

Утверждаю

Генеральный директор

ООО «ПРОМТЕХ»

Проф. д.т.н. Котлярский А.И.



ОТЗЫВ

ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу До Чи Тхань

«Разработка алгоритмов управления вентиляционной системой метанообильных шахт Вьетнама с использованием моделей прогнозной аналитики», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 - Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)

Рассмотренная диссертационная работа связана с хорошо известной в горном деле научно-технической проблемой управления вентиляцией подземных горных предприятий. Уже более 50-ти лет ведутся исследования и разработки в области создания различных систем контроля параметров рудничной атмосферы, автоматизированного и даже автоматического управления вентиляционными режимами. Существуют определенные особенности организации вентиляционных систем при разработке подземным способом рудных, нерудных и угольных месторождений. Если при создании систем управления рудничной вентиляцией в качестве важнейшего критерия, для большинства объектов, рассматривается энергетический, то для угольных шахт основной упор делается на обеспечении безопасности горняков (конечно, с учетом ограничений по расходу электроэнергии). Хорошо известно, что добиться этого можно за счет существенного снижения некоторой постоянной величины расхода воздуха, поступающего в вентиляционную систему и более рационального использования имеющихся ресурсов, например, перераспределения воздуха между участками с использованием автоматических вентиляционных дверей (АВД) или периодического использования вентиляторов местного проветривания (ВМП). В последние годы основной тенденцией развития вентиляционных систем современных роботизированных горных предприятий является реализация принципа VoD («вентиляция в случае необходимости»), который в условиях полностью безлюдной выемки, фактически реализуется через периодическое включение и отключение вентиляторов. Этот подход позволяет снизить энергопотребление горного предприятия на 30-40 процентов. Очевидно, что в метанообильных шахтах Вьетнама такое радикальное решение не возможно, тем не

менее, поставленная **цель работы**, которую кратко можно сформулировать так: «обеспечить повышение безопасности и эффективности ведения горных работ за счет применения алгоритмов управления вентиляцией с использованием высокоточных моделей прогнозирования газодинамики», а также **идея работы**, которая заключается «в комплексном использовании инструментов прогнозной аналитики при решении задач распознавания газодинамических ситуаций и управления ВМП», позволяют сделать заключение, что тема выполненного исследования безусловно является **актуальной**.

Диссертационная работа До Чи Тхань состоит из введения, четырех глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, библиографического списка из 115 источников, включает 53 рисунка, 8 таблиц и 4 приложения.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, оценена степень ее разработанности, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе приводятся данные о запасах угля и расположении месторождений на территории Республики Вьетнам (Рис. 1.1.- 1.3.), представлены данные анализа причин пожаров и взрывов во Вьетнаме и зарубежных угольных шахтах, рассмотрены эрогазодинамические характеристики выработок шахт Вьетнама, и особенности технологической среды, в которой осуществляется добыча угля в шахте МаоХе.

Описывается структура системы газового мониторинга, которая сегодня внедряется и используется в шахтах Вьетнама, а также основные ее функции: непрерывный контроль параметров шахтной атмосферы с выводом информации в диспетчерский пункт к оператору, который осуществляется аппаратурой контроля рудничной атмосферы «MS-08-01», регистрация этой информации в памяти компьютера, регистрация аварийных сигналов системы с фиксацией максимальных показаний концентрации газов (рис. 1.7). Рассмотрены схемы размещения датчиков в выработках, примыкающих к добычному участку (рис.1.8-1.11.).

В п.1.5. представлен подробный и достаточно грамотный обзор известных подходов к построению систем управления вентиляцией (проветриванием) и анализ существующих моделей и алгоритмов прогноза газодинамических процессов и управления аэрогазодинамикой шахт.

Во второй главе рассматриваются вопросы построения аналитической платформы. В пп. 2.1 и 2.2 описаны основные функциональные элементы данной платформы и набор процедур обработки разнородной и разнохарактерной информации, необходимых для построения информационной базы аналитической платформы (рис. 2.1 – 2.3). При этом определены основные классы информационных массивов, которые необходимы

для формирования информационной базы аналитической платформы. Показано, что информационная база должна формироваться на основе экспертной и сенсорной информации. Представлена общая схема функционирования аналитической платформы, основное назначение которой состоит в подготовке необходимых информационных таблиц (в результате первичной обработки, анализа и трансформации сенсорной информации) и построении моделей распознавания и прогнозирования.

В п.2.3. проведен анализ большого количества газодинамических реализаций (метанограмм), полученных в результате измерений концентрации метана в шахте МаоХе (автор, корректно ссылаясь на другие исследования, рассматривает их в качестве важнейшего и наиболее изученного индикатора различных гео-технологических ситуаций) и сформирован набор информативных экспертных признаков для классификации и распознавания ряда характерных газодинамических ситуаций. При этом рассматривались следующие влияющие факторы:

- технологические процессы, связанные с изменением состояния добычных и транспортных комплексов, энергетических и вентиляционных систем;
- различные нарушения планового регламента;
- горно-геологические явления, связанные с технологическим воздействием на массив

На рис. 2.4 представлена схема формирования базы знаний для решения задачи распознавания газодинамических ситуаций на основе экспертных правил.

В п.2.4 описывается оригинальный способ кодирования газодинамических кривых с использованием набора типовых фрагментов, с помощью которых могут быть описаны газодинамические кривые, соответствующие различным горно-технологическим ситуациям и гео-физическим явлениям. Предложена формальная схема кодирования реализаций и вычисления пяти индексов, которые могут быть использованы для классификации или распознавания газодинамических ситуаций (формулы 2.3 – 2.7.).

Третья глава посвящена использованию инструментов прогнозной аналитики, а именно нейросетевых моделей, для решения задач распознавания и прогнозирования и способам их построения.

В проведенных компьютерных экспериментах исследовались три класса газодинамических ситуаций. Каждый класс был представлен различным числом обучающих фрагментов (7-10 реализаций). В п.3.2 описывается оригинальная процедура прогнозирования газодинамических ситуаций, предполагающая использование двух классов моделей: моделей распознавания ситуаций и моделей прогнозирования газодинамики(рис.3.2.), для реализации которых предлагается использовать классические сети прямого распространения, а также сети Элмана. В п.3.3 дается описание алгоритма построения оптимальных в заданном классе моделей, основанного на параллельном обучении и тестировании модели с целью избежать

эффекта «переобученности» (формулы 3.6 – 3.10). В п. 3.4. подробно исследуются модели прогнозирования, которые строятся в классе сетей Элмана с использованием среды моделирования MATLAB. Анализ НС с целью определения оптимальной осуществлялся на различных комбинациях обучающих и тестовых наборов. В результате для каждого класса были выбраны определенные модели: $N1(i_5, h_{10}^1, o_1)$, $N2(i_5, h_7^1, o_1)$, $N3(i_5, h_5^1, o_1)$ наиболее подходящие для решения задач распознавания и прогнозирования. При решении задачи оперативного распознавания явлений ошибки в процентах составили: $S1 = 2.4\%$, $S2 = 7.2\%$, $S3 = 8.3\%$. При использовании построенных моделей для прогноза на интервале тестирования = 120 мин, $\Delta t = 3$, средняя ошибка прогноза по всем явлениям составила $S = 5.1\%$, что является приемлемым для практики имитационного моделирования исследуемых процессов и явлений, но должно быть подтверждено при прогнозировании в реальных условиях.

В четвертой главе рассматривается один из возможных подходов к решению задачи оперативного перераспределения воздуха в вентиляционной системе шахт, влияющей на эффективность и безопасность ведения горных работ. Рассмотрена общая схема функционирования аналитической платформы в рамках системы интеллектуального мониторинга (рис.4.2). Обсуждаются подходы к решению задачи оперативного управления воздухораспределением в вентиляционной сети. Представлен механизм построения нейросетевой модели, определяющей взаимосвязь расходов воздуха в ключевых ветвях вентиляционной системы. Эта модель может использоваться для контроля перераспределения потоков воздуха, которое неизбежно последует за изменением режима работы любого участкового ВМП.

Основное внимание уделено разработке алгоритма управления ВМП с нейросетевой настройкой регулятора частоты. Приведены результаты процесса обучения НС - настройщика параметров пропорционально-интегрального (PI)-регулятора, а также примеры отработки PI-регулятором задающих воздействий - $Q^*(t)$. Представлены результаты моделирования процесса ликвидации загазований за счет изменения режимов работы ВМП на реальной топологической схеме.

Исследован алгоритм управления скоростью асинхронного двигателя привода вентилятора местного проветривания в шахте с использованием искусственной нейронной сети. Предложено реализовать алгоритм адаптации параметров PI-регулятора скорости асинхронного двигателя с помощью нейросетевого настройщика на основе радиально-базисных функций-RBF (рис.4.8). Собственно алгоритм описан на стр. 105-109 (формулы: 4.20 – 4.28).

Результаты конкретных разработок в рамках системы мониторинга концентрации метана и автоматического управления ВМП в шахте Мао Хе (Вьетнам) иллюстрируются рисунками с 4.12 по 4.18. А на рис. 4.19 (а,б,в,г.) рассматриваются варианты конкретной работы системы

при изменении режимов работы (то есть, с частотным-регулированием электропривода) ВМП в шахте Мао Хе (Вьетнам) в зависимости от изменений концентрации метана

В **заключении работы** обобщаются основные результаты, полученные лично автором в ходе решения поставленной научно-технической задачи, формулируются выводы по работе.

В целом, можно заключить, что диссертация хорошо структурирована, написана грамотно и вполне понятно. В конце каждой главы приводятся обобщающие выводы, что улучшает понимание материала. Автореферат полно отражает содержание диссертации.

Новизна научных исследований заключается

- в разработке процедур первичной обработки газодинамических реализаций с целью с целью выделения набора информативных признаков для использования в задачах распознавания и прогнозирования газодинамических ситуаций;

- в разработке алгоритма построения набора оптимальных в определенном классе нейросетевых моделей, которые далее используются в оригинальной двухэтапной процедуре высокоточного прогнозирования развития газодинамической ситуации, что обеспечивают возможность более рационального использования ВМП;

- в разработке ПИ-регулятора частоты вращения вентилятора, предусматривающего возможность адаптивной настройки параметров K_p и K_i с использованием трехслойной RBF нейронной сети, и обеспечивающего существенное улучшения качества переходных процессов.

Научное значение диссертации.

- Научное значение диссертации заключается в формировании функциональной структуры аналитической платформы, необходимой для решения комплекса задач шахтной аэрогазодинамики, в разработке процедуры распознавания и прогнозирования газодинамических явлений и процессов на основе нейросетевых моделей, а также в разработке моделей управления воздухораспределением в вентиляционных системах шахт, а также оригинального алгоритма управления ВМП с НС подстройкой параметров.

Обоснованность и достоверность положений, выводов и рекомендаций обеспечивается:

- анализом представительного объема статистической информации, описывающей аэрогазодинамические процессы в шахтах РФ и Вьетнама;
- корректным использованием методов первичного статистического анализа информации, обоснованным применением методов прогнозной аналитики и, в частности, нейросетевых моделей;
- достаточно грамотно обоснованным построением алгоритмов управления активными элементами вентиляционной системы.

- положительными результатами экспериментального моделирования алгоритмов с использованием реальных ситуаций и аэрогазодинамических режимов шахты Мао Хе.

Практическая значимость результатов исследования заключается в разработке программных инструментов анализа и прогноза газодинамики шахты, встроенных в систему непрерывного мониторинга концентрации метана на добычном участке шахты, который ведется в единой инструментальной среде WinCC V7.4, а также модификацией модуля управления ПЛК S7-300. Разработанные программы проходят апробацию в рабочем режиме на шахте Мао Хе и будут приняты в эксплуатацию после завершения тестов.

Рекомендации по использованию результатов.

Результаты диссертации соискателя, связанные с разработкой моделей и алгоритмов распознавания и прогнозирования газодинамических ситуаций могут быть использованы организациями, занимающимися разработкой и внедрением систем мониторинга безопасности газовых шахт. Алгоритм и программный модуль управления частотой вращения ВМП могут быть, с учетом адаптации к конкретным техническим средствам, реализующим механизмы контроля и управления, использованы в соответствующих шахтных и рудничных системах на территории РФ.

Замечания по диссертации

1. В главе 2 подробно рассматриваются различные методы первичной обработки и преобразования (кодирования) газодинамических реализаций, однако конкретные алгоритмы формирования обучающих таблиц, образующих информационную базу системы, не представлены.
2. При построении нейросетевых моделей (Глава 3) автор справедливо замечает, что не все искусственные переменные могут быть использованы в задаче оперативного распознавания газодинамических ситуаций. Тем не менее, из текста остается не ясным, используются ли при построении НС-моделей помимо различных разностных («градиентных») таблиц также специальные (индексные) переменные, о которых идет речь в п.2.4
3. Вполне ожидаемым недостатком построенных на основе разработанного алгоритма нейронных сетей для распознавания и прогноза (Глава 3) является невозможность адаптивной подстройки отдельных коэффициентов в случае проявления неприемлемых ошибок распознавания ($>10\%$); то есть, необходима их полная перестройка. К сожалению, из текста диссертации остается неясным, какой период времени на это требуется и каким образом функционирует система в этот период.

4. В диссертации утверждается, что эффективность алгоритма управления вентилятором (Глава 4) определяется двумя факторами: использованием прогнозных значений концентрации метана при определении времени старта процедуры «изменение режима» и возможностью оперативной подстройки параметров PI-регулятора, что улучшает качество переходного процесса при регулировании частоты. Влияние второго фактора подробно описано. Однако, в исследовании не приводятся данные о том, какие интервалы прогноза концентрации метана исследовались и каким образом это влияет (и влияет ли вообще?) на процесс регулирования частоты.
5. Необходимо было также помимо графических иллюстраций представить расчетную формулу, демонстрирующую на конкретных значениях переходных процессов достигнутую автором эффективность в 8-12 %.
6. Несколько замечаний необходимо сделать по поводу оформления диссертации.

Рис.2.1 озаглавлен как «основные функциональные элементы современных инструментов прогнозной аналитики», однако ряд блоков в представленной схеме соответствуют узкоспециальным горно-технологическим задачам.

На рис 2.2 (стр.41), где представлена обобщенная схема формирования и функционирования аналитической платформы, не обозначен блок, в котором, перечисляется некоторый набор функций f_1, f_2, \dots, f_n . Кстати, в реферате, по-видимому, ошибочно этот блок обозначен как «управление».

На рис.2.3 (стр.42) в таблице встречаются опечатки.

Во второй главе нарушена нумерация формул: после формул 2.1-2.3 следуют формулы 2.14, 2.15.....

На рис. 92 и 93 представлены две схемы, которые в определенной степени дублируют друг друга и могли бы быть объединены.

Соответствие полученных соискателем научных и практических результатов **паспорту специальности 05.13.06 - Автоматизация и управление технологическими процессами и производства (промышленность)** подтверждается следующим:

В соответствии с **формулой специальности** в диссертации:

- разработаны алгоритмы обработки данных для построения аналитической платформы, обеспечивающей интеллектуальную поддержку процессов управления вентиляцией (Глава 2);

- применяется математическое моделирование для исследования газодинамических процессов и реализации алгоритмов построения моделей, обеспечивающих решение задач распознавания и прогноза развития газодинамических ситуаций (Глава 3);

- разработаны алгоритмы и программы, обеспечивающие повышение эффективности процесса управления вентиляционными режимами (Глава 3, Глава 4).

В диссертации развиты следующие **области исследования** в соответствии с Паспортом специальности:

П.3. Разработаны механизмы построения и функционирования аналитической платформы, обеспечивающей решение задач распознавания прогноза и управления в рамках системы мониторинга азрогазодинамических процессов в шахте.

П.15. Построены модели распознавания газодинамических и интерпретации газодинамических ситуаций, позволяющие обеспечить раннее обнаружение аномалий в развитии газодинамических процессов за счет использования индикативных переменных, формируемых в процессе трансформации параметров мониторинга, а также модели прогнозирования газодинамических процессов, необходимые для своевременной выработки управляющих решений по изменению вентиляционных режимов.

П.6. Разработан алгоритм управления вентилятором местного проветривания, отличающийся использованием механизма нейросетевой (НС) – настройки параметров.

На основе анализа содержания диссертации, автореферата, опубликованных автором работ можно сделать следующее заключение: диссертационная работа До Чи Тхань на тему «Разработка алгоритмов управления вентиляционной системой метанообильных шахт Вьетнама с использованием моделей прогнозной аналитики» является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (Постановление - Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842), предъявляемым Высшей аттестационной комиссией Министерства образования и науки РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Автор работы, До Чи Тхань, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 - «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)» (технические науки).

Отзыв составил доктор технических наук

З.А.Черняк

ООО "ПРОМТЕХ"

Адрес для корреспонденции: 105077, Москва,
ул Средняя Первомайская, д 23

Тел: +7 (495) 225-48-29

Факс: +7 (495) 465-02-31

почта: info@promtex.ru

<http://www.promtex.ru>