

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»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва 2016

Работа выполнена в ФГБУН «ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ КОМПЛЕКСНОГО
ОСВОЕНИЯ НЕДР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»

(ИПКОН РАН)

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор
Кубрин Сергей Сергеевич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Майоров Андрей Александрович,
заведующий кафедрой «Информационно-
измерительных систем» ФГБОУ ВПО
«Московский государственный университет
геодезии и картографии» (МИИГАиК, г.
Москва)

кандидат технических наук
Стадник Денис Анатольевич,
доцент кафедры Геотехнологии освоения недр
Федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего
образования «Национальный
исследовательский технологический
университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС»)

Ведущая организация

Российский государственный
геологоразведочный университет имени Серго
Орджоникидзе (ФГБОУ ВО «МГРИ – РГГРУ»,
г. Москва)

Защита диссертации состоится ____ 2016 г. в ____ час. на заседании
диссертационного совета Д 212.132.14 при Национальном исследовательском
технологическом университете «МИСиС» по адресу: 119991, г. Москва,
Ленинский проспект, д. 6, стр. 2.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке
Национального исследовательского технологического университета «МИСиС».

Автореферат разослан ____ 2016 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

докт. техн. наук, проф. Агафонов В.В.

Д 212.132.14

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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), 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 углеватном массиве является актуальной, результаты реализации которой будут способствовать повышению уровня промышленной безопасности и эффективности ведения подземных горных работ.

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

Идея работы 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 решены 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, выносимые на защиту:

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 включен в состав геоинформационной системы прогнозирования динамических явлений в углевмещающем массиве и 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 и предусматривающий адаптивную корректировку параметров расчета координат местоположения очага, позволяет геоинформационной системе прогнозирования минимизировать ошибку в координатах прогноза.

Достоверность научных положений, сформулированных в диссертации, подтверждается:

- ✓ анализом полученного на шахтах АО «Воркутауголь» и АО «СУЭК-Кузбасс» 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 воздействий на него;
- ✓ 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, своевременного выявления и локализации негативных последствий, направленных на повышение безопасности ведения подземных горных работ.

Реализация выводов и рекомендаций работы. Разработанная геоинформационная система оценки и прогноза опасности динамических проявлений в углевмещающем массиве внедрена на шахте им. С. М. Кирова АО «СУЭК-Кузбасс» и шахтах Воркутинская, Заполярная АО «Воркутауголь». Разработанная методика и алгоритмы прогнозирования динамических

проявлений в угле вмещающем массиве реализованы в модуле оценки и прогноза опасности динамических проявлений, входящего в состав геоинформационной системы прогнозирования динамических проявлений в угле вмещающем массиве.

Апробация работы. Основные результаты работы и её отдельные положения докладывались на международных конференциях и симпозиумах «Неделя горняка» (2013–2016 гг.), Международной научной школе (конференции) академика К.Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр» (2014 г.), Международных научных школах молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке – глазами молодых» (2013–2015 гг.), I Международной научно-технической конференции «Безопасность труда и эффективность производства горнодобывающих предприятий с подземным способом разработки» (г. Екатеринбург, УГГУ, 2016 г.).

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

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

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

При возрастании глубины разработки и интенсификации добычи угля вероятность газо- и геодинамических явлений (ГДЯ) повышается. Одной из трудностей прогноза ГДЯ является недостаточно изученный механизм формирования очагов ударо- и выбросоопасности и их распределения в пространстве. Для моделирования динамических процессов формирования и развития очага повышенного напряжения в угольном пласте необходимо учитывать большое число количественных и качественных факторов.

Некоторые факторы, оказывающие влияние на процессы зарождения, развития и релаксации очага напряжения угольного пласта, расчетными методами невозможно определить. Поэтому оценку влияния таких факторов на динамику развития очага ГДЯ необходимо производить статистическими методами.

В диссертации на основе анализа параметров, характеризующих напряженно-деформированное состояние угольного пласта, выявлены влияющие факторы и их статистические оценки (полужирным начертанием выделены наиболее значащие из факторов, использованные автором в работе):

✓ данные сейсмического, сейсмоакустического мониторинга, характеризующие свойства угольного пласта: **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, число дренажно-разгрузочных скважин, способ управления кровлей, наличие целиков на соседних пластах;

✓ данные аэрогазового контроля, характеризующие состояние рудничной атмосферы: **концентрации метана**, оксида и диоксида углерода, угольной пыли, **скорости воздушных потоков**;

✓ данные мониторинга очистного / проходческого комплекса: **работа / простой**, тип выемочной машины, скорость выемки, токи двигателей, шнеков, подачи, положение относительно забоя и т.д.;

✓ статистические оценки ГДЯ в угольных пластах: **их распределения по месту и энергии**.

Для совместного учета указанных факторов и статистических оценок создана многофакторная математическая модель прогноза и оценки опасности влияния ГДЯ на безопасность ведения горных работ в виде функции $S = f(F_1V_1, F_2V_2, \dots, F_nV_n)$, отличающаяся от других учетом энергии очагов ГДЯ, где F_i – факторы / статистические оценки, определяющие опасность возникновения динамического явления. Функция S формируется на основе представленных

временными рядами сейсмической и сейсмоакустической эмиссий, параметров состояния рудничной атмосферы, режимов горных работ и статистических оценок, характеризующих распределение очагов ГДЯ. Все факторы представлены в виде булевых функций с параметрическими ограничениями.

Повторяющиеся на одних и тех же участках угольного пласта ГДЯ, свидетельствуют о наличии некоторой аномальной совокупности горно-геологических условий и характеристик пласта, и о повышенной опасности по выбросам и горным ударам наблюдаемого участка. Для определения участков (зон) угольного пласта повышенной опасности по ГДЯ разработан алгоритм группировки очагов ГДЯ, схожих по местоположению, на основе кластеризации зарегистрированных событий, с учетом их энергии.

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 того, что:

а) сторона ячейки должна быть равна: $a = 2^k$, где k – коэффициент сетки;

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

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

а) определяется принадлежность к кластеру очередного очага ГДЯ: 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;

- в) перебираются все очаги в ячейках из полученного списка;
- г) вычисляется расстояние между текущим очагом и проверяемым из списка. Если оно окажется меньше заданного максимального R , то:
- ✓ если проверяемый очаг не входит ни в один кластер, то он вносится в тот же кластер, что и текущий очаг;
 - ✓ 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 .

Оконтуривание области кластера очагов позволяет получить границы участков повышенной опасности угольного пласта по ГДЯ. Алгоритм оконтуривания основывается на построении плоскости по трем очагам. В 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 в следующей последовательности.

1. Находятся три самых отдаленных 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.

В результате работы алгоритма кластер очагов будет ограничен границами, точки которых упорядочены относительно центра кластера. Контур фигуры, ограничивающий кластер очагов ГДЯ, получается исключением координат центров очагов, в которых изменение производной линии контура превышает значение 0,27 (рисунок 1).

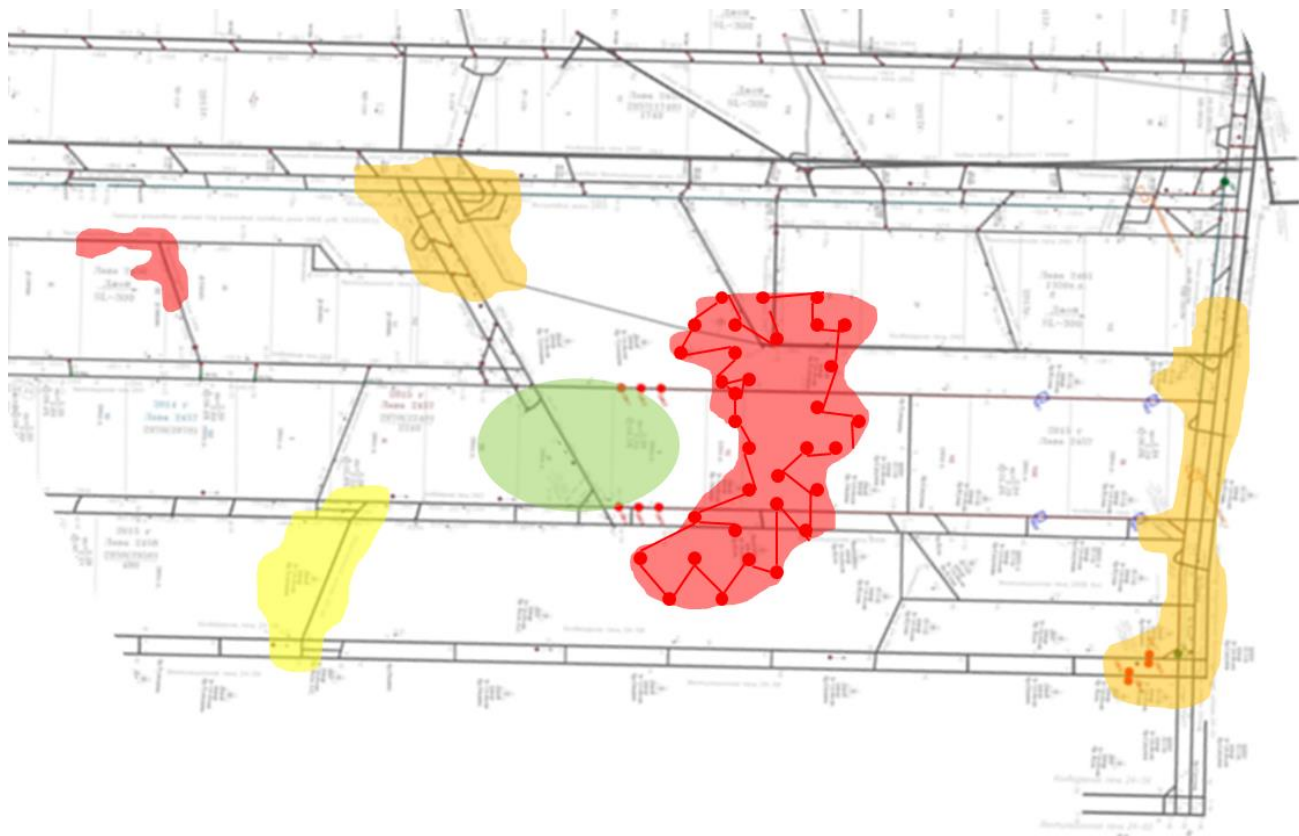


Рисунок 1 – Области оценки опасности ГДЯ в угольном пласте (зеленым цветом отмечена зона очистного забоя; желтым, оранжевым и красным цветом отмечены зоны опасности динамических явлений; точками отмечены зарегистрированные динамические явления в угольном пласте)

Для выявления опасности ГДЯ в угольном пласте необходимо спрогнозировать значения факторов / статистических оценок, входящих в многофакторную модель прогноза. С целью повышения качества прогноза

предложен анализ архивных значений с дополнением его текущим значением опасности ГДЯ для каждого из наблюдаемых участков угольного пласта. Для каждого фактора / статистической оценки находится оптимальный вид закона (линейный, квадратичный, кубический, гиперболический, логарифмический, степенной и экспоненциальный) изменения во времени по критерию минимизации дисперсии ошибки. Вычисляются коэффициент детерминации, F -критерий Фишера, t -критерий Стьюдента и критерий Дарбина-Уотсона прогноза фактора / статистической оценки, для проверки влияния случайных ошибок на качество прогноза фактора / статистической оценки. Оптимальным законом, аппроксимирующим временной ряд, будет тот, у которого коэффициент детерминации наиболее близок к единице: $R^2 = 1 - \frac{\sum_i (y_i - f_i)^2}{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}$, где y_i – выборочные данные, а f_i – соответствующие им значения аппроксимации.

Точность прогноза тем выше, чем меньше величина разности между прогнозируемым и фактическим значениями. Эту разность возможно определить только в будущем, после выполнения прогноза. Для априорной оценки достоверности прогноза определяют его доверительный интервал на основе вероятности реализации соответствующего прогноза (уровня значимости прогноза). При этом прогноз 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), а с увеличением периода упреждения прогноза растет и рассчитывается как $\Delta = \pm 3 \cdot \sigma_n$, при вероятности $P = 0,997$, где σ_n – средняя квадратическая ошибка прогноза. Для вычисления доверительного интервала с помощью коэффициента

Стьюдента используется формула: $\Delta = t_{\alpha} \cdot S_y$, где S_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: $y_{i+z} = y_k \pm \Delta = y_k \pm t_{\alpha} S_{\Pi}$, где S_{Π} – средняя квадратическая ошибка

прогноза, вычисляемая по формуле: $S_{\Pi} = S_y \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}$, (x_k – заданное, а

$\bar{x}$ – среднее значение фактора / статистической оценки $\bar{x}$).

На основе анализа горно-геологических характеристик пластов, режимов горных работ были выявлены закономерности совместного влияния факторов / статистических оценок на определение опасности ГДЯ в угольных пластах для шахты «Заполярная» лавы 1312 пласта «Четвертый». В итоге определены экспериментальные весовые значения влияющих факторов / статистических оценок, которые определили вид функции оценки опасности ГДЯ в угольном пласте: $S = 0,1172654 \cdot F_1 + 0,2283765 \cdot F_2 + 0,2036852 \cdot F_3 + 0,1172654 \cdot F_4 + 0,1666481 \cdot F_5 + 0,0802284 \cdot F_6 + 0,0871914 \cdot F_7$.

В зависимости от горно-геологических условий и технологий, используемых при разработке угольного пласта, необходимо использовать несколько видов оценки опасности ГДЯ, отличающихся уровнями градации. В целом по шахтному полю (региональный прогноз) опасность ГДЯ в угольном пласте на основе сейсмических измерений оценивается двумя уровнями «неопасно» / «опасно». При выполнении локального прогноза (в подготовительных и очистных забоях) на основе анализа сейсмоакустической эмиссии предложена четырехуровневая оценка опасности («неопасно», «слабоопасно», «среднеопасно» и «сильноопасно»), позволяющая при нарастании предвестников ГДЯ определить степень влияния отдельных факторов и принять при необходимости оперативные решения.

Для определения опасности ГДЯ в угольном пласте разработана нейронная сеть, и определена оптимальная архитектура (персептрон с обратной связью), включающая в себя семь нейронов во входном слое, на которые подаются значения факторов / статистических оценок и четыре нейрона в выходном слое. Качество прогноза оценивается математическим ожиданием

ошибки $M[X] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{\phi i} - X_{pi})$, дисперсией $D = \sum_{i=1}^n \left((X_{\phi i} - X_{pi})^2 - \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{\phi i} - X_{pi} \right)^2 \right)$ и среднеквадратичным отклонением

ошибки $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{\phi i} - X_{pi})^2}{n}}$.

Основными информативными признаками при прогнозе опасности ГДЯ и их неблагоприятных проявлений в угольном пласте по активности акустической эмиссии угольных пластов являются не только количество импульсов в единицу времени акустической эмиссии, но и энергии этих импульсов и их пространственное распределение в угольном пласте. Энергия очага ГДЯ определяется на основе конечно-разностного метода сдвига сейсмической волны, зафиксированной датчиком, по взаимно перпендикулярным осям.

Структура информационного обмена между компонентами геоинформационной системы и последовательность использования многофакторной модели оценки опасности ГДЯ в угольном пласте представлены на рисунке 2. Определение опасности ГДЯ в угольном пласте основывается на анализе ретроспективной информации сейсмической и сейсмоакустической активности за различные временные интервалы, дополненной сведениями о параметрах рудничной атмосферы наблюдаемого участка угольной шахты и режиме ведения горных работ.

Оценка влияния опасной зоны ГДЯ при ведении очистных и проходческих работ требует знания места возникновения очага повышенного

напряжения в угольном пласте. Для этого разработан алгоритм прогноза места возможного возникновения ГДЯ в угольном пласте с расчетом его энергии. Данный алгоритм отличается тем, что впоследствии прогнозное определение координат корректируется на основе отклонения места фактического проявления ГДЯ относительно координат спрогнозированного очага, что значительно увеличивает точность прогноза местоположения ГДЯ в пространстве угольного пласта и снижает количество ошибок прогноза.

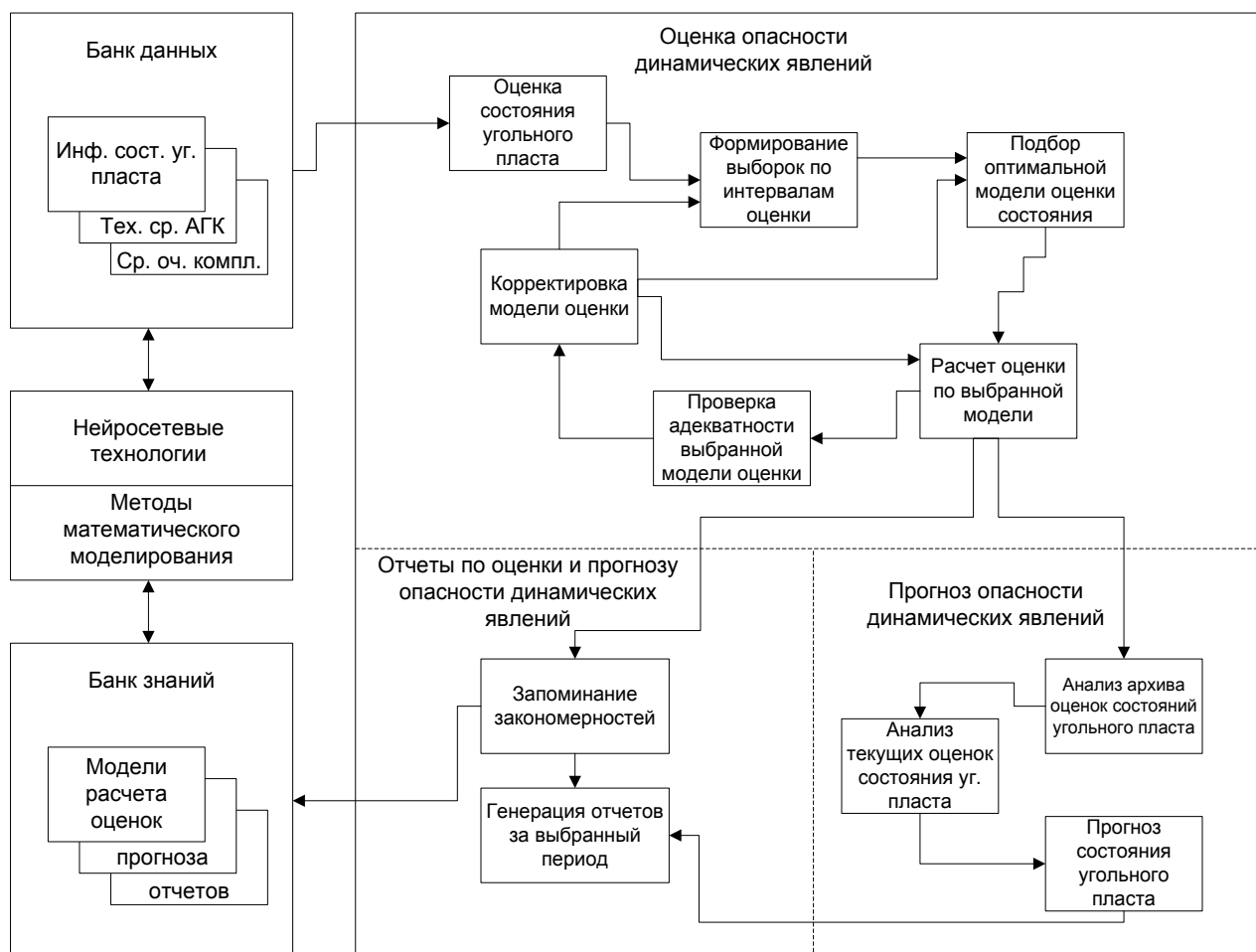


Рисунок 2 – Структура информационного обмена между компонентами геоинформационной системы оценки и прогноза опасности ГДЯ в угольном пласте

Для получения результатов прогноза динамических явлений с минимальной ошибкой была разработана архитектура нейронной сети вида многослойный персептрон с семью нейронами во входном слое, одним скрытым слоем с шестью нейронами и выходным слоем с четырьмя нейронами.

Программный инструментарий геоинформационной системы прогноза динамических явлений в угольном пласте собирает и анализирует статистику зарегистрированных и спрогнозированных ГДЯ (рисунок 3), а также строит наиболее опасные и безопасные зоны (см. рисунок 1).

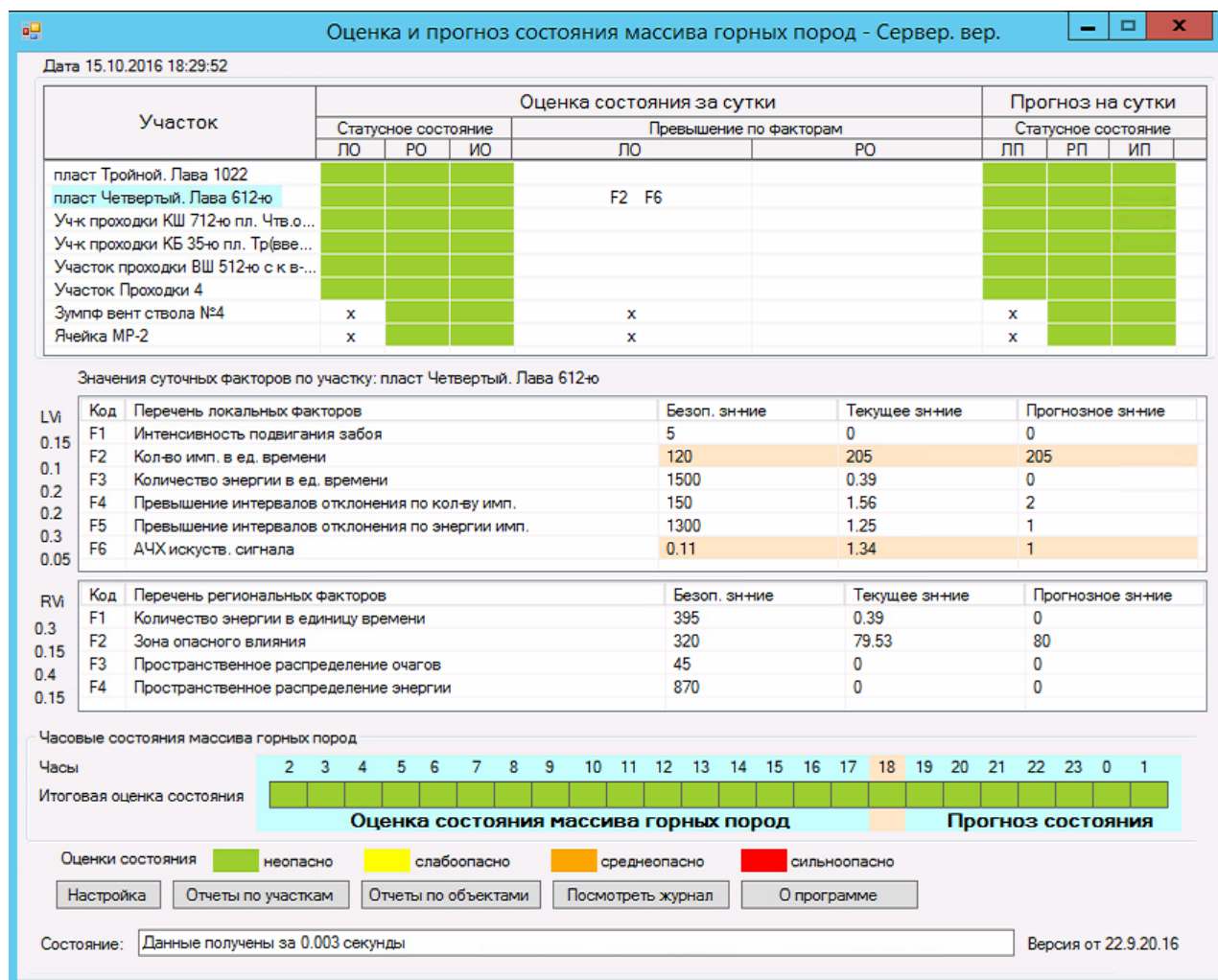


Рисунок 3 – Мнемосхема оценки и прогноза опасности ГДЯ в угольном пласте

Прогноз и оценка опасности ГДЯ, выполненные для условий шахт им С. М. Кирова (г. Ленинск-Кузнецкий) и Заполярная (г. Воркута), и их сравнение с экспериментальными наблюдениями в этих же условиях позволили определить ошибки прогноза (таблица 1). Методы и алгоритмы оценки и прогноза опасности динамических явлений в угольном пласте были реализованы в виде специального программного обеспечения для проведения геодинамического мониторинга, входящих в состав геоинформационной

системы комплексного гео- и газодинамического мониторинга состояния массива горных пород.

Федеральной службой по интеллектуальной собственности выданы свидетельства о государственной регистрации 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» соответственно 2016616000 и 2016616002 от 2.06.2016.

Таблица 1 – Допустимые уровни ошибок

Период наблюдения	Количество ошибок 1-го рода, %	Количество ошибок 2-го рода, %	Ошибка прогноза, %
Шахта им. С.М. Кирова			
1-31.03.2015	27	18	45
1-30.04.2015	24	17	41
1-31.05.2015	21	17	38
Шахта Заполярная			
1-28.02.2015	34	25	59
1-31.03.2015	27	21	48
1-30.04.2015	25	19	44

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. Проведенный 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, позволил выявить их недостатки и сформулировать задачи исследований.

2. Проведенные исследования пространственно распределенных параметров, характеризующих динамическое состояние угольного пласта, позволили разработать геоинформационную методику оценки этих параметров для прогноза опасности ГДЯ на производственных участках шахты.

3. Проведенные исследования пространственного распределения очагов ГДЯ в зоне ведения горных работ позволили разработать алгоритмы группировки и оконтуривания зон сейсмических и сейсмоакустических событий в угольном пласте на основе пространственного влияния событий с учетом их энергий.

4. Проведенные исследования развития пространственных областей ГДЯ позволили разработать последовательность действий для расчета прогноза возникновения ГДЯ в угольном пласте на основе оценки отклонения прогнозируемого от впоследствии определенного фактического местоположения.

5. Проведенные на шахте им. С.М. Кирова эксперименты 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 % (ошибки первого и второго рода с 27 до 21 % и с 18 до 17% соответственно). Снижение ошибок после периода тестирования системы свидетельствует, что получены положительные результаты и правильно выбраны методы и средства при проведении эксперимента. В свою очередь, эксперимент, проведенный на шахте Заполярная, также дал положительные результаты. В тестовый период

проведения эксперимента, получены результаты с общей ошибкой прогноза в 59 %, из них ошибки первого рода – 27 % и ошибки второго рода – 18 %. После корректировки прогнозных критериев и переобучения нейронной сети процент ошибок удалось снизить до общего значения в 44 %, из них 25 % – ошибки первого рода и 19 % – ошибки второго рода. 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».

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

В научных журналах, рецензируемых ВАК при Минобрнауки РФ:

1. 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. – С. 107-111.
2. Журавлев Е.И. Комплексирование 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). – 2015. – №8. – С. 373-378.
3. 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). – 2015. – №9. – С. 404-411.

4. Журавлев Е.И., Федотов Г.С., Пикель К.С. Система автоматизированного и энергоэффективного управления очистным комплексом // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – №10. – С. 156-160.
5. 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). – 2015. – №10. – С. 181-185.
6. Кубрин С.С. Журавлев Е.И. Программный инструментальный поддержки принятия решений по выбору крепи горных выработок на основе геомеханических свойств горного массива // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – №5. – С. 85-91.

в других изданиях:

7. Журавлев Е.И. Структура подсистемы отнесенности гео и газодинамических явлений в аналитической геоинформационной системе шахты. - В сб.: Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых / Материалы 11-й Международной научной школы молодых ученых и специалистов. – М.: ИПКОН РАН. – 2014. – С. 231-235.
8. 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». – М.: ИПКОН РАН. – 2014г
9. Федотов Г.С., Журавлев Е.И., Кубрин С.С. Учет состояния массива горных пород при составлении задания на смену. – В сб.: Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых / Материалы 12-й Международной научной школы молодых ученых и специалистов. – М.: ИПКОН РАН. – 2015.

10. Журавлев Е.И. Прогноз динамических явлений и оценка состояния массива горных пород в геоинформационных аналитических системах угольных шахт. – В сб.: Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых / Материалы 12-й Международной научной школы молодых ученых и специалистов. – М.: ИПКОН РАН. – 2015.
11. 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.

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.

