических явлений. Таблицы ForecastHour, ForecastShift и ForecastDay созданы для учета сейсмической информации о региональной оценке опасности динамических явлений в угольном пласте, которые содержат в себе сведения о часовых, сменных и дневных активностях и их энергиях. Таблицы RegionForecastHour и RegionForecastDay содержат сведения о зарегистрированных количествах импульсов и их энергиях, а также о прогнозных значениях сейсмоакустической активности в локальных участках шахты. Таблица ForecastSettings является настроечной и хранит в себе слепки характеристик модели оценки опасности динамических явлений в угольном пласте на определенные моменты времени. При проведении анализа архивных значений таких характеристик возможно проследить зависимости от оценки опасности динамических явлений в угольном пласте в зависимости от сочетания входных влияющих факторов.

5.10. Проведение натурных экспериментов на шахте им. С. М. Кирова

Большинство шахт Кузбасса разрабатывают пласты 2 группы (ш. им. С.М.Кирова, Полысаевская и др.). Для них характерны мощности от 1,5 до 10м, наличие разрывных нарушений, высокая газоносность углей (до 25 м³/т с.б.м), глубина ведения горных работ 200-600 м, боковые породы средней устойчивости и устойчивые (70%), породы основной кровли легко (65%) и трудно обрушаемые (35%), опасность отдельных пластов по проявлению внезапных выбросов угля и газа и горных ударов, самовозгораемость угля. Шахты этой группы пластов обеспечены высокотехнологичными (60%) и технологичными (25%) запасами угля на срок более 15 лет. В то же время до 15% запасов на этих шахтах является нетехнологичными — участки

небольших размеров и неправильной формы, мощность пластов менее 1,5 м. Применение модели оценки опасности динамических явлений в угольном пласте на шахте им. С. М. Кирова внесет эффективных вклад в обеспечение заблаговременного информирования персонала шахты о возможных неблагоприятных проявлений динамических явлений, что должно положительно сказаться на повышении безопасности ведения горных работ.

Эксперименты проводились на шахте им. С.М. Кирова на проходческих и очистных участках пластов Поленовский и Болдыревский. Перечень используемых устройств для проведения эксперимента и их места установки представлены в таблице 33. На каждый из пластов по контуру устанавливались сейсмические датчики, на основе которых формировался региональный прогноз по участкам «Регион пласт «Болдыревский»» и «Регион пласт «Поленовский»» соответственно. В очистные забои устанавливались сейсмоакустические датчики в количестве трех штук по двум бортам выработки ближайший в 50 метрах от забоя и расстояния 50 м между регистраторами, и такие локальные зоны назывались «Регион забой лавы 2457» и «Регион забой лавы 2595» соответственно. Для уточнения оценки опасности динамических явлений в угольном пласте, рассчитанного на основании косвенных измерений сейсмоакустической активности соответствующего региона он дополнялся четырьмя тензометрическими датчика по два с каждой стороны выработки для прямого измерения величины горного давления.

Таблица 33 – Перечень устройств и их места установки

Название участка	Наименования	Размещение
Пласт «Болдыревский»		
Регион забой лавы 2457	САК1, САК2, САК3, САК4, САК5, САК6	Вентиляционная печь 2457, (50 м. от забоя, 50 м. от САК1, 50 м. от САК2) ; Конвейерная печь 2457, (50 м. от забоя, 50 м от САК4, 50 м от САК 5)

Название участка	Наименования	Размещение
	ТН31, ТН32, ТН33, ТН34	Вентиляционная печь 2457 (500м. от забоя, 1000 м. от забоя); Конвейерная печь 2457 (500м. от забоя, 1000м. от забоя)
Регион пласт «Болдыревский»	СМЧ1, СМЧ2, СМЧ3, СМЧ4	Пересечение ЦМПШ 2403 с заездом 24-03, пересечение ЦМПШ 2403 – конвейерной печи 2458, пересечение путевого штрека 2404 и вент. Печи 2459, пересечение путевого штрека 2404 и флангового путевого уклона 2403.
Пласт «Поленовский»		
Регион забой 2595	САК1, САК2, САК3, САК4, САК5, САК6	Вентиляционная печь 2595, (50 м. от забоя, 50 м. от САК1, 50 м. от САК2) ; Конвейерная печь 2595, (50 м. от забоя, 50 м от САК4, 50 м от САК 5)
	ТН31, ТН32, ТН33, ТН34	Вентиляционная печь 2595 (500м. от забоя, 1000 м. от забоя); Конвейерная печь 2595 (500м. от забоя, 1000м. от забоя)
Регион пласт «Поленовский»	СМЧ1, СМЧ2, СМЧ3, СМЧ4	Пересечение путевой уклон 2503 и водоспускной штрек 2590, ЦМКШ 2503 и вент. печь 2595, путевой штрек 2503 и вент. печь 2595, конв. печь 2595 и промежуточный штрек 2595.

Такой тип расстановки датчиков обусловлен для своевременной идентификации региональных и локальных событий, т.к. датчики СМЧ устанавливаются в магистральных и капитальных выработках с образованием замкнутого контура, а датчики САК устанавливаются в выработках, пройденных по угольному пласту в непосредственной близости от очистного забоя.

5.11. Методика проведения эксперимента на шахте им. С. М. Кирова

Работоспособность модели оценки опасности динамических явлений в угольном пласте в условиях работы шахты проверяется в несколько этапов: проверка линии связи, проверка модулей регистрации сейсмической, сейсмоакустической и тензометрической информации, проверка модуля прогноза неблагоприятного проявления динамических явлений на безопасность ведения горных работ и оценки опасности динамических явлений в угольном пласте. Этап проверка линии связи заключается в умышленном обрыве линии связи и визуальное подтверждение реакции системы на это событие, после чего восстановление линии связи. Этап проверки модуля сейсмического мониторинга заключается в следующем: на заданных расстояниях 1м, 3м и 5 м от места установки датчик-зона в период технологической паузы наносится серия ударов с помощью кувалдометра и с фиксацией времени ударов, после чего проверяется наличие в модуле регистрации сейсмической активности соответствующее время их возникновения, количество и другие характеристики. Аналогичные действия проводятся во время работы горного оборудования, что позволяет проверить работу модулей фильтрации и очистки зашумленных сигналов и необходимую тарировку системы. Результатом успешной работы регионального модуля прогноза динамических событий будет формирование зоны, в которой были зафиксированы указанные событий и расчет радиуса её опасного действия. Этап проверки модуля сейсмоакустического мониторинга заключается в следующем: в фиксированном месте конвейерного или вентиляционного штреков наносится серия ударов кувалдой по стенке выработки на расстоянии 5м, 15м и 25 м от центрального датчика и записывается время ударов. После чего в модуле регистрации сейсмоакустических событий проверяется время фиксации событий, их энергий и количества. Для проверки «критерия двух точек» определяется средняя шумность (N_{cp}) на интервале в 30 часов, после чего по груди забоя наносятся удары в последовательности: первые 10 мин. – количество ударов, равное N_{cp} ., вторые 10 мин. – количество ударов, равное $1,1 N_{cp}$., третьи 10

мин. – количество ударов, равное $1,2 N$ ср. Удачным результатом работы модели будет сообщение вида: «29.07.2015 - 11:20:25 - превышение безопасного уровня шумности на датчике САК 5 региона пласт Болдыревский по «критерию двух точек». Для проверки критерия критического превышения необходимо провести серию ударов кувалдой по принципу: первые 10 мин. – количество ударов, равное N ср., вторые 10 мин. – количество ударов, равное $M * N$ ср., где $M = 10$ или 30 в зависимости от типа забоя. Правильной реакцией работы модели оценки опасности динамических явлений в угольном пласте будет сообщение вида: «30.07.2015 - 15:20:23 - превышение безопасного уровня шумности на датчике САК2 региона пласт Болдыревский по «критерию критического превышения»». Этап проверки модуля прогноза и оценки опасности динамических явлений в угольном пласте необходимо проводить на фиксированном опорном интервале времени (18 часов) в заданные равные промежутки времени (один раз в час) осуществить серию ударов кувалды в зоне размещения датчиков САК с заданным силовым воздействием. Удачным проведением эксперимента будет считаться результат, если после смены часа после последнего удара в заданном опорном интервале в модуле прогноза динамических явлений в разделе прогноз активностей в первом прогнозном часе отобразится прогнозный единичный импульс, а в прогнозе энергий в первом прогнозном часе отобразится энергия, с которой были осуществлены фиксированные удары в опорном интервале.

5.12. Экономическая эффективность внедрения геоинформационной системы оценки и прогноза опасности динамических явлений

Шахта «Воркутинская» построена на базе шахт № 1 «Капитальная» и № 40. Предприятие сдано в эксплуатацию в 1973 году с производственной мощностью 1,8 миллионов тонн угля в год. Шахта отрабатывает пласты «Тройной» и «Четвертый». Характеристики метановыделения из угольных пластов оцениваются как большие и составляют порядка 9-10, а иногда и 12

кубов метана на кубический метр добытого угля. В среднем в лаве за одну стружку снимается 60-100 кубов угля, с длительностью снятия одной стружки порядка 30 минут. При плотности угля в 1300 кг/м³ за одну стружку снимают порядка 150 тонн угля, а в сутки 3150 тонн. Учитывая рыночную стоимость тонны угля 4600 р/тонна получается, что простой смены стоит 4830000р (690000р/час).

Если допустить, что произойдет, какой либо выброс или взрыв газа и угольной пыли, то на ликвидацию последствий при проведении мероприятий по прогнозу безопасного состояния угольного пласта будет потрачено как минимум 10 часов, что в денежном эквиваленте простоя добычного забоя шахты соответствует 6900000 рублей. При внедрении на угольной шахте системы оценки и прогноза динамических явлений в угольном пласте возможна ситуация при которой выдается прогноз опасности ведения горных работ на конкретном участке. На проведение противовыбросных мероприятий в среднем тратится порядка 5 часов, при этом упущенная выгода окажется равной 3450000 рублей.

Шахта «Заполярная» была сдана в эксплуатацию в 1949 году с производственной мощностью 1,5 миллионов тонн угля в год. Шахта относится к категории выбросоопасной с метановыделением порядка 10 кубов метана на кубический метр добытого угля. В среднем на добычной лаве за одну стружку снимается 80 кубов угля, а длительность снятия одной стружки порядка 40 минут. Добываемый уголь марки 2Ж имеет плотность 1250 кг/м³, при этом за одну стружку снимается порядка 120 тонн угля, а в сутки 2520 тонн. С учетом рыночной стоимости каменного угля 4600р/тонна получается, что простой рабочей смены стоит предприятию порядка 3864000р (552000 рублей/час).

Непредвиденные аварийные ситуации, сопровождающиеся выбросом породы или взрывом метана и угольной пыли, могут повлечь за собой проведение мероприятий по ликвидации последствий для обеспечения безопасной работы на производственных участках угольной шахты порядка

10 часов, что в денежном эквиваленте простоя добычного забоя шахты соответствует 5520000 рублей. Внедрение системы оценки и прогноза динамической опасности ведения горных работ позволяет заблаговременно предсказать опасность ведения горных работ на конкретном производственном участке. При получении такого прогноза сотрудникам шахты необходимо провести противывбросные мероприятия, на которые в среднем тратится порядка 5 часов, что соответствует упущенной выгоде порядка 2760000 рублей.

25 декабря 1935 года шахта им. С.М. Кирова была принята в эксплуатацию с проектной мощностью 1,5 млн. тонн угля в год (5 120 тонн угля в сутки). Шахта имеет категорию выбросоопасной и удароопасной с метановыделением порядка 10 кубов метана на кубический метр добытого угля. В среднем на добычной лаве за одну стружку снимается 100 кубов угля, а длительность снятия одной стружки порядка 50 минут. Добываемый уголь марки 2Ж имеет плотность 1250 кг/м³, при этом за одну стружку снимается порядка 100 тонн угля, а в сутки 2100 тонн. С учетом рыночной стоимости каменного угля 4600р/тонна получается, что простой рабочей смены стоит угольной шахте порядка 3220000р (460000 рублей/час).

Аварийная ситуация, сопровождающаяся выбросом породы или взрывом метана и угольной пыли может повлечь за собой проведение мероприятий по ликвидации последствий аварии порядка 10 часов, что в денежном эквиваленте простоя забоя шахты соответствует 4600000 рублей. При использовании системы оценки и прогноза динамических явлений в угольном пласте на проведение противовыбросных мероприятий при прогнозе опасного ведения горных работ в среднем тратится 5 часов, что соответствует упущенной выгоде порядка 2300000 рублей.

На основании собранных статистических данных о выявленных динамических событиях на шахтах Воркутинская, Заполярная и С.М. Кирова можно сделать вывод, что в среднем в месяц регистрируются порядка 8 событий. Среди выявленных событий, которые требуют дополнительного

анализа со стороны службы динамического наблюдения на предмет принятия решения о проведении противовыбросных мероприятий на производственном участке ближайшему к выявленным динамическим событиям. По статистике из всех случаев регистрации динамических явлений, события которые, требуют проведения дополнительных мероприятий по обеспечению безопасных условий ведения горных работ составляет около 12,5%. А учитывая, что в месяце 90 рабочих смен, то количество работ по противовыбросным мероприятиям укладывается в одну смену, что составляет 0,01136. Поэтому эффективность от внедрения геоинформационной системы оценки и прогноза опасности динамических явлений на угольной шахте составила 1,2%.

5.13. Описание программ геоинформационной системы прогноза и оценки динамических явлений

В состав геоинформационной системы прогноза и оценки опасности динамических явлений в угольном пласте входят следующие программы: «Мониторинг текущего состояния угольного пласта», которая осуществляет непрерывный мониторинг наблюдаемых участков ведения горных работ; «Прогноз и оценка динамических явлений в угольном пласте», которая предоставляет анализ текущей опасности и прогноз опасности динамических явлений в угольном пласте оператору службы геофизического мониторинга; «ОРС-служба», которая осуществляет опрос технических средств шахты и запись полученных данных в первичную базу данных; «первичная БД Historian», которая осуществляет хранение необработанных данных о сейсмических и сейсмоакустических активностях, происходящих в угольном пласте при ведении подземных горных работ; «SQL Server», которая хранит преобразованные данные оценок и прогноза динамических явлений в угольном пласте; «Отчетность по оценкам и прогнозу опасности динамических явлений в угольном пласте», которая предоставляет в

удобочитаемом виде сгруппированных данных об опасности динамических явлений в угольном пласте при ведении подземных горных работ.

Программа «Прогноза и оценки опасности динамических явлений в угольном пласте» входит в состав геоинформационной системы прогноза и оценки опасности динамических явлений в угольном пласте и выполняет задачи оценки опасности ведения горных работ на локальных наблюдаемых участках угольной шахты, а также прогноза опасности ведения горных работ на этих участках на периоды прогнозирования от смены (до 6 часов) до суток (до 24 часов). На рисунке 25 приведена экранная форма оценки и прогноза динамических явлений в угольном пласте.

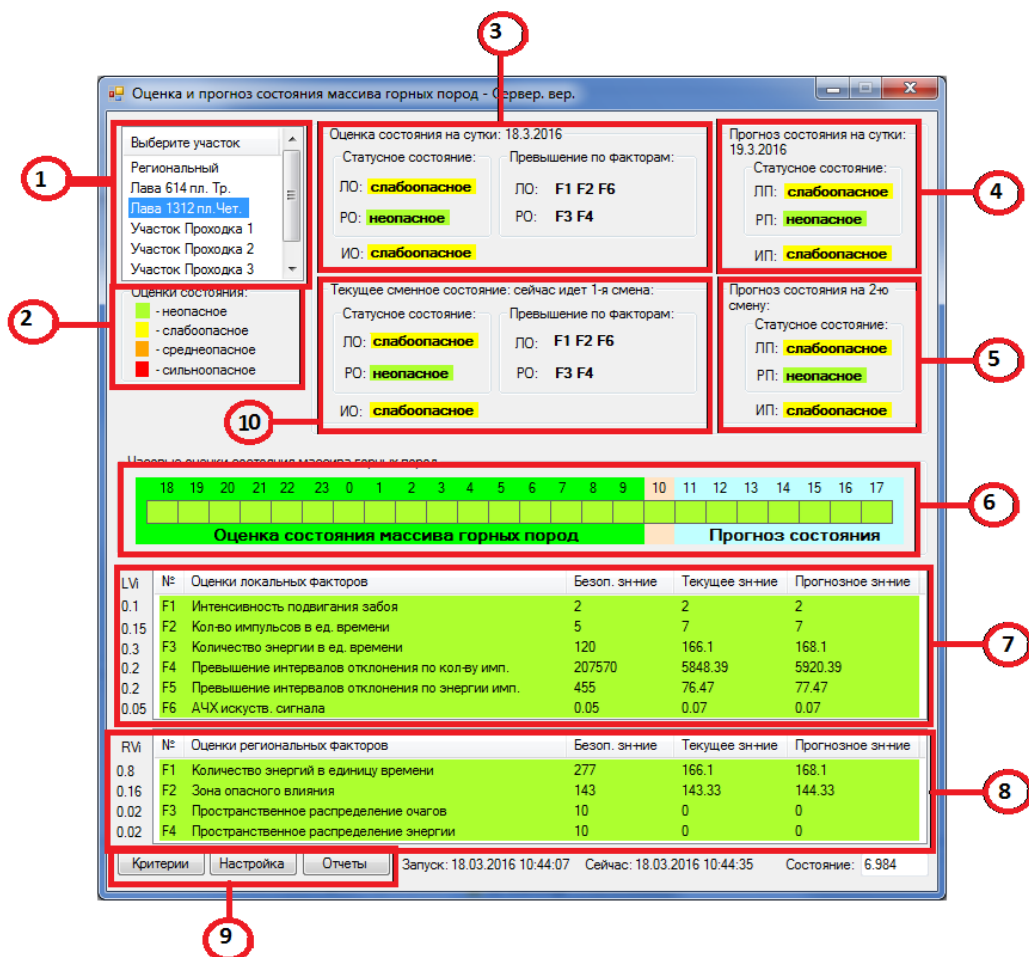


Рисунок 25 – Экранная форма программы прогноза и оценки динамических явлений в угольном пласте

Условные обозначения экранной формы программы «Прогноз и оценка динамических явлений в угольном пласте»: 1. – окно выбора участка

наблюдения, 2. – окно возможных оценок опасности динамических явлений в угольном пласте, 3 – окно оценки опасности динамических явлений в угольном пласте по суточным интервалам, 4 – окно прогноза опасности динамических явлений в угольном пласте по суточным интервалам, 5 – окно прогноза опасности динамических явлений в угольном пласте по сменным интервалам, 6 – окно оценки и прогноза опасности динамических явлений в угольном пласте по часовым интервалам, 7 – окно значений оценок и прогноза локальных факторов опасности динамических явлений в угольном пласте, 8 – окно значений оценок и прогноза региональных факторов опасности динамических явлений в угольном пласте, 9 – окно управляющих кнопок программы оценки и прогноза динамического состояния массива горных пород, 10 – окно оценки опасности динамических явлений в угольном пласте по сменным интервалам.

Вместе с системой пространственного прогноза опасности динамических явлений в угольном пласте в геоинформационной системе прогноза и оценки опасности динамических явлений в угольном пласте реализована подсистема отчетности, в задачи которой входит анализ текущих и архивных значений, и предоставлять их в удобочитаемом виде операторам геофизической службы мониторинга динамических явлений. Данная подсистема собирает статистику зарегистрированных и спрогнозированных динамических явлений в угольном пласте по их пространственному расположению относительно шахтного поля и на основе этих данных строит наиболее опасные и безопасные для ведения горных работ участки шахты. Отчет может быть представлен как в электронном виде на экране монитора ПК, так и в печатном варианте с помощью подключенного к системе принтера. Помимо вывода электронного отчета на экран монитора существует также возможность сохранения отчета в виде файла таблицы. На рисунке 26 приведены виды экранных окон подсистемы отчетности прогноза опасности динамических явлений в угольном пласте.

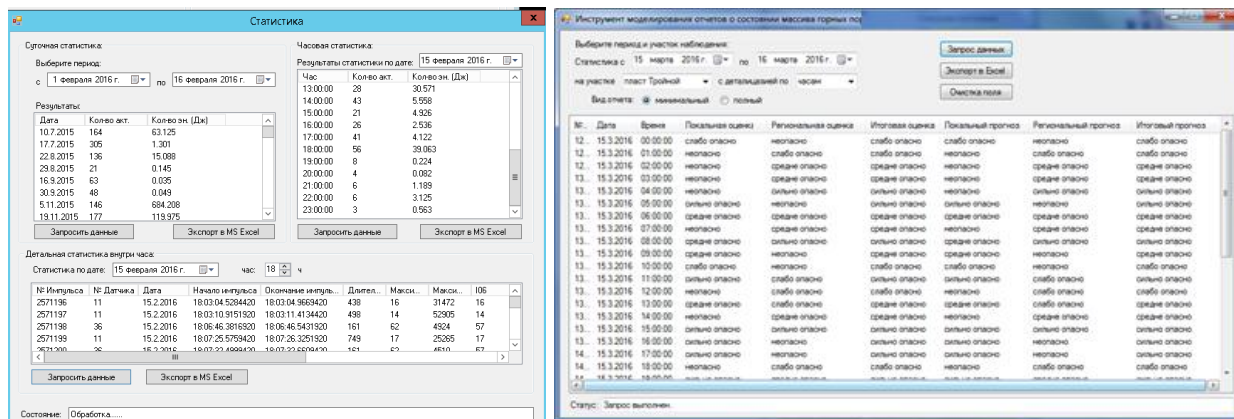


Рисунок 26 – Экранная форма программы отчетности прогноза и оценки динамических явлений в угольном пласте

Слева на рисунке 26 показан модуль запроса оценок опасности динамических явлений в угольном пласте по отдельным участкам наблюдений за выбранный период времени. Справа на рисунке 26 приведена статистика оценок и прогноза опасностей с возможностью печати их на принтере или сохранением в виде таблицы данных MS Excel. Заявки на регистрацию программ ЭВМ «Программа прогноза опасности динамических явлений в угольном пласте при ведении горных работ» и «Программа оценки опасности динамических явлений в угольном пласте при ведении горных работ» поданы в «Федеральный институт промышленной собственности» и имеют номера соответственно 2016611312 и 2016611316 от 19.02.2016 года.

Программные средства прогноза и оценки опасности динамических явлений в угольном пласте были разработаны на объектно-ориентированном языке программирования Visual Basic .NET в интегрированной среде разработки программного обеспечения Visual Studio. Реализация обмена данными между приложениями оценки, прогноза и базой данных MS SQL осуществлена на основании технологии активного доступа к данным ADO.NET с помощью протокола SQL Connection.

5.14. Требования к техническим средствам для геоинформационной системы прогноза и оценки опасности динамических явлений

В качестве основы для создания подсистем мониторинга и оценки

опасности динамических явлений в угольном пласте принят комплект программных продуктов компании GE Intelligent Platforms: Historian Server, ProficyHistorian, ProficyHMI/SCADAiFIX.

Для создания программного обеспечения подсистемы оценки и прогноза опасности динамических явлений в угольном пласте, статистики и отчетности опасности динамических явлений в угольном пласте (АРМ «Геофизической службы») использованы следующие средства разработки:

- система программирования Microsoft Visual Studio и язык программирования VisualBasic.NET для создания клиентских модулей;
- система программирования Microsoft Visual Studio и язык программирования C# для создания серверных приложений и библиотек;
- язык SQL для обмена данными с сервером данных;
- язык XML для обмена данными с сервером приложений.

На рабочих местах пользователей должны быть установлены следующие средства, расширяющие возможности операционной системы:

- библиотеки среды выполнения Microsoft .NET Framework версии 4 для функционирования сервера приложений;
- библиотеки среды выполнения Microsoft .NET Framework версии 2 SP2 для функционирования генератора отчётных форм;
- драйвера OLE DB и клиентская часть СУБД для связи с сервером данных.

Прикладное программное обеспечение разработано в виде исполняемых файлов, библиотек и скриптов с использованием указанных выше средств разработки и обеспечивает выполнение следующих функциональных задач геоинформационной системы прогноза и оценки динамических явлений в угольном пласте:

- автоматизированную настройку программ для решения прикладных задач;

- архивирование информации в базах данных;
- представление информации о контролируемых подсистемами параметрах в табличной форме за прошедший период времени;
- защиту от несанкционированного доступа с использованием системы паролей и регистрации пользователей;
- визуализацию опасности динамических явлений в угольном пласте и рудничной атмосферы с использованием графических образов и анимации;
- регистрацию и хранение данных, системы документирования и генерации отчетов;
- диагностику состояния технических средств системы всех уровней.

Ниже приведены требования к техническим средствам, для обеспечения работы геинформационной системы прогноза и оценки опасности динамических явлений в угольном пласте. Минимальные допустимые требования к оперативной памяти составляют 1 Гб, а для обеспечения оптимальной производительности требуется не менее 4 Гб. Минимальные требования к быстродействию процессора x86 составляют 1 ГГц, процессора x64 – 1,4 ГГц. Рекомендуемые требования к процессору от 2 ГГц или выше. По типам процессоров предъявляются требования: Процессор x64: AMD Opteron, AMD Athlon 64, Intel Xeon с поддержкой Intel EM64T, Intel Pentium IV с поддержкой EM64T, Процессор x86: процессор, совместимый с Pentium III или выше. Требования к графической карте АРМ оператора составляют минимум 256 Мб. Разрешение монитора АРМ оператора должно быть не менее 1920x1080 Пикселей.

ВЫВОДЫ

1. Исследованы сочетания влияющих факторов на оценку опасности динамических явлений в угольном пласте и их влияние на оценку опасности динамических явлений в угольном пласте.

2. На основе проведения исследований на шахте им. С. М. Кирова выявлена связь частоты сейсмоакустического сигнала от значения величины действующих напряжений в угольном пласте.

3. Разработаны алгоритмы, лежащие в основе пространственной модели оценки опасности динамических явлений в угольном пласте в наблюдаемом регионе на основе взаимного расположения зарегистрированных и спрогнозированных динамических событий и их зоны влияния на наблюдаемый участок шахты.

4. Оценена зависимость влияния изменения интервала обновления данных о значениях величин влияющих факторов на величину ошибки прогноза возникновения динамических событий и оценки опасности динамических явлений в угольном пласте.

5. Разработана методика создания обучающих выборок для нейронной сети многофакторной модели оценки опасности динамических явлений в угольном пласте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является научно-квалификационной работой, содержащей решение задачи разработки геоинформационной системы прогнозирования динамических проявлений в углевмещающем массиве при подземной разработке угольных месторождений, имеющей существенное значение для угледобывающей промышленности России и развития знаний по научной дисциплине 25.00.35 – Геоинформатика.

Основные выводы и результаты работы, полученные лично автором:

1. Проведен системный и структурный анализ геоинформационных систем контроля динамического состояния угольного пласта, предназначенных для пространственного мониторинга напряженно-деформированного состояния углепородного массива на шахтах, опасных по ГДЯ, на основе которого выявлены их недостатки и сформулированы задачи исследований.

2. В результате проведенных исследований пространственно распределенных параметров, характеризующих динамическое состояние угольного пласта разработана геоинформационная методика оценки этих параметров для прогноза опасности ГДЯ на производственных участках шахты.

3. В результате проведенных исследований пространственного распределения очагов ГДЯ в зоне ведения горных работ были разработаны алгоритмы группировки и оконтуривания зон сейсмических и сейсмоакустических событий в угольном пласте, на основе пространственного влияния событий с учетом их энергий.

4. На основе проведенных исследований развития пространственных областей ГДЯ была разработана последовательность действий для расчета прогноза возникновения ГДЯ в угольном пласте на основе оценки отклонения прогнозируемого от впоследствии определенного фактического местоположения.

5. Проведенные эксперименты на шахте им. С.М. Кирова показали, что после тестового периода в один месяц и последующих корректировок коэффициентов влияющих факторов и переобучения нейронной сети удалось снизить процент ошибок с 45% до 38% при ошибках первого и второго рода соответственно с 27% до 21% и с 18% до 17%. Если учитывать, что разрешенная погрешность для условий шахты составляет 50%, то полученные положительные результаты свидетельствуют о правильно выбранных методах и средствах при проведении эксперимента. В свою очередь проведение эксперимента на шахте Заполярная также получило положительные результаты. В тестовый период проведения эксперимента были получены результаты с общей ошибкой прогноза в 59%, из них ошибками первого рода оказались 27% и ошибками второго рода оказались 18%. После корректировки прогнозных критериев и переобучения нейронной сети процент ошибок удалось снизить до общего значения в 44%, из них ошибки первого рода 25% и ошибки второго рода 19%. Данные результаты свидетельствуют о правильности постановки, выбора ограничивающих условий и проведения эксперимента.

6. Разработанные методические положения, программное обеспечение и результаты исследований внедрены и используются при оценке и прогнозе опасности проявлений гео- и газодинамических явлений на шахтах Заполярная, Воркутинская АО «Воркутауголь» и шахте им. С.М. Кирова ОАО «СУЭК-Кузбасс».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аксенов В.К. Аппаратура для исследования напряженного состояния массива горных пород методом разности давлений / В.К. Аксенов, М.В. Курленя // Измерение напряжений в массиве горных пород. - Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1968. - С. 134-142.
2. Аксенов В.К. Некоторые особенности техники измерения напряжений в породном массиве гидравлическими датчиками / В.К. Аксенов, М.В. Курленя // Измерение напряжений в массиве горных пород. - Новосибирск, 1972. - С. 159-167.
3. Аксенов В.К. Общий случай взаимодействия гидравлического датчика с горными породами / В.К. Аксенов, М.В. Курленя, С.Н. Попов // ФТПРПИ. - 1977.-№ 1.-С. 70-74.
4. Аксенов В.К. Определение дополнительных напряжений в массиве горных пород гидравлическими датчиками / В.К. Аксенов, М.В. Курленя, В.С. Акимов // Измерение напряжений в массиве горных пород - ИГД СО АН СССР. - Новосибирск, 1970. - С. 102-111.
5. Аксенов В.К. Развитие методов и аппаратуры для оценки состояния и свойств пород в массиве при активном воздействии на поверхность скважин / В.К. Аксенов, П. Кноль, А.А. Козырев, М.В. Курленя // Измерение напряжений в массиве горных пород. Ч. 3. - ИГД СО АН СССР. - Новосибирск, 1976. - С. 8-15.
6. Анцыферов М.С., Константинова Л.Г., Переверзев Л.Б. Сейсмоакустические исследования в угольных шахтах. — М.: Изд-во АН СССР, 1980. – 132 с.
7. Арцыбашев В.А. Гамма-метод измерения плотности. М., Атомиздат, 1965. - 204 с.
8. Барковский В.М. Состояние и перспективы развития метода полной разгрузки / В.М. Барковский // В сб.: Измерение напряжений в массиве горных пород. Ч.1./ ИГД СО АН СССР. Новосибирск, 1976, с. 27-32.

9. Барышников В.Д. Способ натурального определения упругих свойств горных пород в методе параллельных скважин / В.Д. Барышников, М.В. Курленя, С.Н. Попов, В.К. Федоренко // ФТПРПИ. - 1982. - № 1. - С. 77-79.
10. Болотин Ю.И. Об измерениях координат и энергии акустической эмиссии в массивах горных пород// Дефектоскопия, 1993. №3, с. 26-29.
11. Борис И.Н., Авсарагов Х.Б. Ядерно-геофизические методы опробования при добыче и переработки минерального сырья. –Л., Наука, 1972. - 149 с.
12. Влох Н.П. Измерение напряжений в массиве крепких горных пород / Н.П. Влох, А.Д. Сашурин. - М.: Недра, 1970. - 124 с.
13. Влох Н.П. Методы измерения напряжений в крепких горных породах / Н.П. Влох, А.Д. Сашурин // Измерение напряжений в массиве горных пород: Материалы семинара 24-25 мая 1967 г. - Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1968. - С.82-9
14. Влох Н.П. Результаты исследования проявлений горного давления при подземной разработке железорудных месторождений Урала / Н.П. Влох, А.Д. Сашурин, СМ. Ушаков // Вопросы совершенствования систем разработки с понижением уровня горных работ: Материалы научно-технической конференции 16-19 мая 1967 г. - Кривой Рог, 1968.
15. Глушко В.Т., Ямщиков В.С., Яланский А.А. Геофизические методы контроля в угольных шахтах и тоннелях. М.: Недра, 1982. – 224 с.
16. Гулин А.Ю. О характере зависимости показаний нейтронного каротажа от пористости пород. «Прикладная геофизика», вып.72, М., Недра,1973, с. 204-214.
17. Данилов В.Н., Шкуратник В.Л., Сирота Д.Н. Зависимость между акустическими характеристиками и напряжениями в массиве горных пород. Известия вузов. Горный журнал. 1988. №2., с. 1–4.
18. Дырдин В. В. О влиянии влажности на результаты электрометрических измерений при контроле напряженного состояния краевых зон угольных пластов.// Уголь. -1989. - №1, с. 11–13.

19. Журавлев Е.И. Прогноз состояния опасности геодинамических явлений на шахтах в системе мониторинга массива горных пород. Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)., 2014, №9, С107-11
20. Журавлев Е.И. Комплексование разнородных данных о состоянии углепородного массива, параметров аэрогазового контроля и работы комбайна для расчета прогноза гео- и газодинамических явлений в аналитической геоинформационной системе шахты, Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)., №8, 2015, Сборник трудов симпозиума Неделя горняка 2015, С. 373-378
21. Журавлев Е.И., Федотов Г.С., Пикель К.С. Автоматизированный прогноз напряженного состояния массива горных пород на основе экстраполяции характеристик сейсмической и сейсмоакустической эмиссии с помощью нейросетевых технологий, Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)., №9, 2015, Сборник трудов симпозиума Неделя горняка, С.404-411
22. Журавлев Е.И., Федотов Г.С., Пикель К.С. Система автоматизированного и энергоэффективного управления очистным комплексом, Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)., №10, 2015, С 156-160
23. Журавлев Е.И., Федотов Г.С., Пикель К.С. Автоматизация технологического процесса очистных работ с учетом состояния массива горных пород, Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)., №10, 2015, С 181-185
24. Журавлев Е.И. Структура подсистемы отчености гео и газодинамических явлений в аналитической геоинформационной системе шахты - В сборнике: Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых Материалы 11-й Международной научной школы молодых ученых и специалистов. Институт проблем комплексного освоения недр. 2014. - С. 231-235.

25. Журавлев Е.И. Структура подсистемы прогноза гео и газодинамических явлений в аналитической геоинформационной системе шахты. Материалы Международной научной школы (в форме конференции) академика К.Н.Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр». 2014г
26. Журавлев Е.И. Прогноз динамических явлений и оценка состояния массива горных пород в геоинформационных аналитических системах угольных шахт. В сборнике: Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых Материалы 12-й Международной научной школы молодых ученых и специалистов. Институт проблем комплексного освоения недр. 2015.
27. Зубков А.В. Концентрация напряжений на торце буровой скважины / А.В. Зубков, Н.П. Влох, А.Д. Сашурин // Измерение напряжений в массиве горных пород: Сб. науч. тр. - ИГД СО АН СССР. - Новосибирск, 197 – 113 с.
28. Колесников В.П., Геник И.В., Пронин В.П. Опыт применения низкочастотных методов электроразведки в шахтных условиях Верхнекамского месторождения калийных солей // горная наука на рубеже XXI века. Екатеринбург, 1998, с. 330-335.
29. Кораблев А.А. Современные методы и приборы для изучения напряженного состояния массива горных пород / А.А. Кораблев - М.: Наука, 1969. -127 с.
30. Кубрин С.С. Журавлев Е.И. Программный инструментарий поддержки принятия решений по выбору крепи горных выработок на основе геомеханических свойств горного массива. - Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). №5, 2013, С.85-91
31. Кубрин С.С., Журавлев Е.И. Контроль геодинамического и газодинамического состояния массива горных пород. I Международная научно-техническая конференция Безопасность труда и эффективность производства горнодобывающих предприятий с подземным способом разработки. 6-7 апреля 2016 г.Екатеринбург УГГУ.2016. С. 17-23

32. Курленя М.В. Развитие метода гидроразрыва для исследования напряженного состояния массива горных пород / М.В. Курленя, А.В. Леонтьев, С.Н. Попов // ФТПРПИ. - 1994. - № 1. - С. 3-20.
33. Курленя М.В. Техника экспериментального определения напряжений в осадочных породах / М.В. Курленя, В.К. Аксенов, А.В. Леонтьев, М.Б. Устюгов. - Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1975. -147 с.
34. Курленя М.В., Леонтьев А.В. Предельные размеры породного керна с центральной скважиной. – В кн.: Измерение напряжений в массиве горных пород. Новосибирск, 1970, с. 42-46.
35. Линецкий А. П. Исследование напряженно деформированного состояния кровли выбросоопасного угольного пласта электрометрическим методом.// Управление горным давлением и борьба с горными ударами. -Л., 1980, с. 109-111.
36. Мусин А.И., Бакаев И.Т., Овсянников П.И. Применение микросейсмического метода для исследования массива горных пород. М., Госгортехиздат, 1962. - 85 с.
37. Мухелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости / Н.И. Мухелишвили - М.: Наука, 1966. - 707 с.
38. Нестеренко Г.Т. Совершенствование метода разгрузки для определения напряжений в крепких трещиноватых породах / Г.Т. Нестеренко, Р.К. Твердовский, Р.П. Артемов // Труды ВНИМИ. - Л., 1966. - Вып. 62. - С. 169-182.
39. Панов СИ. Определение естественных напряжений в скальных массивах методом прессиометрии / СИ. Панов // Измерение напряжений в массиве горных пород. - ИГД СО АН СССР. - Новосибирск, 1972. - С. 177-180.
40. Попов С.Н. Точная расчетная схема метода параллельных скважин / С.Н. Попов // Диагностика напряженного состояния породных массивов – ИГД СО АН СССР. - Новосибирск, 1980. - С. 3-8.
41. Рудаков М.Л. Измерение напряжений методом частичной разгрузки / М.Л. Рудаков, А.Д. Сашурин // Труды ИГД. - Свердловск, 1963. - Вып. 6.

42. Руководство по оценке состояния и свойств угольного массива скважинными гидравлическими датчиками // ИГД СО АН СССР. - Новосибирск, 1979.
43. Руководство по применению метода разгрузки для определения напряженного состояния в глубине горных массивов. -Л., 1960. - 15 с.
44. Руководство по применению метода разгрузки керна с центральной скважиной для определения напряжений в массиве осадочных горных пород. - Новосибирск, изд. ИГД СО РАН СССР, 1969. - 62 с.
45. Савич А. И. Комплексные инженерно-геофизические исследования при строительстве гидротехнических сооружений / А.И. Савич, Б.Д. Куянджич, В.И. Коптев и др.; Под ред. А.И. Савича, Б.Д. Куянджича. – М.: Недра, 1990. – 462 с.
46. Сашурин А.Д. Исследование по совершенствованию методов измерения в крепких горных породах: Автореф. дисс.канд. техн. наук / А.Д. Сашурин; ИГД МЧМ. - Свердловск, 1969. - 21 с.
47. Сашурин А.Д. Новые методы измерения напряжений в горном массиве на железорудных предприятиях Урала / А.Д. Сашурин, Н.П. Влох, А.В. Зубков // Вопросы совершенствования систем разработки с понижением уровня горных работ: Материалы научно-технической конференции 16-19 мая 1967 г. - Кривой Рог, 1968.
48. Тарасов Б. Г., Дырдин В. В. Исследование зависимости электрофизических свойств каменных углей от механических напряжений.// Подземная разработка мощных угольных пластов : Межвузов, сб. Кемерово. - Вып. 3. -1976, с. 166-184.
49. Турчанинов И.А., Панин В.И. Геофизические методы определения и контроля напряжений в массиве. Л., «Наука», 1976, - 163 с.
50. Указание по обработке удароопасных месторождений / ВНИМИ. - Л., 1980. -20 с.

51. Федоренко В.К. Лабораторные испытания скважинных гидравлических датчиков / В.К. Федоренко // Измерение напряжений в массиве горных пород. Часть 2, часть 3. - Новосибирск, 1974. - С. 113-117.
52. Федотов Г.С., Журавлев Е.И., Кубрин С.С. Учет состояния массива горных пород при составлении задания на смену. В сборнике: Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых Материалы 12-й Международной научной школы молодых ученых и специалистов. Институт проблем комплексного освоения недр. 2015.
53. Шамойлова Р.А. «Теория статистики», учебник под ред. Р.А. Шмойловой, М.: Финансы и статистика, 2000. - 510 с.
54. Шамойлова Р.А. «Практикум по теории статистики», под ред. Р.А. Шмойловой, М.: Финансы и статистика, 2001. - 456 с.
55. Шемякин Е.И. Кольцевые скважинные датчики для геомеханических исследований / Е.И. Шемякин, М.В. Курленя, Г.И. Кулаков - ИГД СО АН СССР. - Новосибирск, 1985. - 133 с.
56. Шемякин Е.И. Техника экспериментального определения напряжений в осадочных породах. Отв. Ред. Е.И. Шемякин. Новосибирск, изд. «Наука», 1975. - 150 с.
57. Шкуратник В.Л. Горная геофизика. Ультразвуковые методы. М.- МГИ, 1990. – 104 с.
58. Шкуратник В.Л., Данилов В.Н. Об использовании локационного режима при ультразвуковом контроле напряженно-деформированного состояния массива горных пород. – ФТПРПИ, 1990, №3, с. 37-40.
59. Шкуратник В.Л., Николенко П.В. Методы определения напряженно-деформированного состояния массива горных пород, МГГУ, 2012, 112 с.
60. Шубалина В.А. Теория статистики: Учебник / Под ред. В.А. Шабалиной. – М.: ИНФРА-М, 2008.
61. Юзбашев М.М. «Общая теория статистики» И.И. Елисеева, М.М. Юзбашев, М.: Финансы и статистика, 2002. – 480 с.

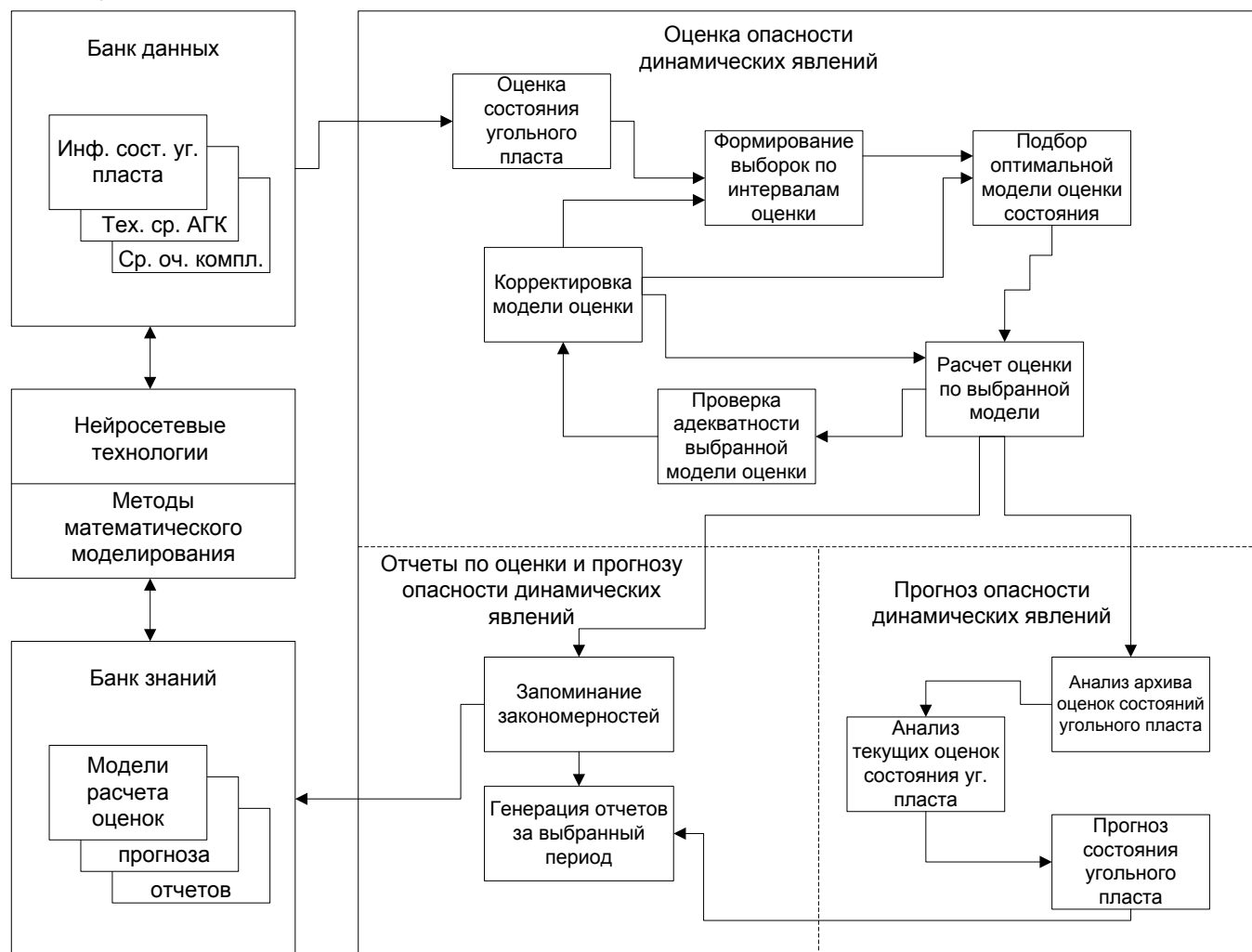
62. Ямщиков В.С. Методы и средства исследования и контроля горных пород и процессов. М.: Недра, 1982. - 296 с.
63. Юнкеров В.И., Григорьев С.Г. Математико-статистическая обработка данных медицинских исследований.- СПб.: ВМсдА, 2002 - 266 с.
64. Coutingo A. Theory of an experimental method of determination stresses not requiring an accurate knowledge of the modules of elasticity / A. Coutingo. - Intemat. Assoc, for Bridge and Structure Engineering, Publ. 7, 1949. - 15 p.
65. Mathar J. Ermittlung von Eigenspannungen durch Messung von Bohrlochverformungen / Mathar J. // "Arch.fur d. Eisenhut", H - 7, 277 (1933). - . P. 28-37.
66. Willson A.H. The measuremnt of rock stress / A.H. Willson - Colliery Guard., 1962, January 25. -P. 118-127.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А1 – Последовательность обработки пространственно-распределенных данных в геоинформационной системе оценки и прогноза опасности динамических явлений в угольном пласте



Приложение А2 – Структура информационного обмена между компонентами геоинформационной системы оценки и прогноза опасности ГДЯ в угольном пласте



Приложение А3 – Описание зависимости изменения оценки состояния массива
горных пород при взаимном изменении влияющих факторов

№ п/п	Значения сочетаний влияющих факторов									Отклик	Состояние	
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	$\Delta R(x)$	$R_4(x)$	$R_2(x)$
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0,020408	0	0
3	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0,163265	0	0
4	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0,183673	0	0
5	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0,081633	0	0
6	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0,102041	0	0
7	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0,244898	0	0
8	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0,265306	1	0
9	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0,22449	0	0
10	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0,244898	0	0
11	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0,387755	1	0
12	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0,408163	1	0
13	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0,306122	1	0
14	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0,326531	1	0
15	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0,469388	2	0
16	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0,489796	2	0
17	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0,265306	1	0
18	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0,285714	1	0
19	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0,428571	1	0
20	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0,44898	1	0
21	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0,346939	1	0
22	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0,367347	1	0
23	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0,510204	2	1
24	1	0	0	0	1	0	1	1	1	0,530612	2	1
25	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0,489796	1	0
26	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0,510204	2	1
27	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0,653061	2	1
28	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0,673469	2	1
29	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0,571429	2	1
30	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0,591837	2	1
31	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0,734694	3	1
32	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0,755102	3	1
33	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0,163265	0	0
34	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0,183673	0	0
35	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0,326531	1	0

№ п/п	Значения сочетаний влияющих факторов									Отклик	Состояние	
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	$\Delta R(x)$	$R_4(x)$	$R_2(x)$
36	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0,346939	1	0
37	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0,244898	0	0
38	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0,265306	1	0
39	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0,408163	1	0
40	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0,428571	1	0
41	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0,387755	1	0
42	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0,408163	1	0
43	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0,55102	2	1
44	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0,571429	2	1
45	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0,469388	1	1
46	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0,489796	1	1
47	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0,632653	2	1
48	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0,653061	2	1
49	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0,428571	1	1
50	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0,44898	1	0
51	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0,591837	2	1
52	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0,612245	2	1
53	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0,510204	2	1
54	1	0	0	1	1	0	1	0	1	0,530612	2	1
55	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0,673469	2	1
56	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0,693878	2	1
57	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0,653061	2	1
58	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0,673469	2	1
59	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0,816327	3	1
60	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0,836735	3	1
61	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0,734694	3	1
62	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0,755102	3	1
63	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0,897959	3	1
64	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0,918367	3	1
65	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0,081633	0	0
66	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0,102041	0	0
67	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0,244898	1	0
68	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0,265306	1	0
69	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0,163265	0	0
70	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0,183673	0	0
71	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0,326531	1	0
72	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0,346939	1	0
73	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0,306122	1	0

№ п/п	Значения сочетаний влияющих факторов									Отклик	Состояние	
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	$\Delta R(x)$	$R_4(x)$	$R_2(x)$
74	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0,326531	1	0
75	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0,469388	1	0
76	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0,489796	1	0
77	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0,387755	1	0
78	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0,408163	1	0
79	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0,55102	2	1
80	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0,571429	2	1
81	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0,346939	1	0
82	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0,367347	1	0
83	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0,510204	1	1
84	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0,530612	1	1
85	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0,428571	1	0
86	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0,44898	1	0
87	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0,591837	2	1
88	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0,612245	2	1
89	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0,571429	2	1
90	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0,591837	2	1
91	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0,734694	2	1
92	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0,755102	3	1
93	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0,653061	2	1
94	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0,673469	2	1
95	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0,816327	3	1
96	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0,836735	3	1
97	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0,244898	0	0
98	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0,265306	1	0
99	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0,408163	1	0
100	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0,428571	1	0
101	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0,326531	1	0
102	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0,346939	1	0
103	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0,489796	1	0
104	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0,510204	2	1
105	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0,469388	1	0
106	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0,489796	1	0
107	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0,632653	2	1
108	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0,653061	2	1
109	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0,55102	2	1
110	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0,571429	2	1
111	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0,714286	2	1

№ п/п	Значения сочетаний влияющих факторов									Отклик	Состояние	
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	$\Delta R(x)$	$R_4(x)$	$R_2(x)$
112	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0,734694	2	1
113	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0,510204	2	1
114	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0,530612	2	1
115	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0,673469	2	1
116	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0,693878	2	1
117	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0,591837	2	1
118	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0,612245	2	1
119	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0,755102	3	1
120	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0,77551	3	1
121	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0,734694	2	1
122	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0,755102	3	1
123	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0,897959	3	1
124	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0,918367	3	1
125	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0,816327	3	1
126	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0,836735	3	1
127	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0,979592	3	1
128	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	1