

На правах рукописи

Таланов Николай Александрович



**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ ОЦЕНКИ
ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ШАХТ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

*Специальность 2.3.1. Системный анализ, управление и
обработка информации, статистика*

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург – 2025

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II».

Научный руководитель:

доктор технических наук, доцент

Ильюшин Юрий Валерьевич

Официальные оппоненты:

Веселов Геннадий Евгеньевич

доктор технических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», Институт компьютерных технологий и информационной безопасности, директор;

Смоленцева Татьяна Евгеньевна

доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА – Российский технологический университет», кафедра прикладной математики, заведующий кафедрой.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет», г. Ставрополь.

Защита диссертации состоится **22 сентября 2025 г. в 13:00** на заседании диссертационного совета ГУ.12 Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21-я В.О. линия, д.2, **аудитория № 1171а**.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 22 июля 2025 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



Васильева
Наталья Васильевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Современные системы мониторинга технического состояния шахт и других подземных сооружений уже не отвечают необходимым требованиям точности и надёжности. Это происходит из-за отсутствия новых методов проектирования, строительства и своевременного мониторинга всех взаимосвязанных элементов.

Особенно остро стоят вопросы замедленного проходческого цикла и отсутствия общего контроля над технологическими процессами горного предприятия. Для их решения необходим глубокий системный анализ объектов с разработкой единого метода определения всех влияющих факторов. До сих пор основной подход к разработке месторождений заключается в максимально полном использовании полезных ископаемых, что остаётся фундаментальным.

Современное горнодобывающее предприятие представляет собой сложный комплекс взаимосвязанных объектов технологического, добычного и обслуживающего назначения, функционирование которых направлено на обеспечение требуемой производственной мощности. К ключевым компонентам горного предприятия относятся системы вентиляции горных выработок, водоотлива, рудничного транспорта, главного и вспомогательного стволов, а также другие инженерные системы. Традиционно каждый из этих объектов оснащен обособленной системой диагностики и контроля, обеспечивающей автономное функционирование отдельного компонента. С одной стороны, подобная организация повышает отказоустойчивость отдельных систем и позволяет операторам осуществлять локальный мониторинг параметров независимо от других элементов. С другой стороны, информация о возникновении аварийных или предаварийных ситуаций, как правило, локализуется в пределах конкретного объекта либо передается с существенной

задержкой. В частности, при проведении стандартных буровзрывных работ информация о факте взрыва оперативно распространяется по всем службам, в то время как данные об окончании времени проветривания или включении системы пылеподавления зачастую не передаются, что приводит к неоптимальному использованию оборудования и соответствующим технико-экономическим потерям. Таким образом, повышение технико-экономической эффективности функционирования горного предприятия посредством разработки и внедрения интегрированной системы мониторинга, включающей методы, модели и алгоритмы идентификации и управления техническим состоянием, является актуальной научно-технической задачей.

Степень разработанности темы исследования. В русскоязычной технической литературе достаточно подробно описаны проблемы эксплуатации горных предприятий и подземных сооружений. Ключевые работы в данном направлении были опубликованы Антоновым М.А., Оганесяном Н.К., Агафоновым В.В., Алексеевой Л.Б., Уваровым В.П., Боркиным В.С., Баловцевым С.В., Буяновой Д.С., Воловик А.В., Ефименко С.В., Клавдиевым И.А., Клавдиевым А.А., Трушниковым В.Е., Гавришевым С.Е., Залядновым В.Ю., Немчиновой А.В., Граховым В.П., Мохначевой С.А., Манохиным П.Е., Иштряковым А.Х., Деминым В.Ф., Деминой Т.В., Жировым Д.В., Сохаревым В.А., Рыбиным В.В., Климовым С.А., Мелиховой Г.С. и многими другими исследователями. В их работах раскрывается принцип оценки влияния горно-геологических условий на процессы добычи и строительство. Однако фокус на проектировании новых предприятий оставляет проблему технико-экономической эффективности действующих объектов. Решение видится в применении методов систем с распределёнными параметрами для оценки технического состояния существующих сооружений.

Вышеупомянутые методики были применены в работах таких исследователей, как И.В. Першина, Д.А. Первухина, Ю.В. Ильюшина, С.Е. Абрамкина, О.В. Афанасьевой, И.М. Новожилова, В.В. Румянцева, Д.А. Ковалёва, А.В. Дагаева, Т.В. Кухаровой, А.В. Мартиросяна, М-А.М. Асадулаги, В.А. Коваля, Е.П. Чубарова.

Таким образом, основной задачей, направленной на повышение эффективности шахт и подземных сооружений, является разработка методов и моделей оценки их технического состояния.

Объектом исследования является подземный комплекс Кировского рудника АО «АПАТИТ», Мурманская обл., г. Кировск.

Предметом исследования являются процессы, системные методы исследования, качественные и количественные показатели деятельности рассматриваемого объекта исследования.

Целью работы является повышение технико-экономической эффективности горных предприятий и подземных сооружений за счет разработки комплексной системы мониторинга их технического состояния.

Идея заключается в повышении эффективности работы горного предприятия за счет уменьшения времени проветривания горных выработок в ходе основных операций проходческого цикла при строительстве подземного сооружения до минимально допустимого правилами безопасности ведения горных работ.

Поставленная в диссертационной работе цель достигается посредством решения нижеуказанных **задач**:

1. Разработка концептуальной модели системы управления технологическим процессом эксплуатации Кировского рудника АО «Апатит».

2. Разработка математической модели системы управления вентиляцией подземных горных выработок Кировского рудника АО «Апатит».

3. Обоснование разработанной системы диагностики вентиляции при обеспечении требуемого технологического режима эксплуатации объекта исследования.

Научная новизна работы:

1. Проведен системный анализ технологического процесса эксплуатации рассматриваемого объекта исследования, систематизированы факторы, влияющие на эффективность эксплуатации подземных горных выработок Кировского рудника АО «Апатит», построена концептуальная модель управления технологическим процессом эксплуатации Кировского рудника АО «Апатит», разработана математическая модель системы вентиляции подземного комплекса выработок Кировского рудника АО «Апатит».

2. Проведено глубокое исследование взаимовлияния вышеуказанных факторов, установлены закономерности протекания процессов пылеобразования, изменения температуры, изменения концентрации оксида азот и угарного газа и их влияния на технологический цикл горнодобывающего предприятия.

Соответствие паспорту специальности

Полученные научные результаты соответствуют паспорту специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика по пунктам:

3. Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта;

11. Методы и алгоритмы прогнозирования и оценки эффективности, качества, надежности функционирования сложных систем управления и их элементов;

17. Прикладные статистические исследования, направленные на выявление, измерение, анализ, прогнозирование, моделирование складывающейся конъюнктуры и разработки перспективных вариантов развития сложных систем.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Разработана концептуальная модель системы управления технологическим процессом эксплуатации Кировского рудника АО «Апатит», которая отличается обоснованным выбором входных, внутренних, измеряемых и управляемых параметров, что позволяет на её основе разрабатывать математическую модель.

2. Разработана математическая модель системы управления вентиляцией Кировского рудника АО «Апатит», которая позволяет значительно сократить продолжительность проходческого цикла, тем самым увеличивая скорость строительства, использована в деятельности ООО «СОФТ СИНТЕЗ ЛАБ» для разработки комплексной системы цифровизации процессов добычи полезных ископаемых (акт внедрения от 15.07.2024 г.).

Методология и методы исследования. Для решения поставленных задач применён комплексный метод исследований, включающий анализ мирового опыта оценки технического состояния шахт и подземных сооружений; методы системного анализа, методы математического моделирования; методы математической статистики; методы теории управления; методы теории принятия решений; шахтные хронометражные наблюдения изменения концентрации газов в процессе вентиляции; численное моделирование изменения концентрации газов, процесса пылеподавления, а также установления температурного режима.

Положения, выносимые на защиту:

1. Концептуальная модель системы управления технологическим процессом эксплуатации Кировского рудника АО

«Апатит», которая отличается обоснованным выбором входных, внутренних, измеряемых и управляемых воздействий, что позволяет на её основе разрабатывать математическую модель системы управления вентиляцией.

2. Математическая модель системы управления вентиляцией Кировского рудника АО «Апатит», которая учитывает процессы пылеобразования, концентрацию оксида азота и угарного газа, а также оптимальную температуру рудничного воздуха и позволяет сократить продолжительность проходческого цикла.

Степень достоверности результатов исследования обусловлена представленным объемом данных шахтных наблюдений; использованием современных апробированных методов исследований, включающих численное моделирование изменения концентрации газов, процесса пылеподавления, а также установления температурного режима; сходимостью результатов моделирования с данными натурных наблюдений.

Апробация результатов диссертации за последние 3 года проведена на 4 научно-практических мероприятиях с докладами, в том числе на 4 международных: V Международная научная конференция по проблемам управления в технических системах (21–23 сентября 2023 г., г. Санкт-Петербург); Инновационные перспективы Донбасса: 9-я Международная научно-практическая конференция (23–25 мая 2023 г., г. Донбасс); Анализ и прогнозирование систем управления в промышленности, на транспорте и в логистике: XXV Международная научно-практическая конференция молодых ученых, студентов и аспирантов (22–24 апреля 2025 г., г. Санкт-Петербург); Актуальные теоретические исследования: III Международная научно-практическая конференция. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». – 2025.

Доклаживались на секции процессов управления дома ученых им. Горького РАН в 2023, 2025 годах.

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач диссертационного исследования; анализе зарубежной и отечественной научной литературы по теме исследования; в разработке концептуальной модели системы управления технологическим процессом эксплуатации Кировского рудника АО «Апатит»; в разработке динамической математической модели технологического процесса эксплуатации Кировского рудника АО «Апатит»; в разработке системы управления вентиляцией Кировского рудника АО «Апатит»; в проведении шахтных и численных исследований; в определении основных параметров, оказывающих непосредственное влияние на технологический цикл месторождения; в подготовке публикаций.

Публикации. Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 9 печатных работах, в том числе в 3 статьях - в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 2 статьях - в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен 1 патент на изобретение.

Структура работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, 4 глав с выводами по каждой из них, заключения, списка сокращений и условных обозначений, словаря терминов, списка литературы, включающего 110 наименований, списка иллюстративного материала и 4 приложений. Диссертация изложена на 187 страницах машинописного текста, содержит 55 рисунков и 45 таблиц.

Благодарности. Автор выражает благодарность коллективу кафедры системного анализа и управления Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II за помощь в выборе направления для исследований, аспирантам за поддержку в период работы над диссертацией и сотрудникам

АО «Апатит» за помощь в проведении регрессионно-корреляционного анализа.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении рассмотрена актуальность диссертационного исследования, определены цели, задачи.

В первой главе представлен краткий обзор географических характеристик исследуемого района, включая описание его геологической структуры и гидрогеологических условий. Особое внимание уделено тектоническим особенностям, характерным для рудных полей Кукисвумчоррского и Юкспорского месторождений. Представлены результаты анализа физико-механических свойств пород, слагающих эти месторождения. Анализ данных, полученных в ходе комплексного многофакторного исследования, выявил необходимость оптимизации эксплуатационных параметров действующих горных предприятий и подземных сооружений (ПС). Однако существующий уровень технического оснащения, в частности, отсутствие современных систем мониторинга, обеспечивающих отслеживание технологических процессов в режиме реального времени, ставит под сомнение экономическую целесообразность реализации мероприятий, направленных на повышение эффективности эксплуатации. В связи с этим целью данного исследования является разработка методологических подходов и математических моделей, направленных на повышение технико-экономической эффективности горных предприятий и ПС посредством оценки их текущего технического состояния. Предлагаемые методы и модели позволят оптимизировать режимы работы, прогнозировать возможные риски и в конечном итоге повысить общую эффективность функционирования горнодобывающих предприятий.

Во второй главе представлен многофакторный корреляционно-регрессионный анализ апатито-нифелинового месторождения как объекта управления. Изложен перечень входных

параметров, непосредственно влияющих на технологический процесс рудника им. Кирова. Осуществлен корреляционно-регрессионный анализ. Разработана концептуальная модель системы управления технологическим процессом эксплуатации Кировского рудника АО «Апатит». Предложена динамическая математическая модель технологического процесса эксплуатации Кировского рудника АО «Апатит».

В третьей главе осуществлено комплексное математическое исследование процесса вентиляции подземных горных выработок. На первом этапе произведено рассмотрение ПС, на базе которого будет происходить осуществление дальнейших задач исследования. Выявлены аналитические модели процесса вентиляции подземных горных выработок. Осуществлен синтез системы управления вентиляцией горных выработок.

В четвертой главе осуществлена разработка технологии проведения выработки, произведено сравнение ТЭП проходки до внедрения автоматической системы управления вентиляцией и после внедрения, обоснована эффективность разработанной системы управления.

В заключении приведены основные результаты и выводы, полученные при проведении исследований.

Основные результаты отражены в следующих защищаемых положениях:

1. Концептуальная модель системы управления технологическим процессом эксплуатации Кировского рудника АО «Апатит», которая отличается обоснованным выбором входных, внутренних, измеряемых и управляемых воздействий, что позволяет на её основе разрабатывать математическую модель системы управления вентиляцией.

Эффективная организация технологического процесса является ключевым фактором, определяющим успешное функционирование горнодобывающего предприятия. Технологический процесс эксплуатации горнодобывающего предприятия

включает в себя ряд взаимосвязанных этапов, охватывающих: подготовительный этап (геологоразведка, проектирование горных работ, создание инфраструктуры); основной этап (строительство горных выработок, механизированная выемка горной массы и транспортировка сырья); и этап обогащения и переработки полезного ископаемого.

Обеспечение адекватной вентиляции является критически важным аспектом на каждом этапе технологического процесса. Вентиляция выполняет многофункциональную роль, обеспечивая безопасность и эффективность производства. Ее основные задачи включают удаление взрывоопасных газов, предотвращение накопления вредных веществ, поддержание температурного режима в подземных выработках и снижение запыленности.

Для проведения объективного анализа эффективности технологического цикла на примере Кировского рудника предлагается методология, предусматривающая формирование экспертной комиссии. Состав комиссии должен включать представителей различных уровней управления, включая членов линейного руководства рудника, начальников участков, мастеров и ведущих специалистов предприятия. Данная структура позволит аккумулировать всестороннюю информацию и обеспечить всесторонний анализ. Результаты, полученные в ходе работы экспертной комиссии, используются для определения перечня оптимальных управляющих воздействий, оказывающих прямое влияние на технологический процесс на Кировском руднике. Этот перечень представлен в таблице 1.

Далее осуществляется выставление оценок каждому параметру по десятибальной шкале, перевод оценок в ранги, расчет коэффициента конкордации и веса каждого параметра. Исходя из расчета веса каждого параметра строится диаграмма Парето. После оценок экспертов составляется сводная матрица рангов. На основании диаграммы осуществляется построение

концептуальной модели системы управления технологическим процессом эксплуатации Кировского рудника АО «Апатит». Концептуальная модель представлена на рисунке 1.

Таблица 1 - Входные параметры, влияющие на технологический процесс месторождения (фрагмент)

Входной параметр	
Параметры шахтного поля	Размер шахтного поля по простиранию
	Размер шахтного поля по падению
	Коэффициент водообильности
Входной параметр	
Нормы ТБ	Количество модулей порошкового пожаротушения

2. Математическая модель системы управления вентиляцией Кировского рудника АО «Апатит», которая учитывает процессы пылеобразования, концентрацию оксида азота и угарного газа, а также оптимальную температуру рудничного воздуха и позволяет сократить продолжительность проходческого цикла.

Исходя из комплексного корреляционно-регрессионного анализа технологического цикла предприятия, наибольшее количество параметров, которые оказывают наибольшее влияние, принадлежат к системе вентиляции рудника. Основной задачей вентиляции является обеспечение заданного режима проветривания. Но, несмотря на длительное проветривание, возникают простои в ходе горных работ, который приводят к увеличению сроков строительства. Это связано с влиянием таких факторов, как большое количество пыли в воздухе, которая не успевает осесть за вышеуказанное время, или скопившийся угарный газ после работы шахтного транспорта, который также увеличивает длительность проветривания.

Таким образом, необходима разработка системы диагностики вентиляции, которая обеспечивает нормативную концентрацию пыли, оксида азота, угарного газа, а также температуру

рудничного воздуха за минимально допустимое правилами безопасности время проветривания. В качестве объекта управления примем шахтный вентилятор ВМ-12.

На рисунке 2 показана структурная схема управления шахтным вентилятором.

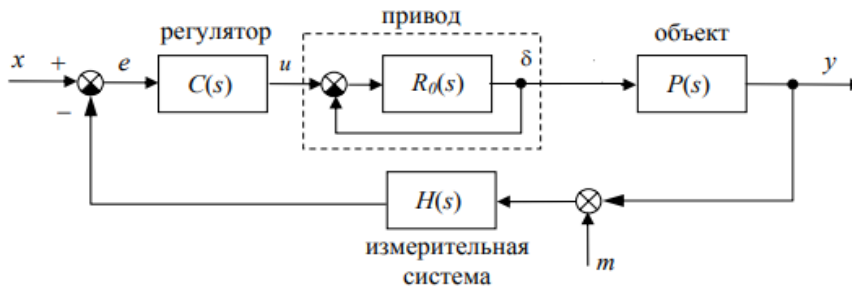


Рисунок 2 - Структурная схема управления шахтным вентилятором

Для разработки системы управления вентиляции были проведены эксперименты с системой управления пылеподавлением. Глубина выборки 50 значений, период дискретизации равен 1с. Экспериментальные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Экспериментальные данные (фрагмент)

Время (секунды)	Концентрация пыли	Интенсивность пылеобразования
0	0,527	536,759
1	0,619	548,109
2	0,621	512,43
3	0,541	528,807

Проведем идентификацию системы, которая отразит взаимосвязь между ее входами и выходом с помощью модуля «System Identification Toolbox».

Интерфейс модуля «System Identification Toolbox» представлен на рисунке 3.

В проектируемой системе ставится задача удержания минимальной концентрации. Воспользуемся программой

SYAN. Построим схему нашего звена с запаздыванием и также обозначим точки А и В. Схема аperiodического звена с запаздыванием представлена на рисунке 4.

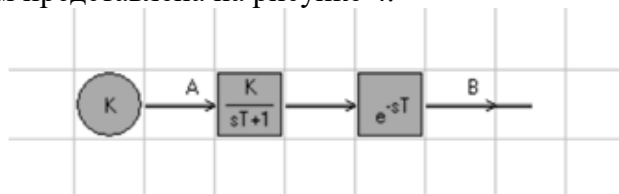


Рисунок 4 – Схема аperiodического звена с запаздыванием

Фазовые и частотные характеристики исследуемого объекта представлены на рисунке 5. График переходного процесса с ПИД-регулятором при повышенной концентрации пыли представлен на рисунке 6.

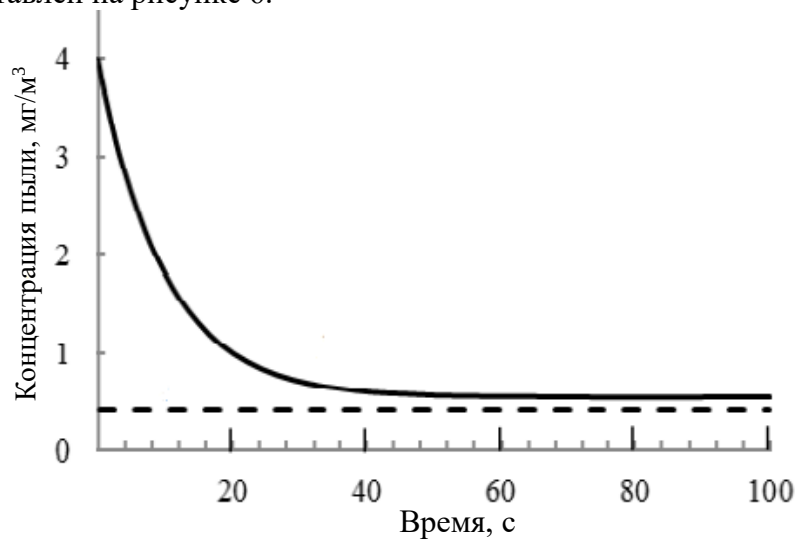


Рисунок 6 - График переходного процесса пылеподавления

Разработка системы управления концентрацией азота проводилась исходя из уравнения сохранения его массы при помощи средств языка программирования C++. Разработка системы управления концентрацией угарного газа проводилась

аналогично процессу пылеподавления. Моделирование температурных условий подземной горной выработки осуществляется при помощи средств программирования языка Python.

Синтез системы управления реализуется при помощи средств и библиотек языка программирования Python. Структурная схема синтезированной САУ представлена на рисунке 7, где C_0 - концентрация пыли, NO_2 – оксид азота, t – температура рудничного воздуха, CO – угарный газ.

График переходного процесса синтезированной системы управления представлен на рисунке 8.

Обоснование разработанной системы диагностики вентиляции осуществляется путем разработки технологии проходческого цикла при строительстве бетонорастворного узла на горизонте +10.

На основании разработки плановграмм организации проходческих работ до внедрения математической модели системы управления вентиляции и после внедрения было выявлено, что разработанная система диагностики вентиляции сокращает продолжительность проходческого цикла на 7 часов, тем самым увеличивая скорость строительства подземного сооружения.

Плановграммы организации работ представлены на рисунке 9 и рисунке 10.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной диссертационной работе на основе проведенных исследований предложено новое технологическое решение, направленное на повышение экономической эффективности эксплуатации шахт и подземных сооружений. Данное решение представляет значительный интерес для горнодобывающей отрасли Российской Федерации. В результате проведенных исследований сформулированы следующие выводы и рекомендации:

Анализ и обобщение мирового опыта свидетельствуют о том, что отсутствие современных систем мониторинга технического состояния подземных объектов является одним из ключевых факторов, ограничивающих эффективность эксплуатации современных горных предприятий и препятствующих полной реализации их производственного потенциала.

Разработаны концептуальная модель системы управления технологическим процессом и математическая модель системы управления вентиляцией для рудника им. Кирова (АО «Апатит»). Данные модели отличаются обоснованным выбором входных, внутренних, измеряемых и управляемых параметров. В рамках исследования были разработаны и запатентованы технические решения, обеспечивающие автоматизацию технологического процесса. В частности, разработано устройство для диагностики пространственно-распределенного магнитного поля.

Разработанная математическая модель системы управления процессом вентиляции рудника им. Кирова оптимизирует процесс проветривания горных выработок после проведения буровзрывных работ, обеспечивая минимальное время, соответствующее требованиям нормативных документов по безопасности. Это способствует увеличению скорости проходки горных выработок и сокращению сроков строительства.

Таким образом, поставленные в диссертационной работе задачи были полностью решены.

Перспективным направлением для дальнейших исследований является разработка методологий и алгоритмов принятия решений, направленных на повышение безопасности ведения подземных горных работ.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях из Перечня ВАК:

1. Новожилов, И.М. Методологический анализ технических решений повышения эффективности горного производства / И.М. Новожилов, Д.А. Первухин, **Н.А. Таланов** // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. – 2023. – Т. 16, № 6. – С. 29-41.

2. Новожилов, И.М. Разработка методов повышения стабильности эксплуатации подземных сооружений / И.М. Новожилов, Д.А. Первухин, А.В. Мартиросян, В.Я. Трофимец, Д.Л. Тукеев, **Н.А. Таланов**, Ю.М. Искандеров // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ» - 2024. - Т. 17, № 6. - С. 35-48.

3. Новожилов, И.М. Исследование и синтез системы автоматического пылеподавления на апатит-нифелиновой шахте / И.М. Новожилов, Д.А. Первухин, А.В. Мартиросян, Ю.В. Ильюшин, **Н.А. Таланов**, Д.Р. Смирнов // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. – 2024. – Т. 17, № 10. – С. 80-88.

Публикации в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus:

4. Pervuhin, D.A. Development of Methods to Improve Stability of Underground Structures Operation / D.A. Pervuhin, V.E. Trushnikov, S.E. Abramkin, V.S. Hloponina, **N.A. Talanov** // International Journal of Engineering, Transactions B: Applications. - 2025. - Vol. 38, No. 2. - pp 472-487. DOI: 10.5829/ije.2025.38.02b.20

5. Ilyushin, Y. Development of Methods and Models for Assessing Technical Condition of Mines and Underground Structures / Y. Ilyushin, **N. Talanov** // International Journal of Engineering, Transactions B: Applications. - 2025. - Vol. 38, No. 7. - pp. 1659-1666. DOI: 10.5829/ije.2025.38.07a.16

Публикации в прочих изданиях:

6. **Таланов, Н.А.** Системно-аналитические исследования методов анализа и идентификации технического состояния

сложных технических систем / **Н.А. Таланов**, В.С. Хлопонина, М.С. Фёдоров // Международная научная конференция по проблемам управления в технических системах, Санкт-Петербург, 21–23 сентября 2023 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), 2023. - Том 1. – С. 118–121.

7. Давардуст, Х. Анализ инновационной системы Донецкая Народная Республика (ДНР) с использованием swot-анализа на основе подхода целей устойчивого развития в Донбассе / Х. Давардуст, Д.А. Первухин, Д.Д. Котов, Н.А. Таланов // Инновационные перспективы Донбасса : Материалы 9-й Международной научно-практической конференции, Донецк, 23–25 мая 2023 года. – Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2023. – С. 74–79.

8. **Таланов, Н.А.** Изучение методов повышения устойчивости эксплуатации подземных сооружений // Анализ и прогнозирование систем управления в промышленности, на транспорте и в логистике : Труды XXV Международной научно-практической конференции молодых ученых, студентов и аспирантов, Санкт-Петербург, 22–24 апреля 2025 г. - СПб.: Медиа-папир, 2025. – С. 294 – 301.

9. **Таланов, Н.А.** Разработка систем повышения эксплуатации подземных сооружений // Актуальные теоретические исследования: Сборник статей III Международной научно-практической конференции, Пенза, 20 апреля 2025 года. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2025. – С. 34–37.

Патенты/свидетельства на объекты интеллектуальной собственности:

10. Патент на изобретение № 2799233 Российская Федерация, СПК G01R 29/08 (2023.05); G01R 33/07 (2023.05). Устройство для диагностики электромагнитного поля. Заявка

№ 2023107792 : заявл. 30.03.2023 : опубл. 04.07.2023 / А.В. Мартиросян, Ю.В. Ильюшин, Н.А. Таланов; заявитель/патентообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет». – 10 с.



Рисунок 1 – Концептуальная модель системы управления технологическим процессом эксплуатации Кировского рудника АО «Апатит»

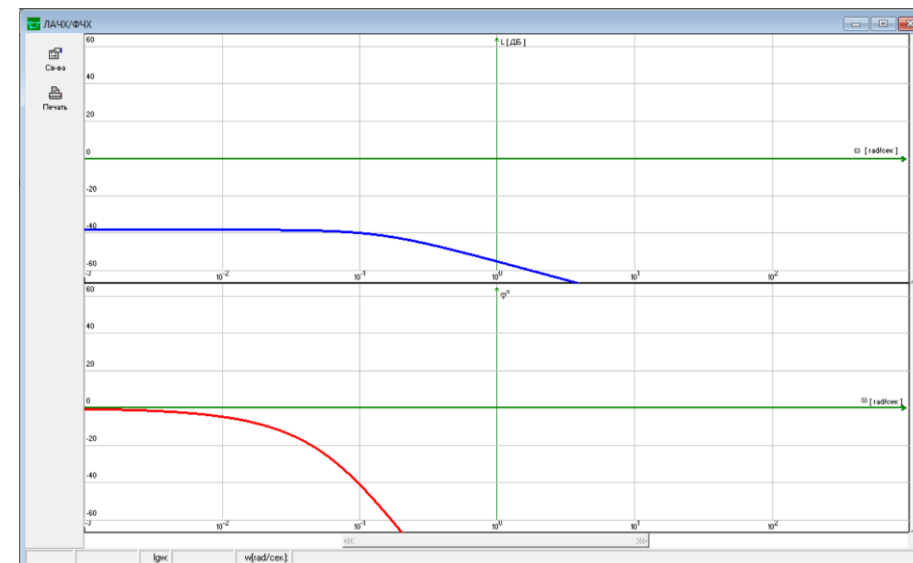


Рисунок 5 – ЛЧХ/ФЧХ исследуемого объекта

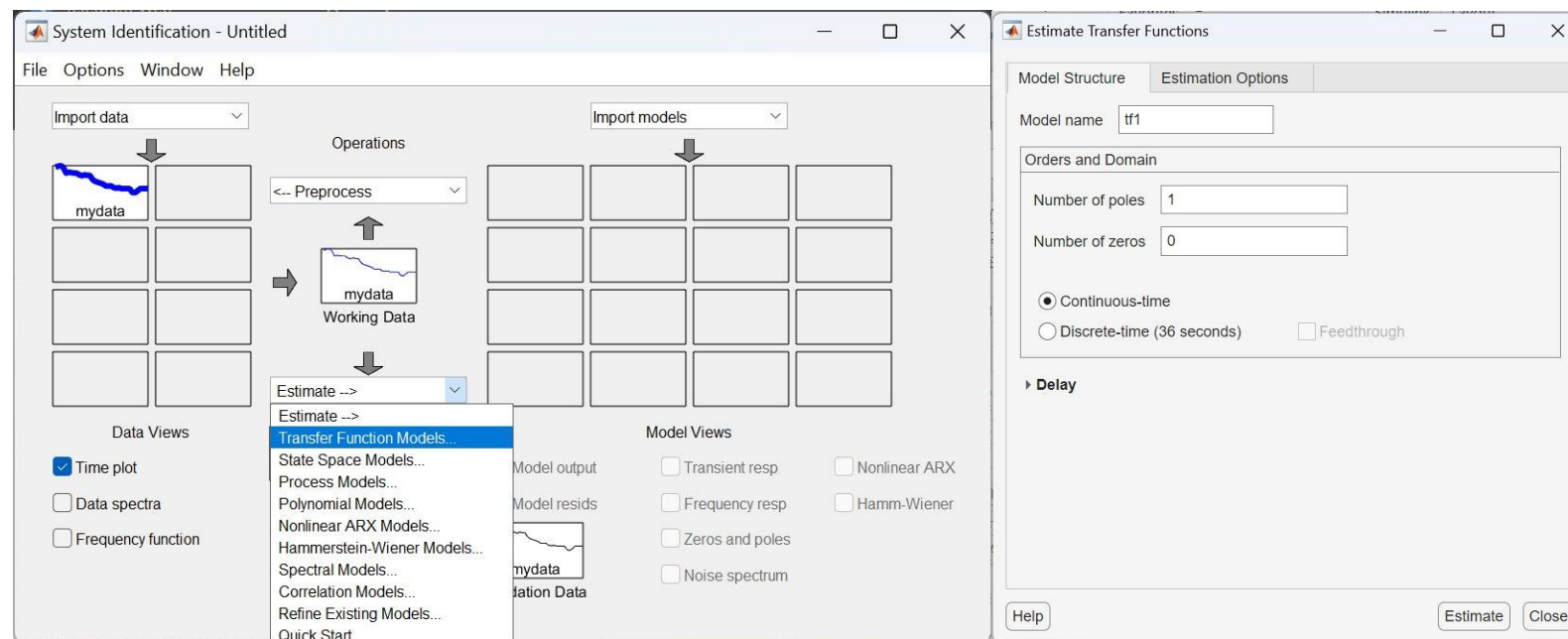
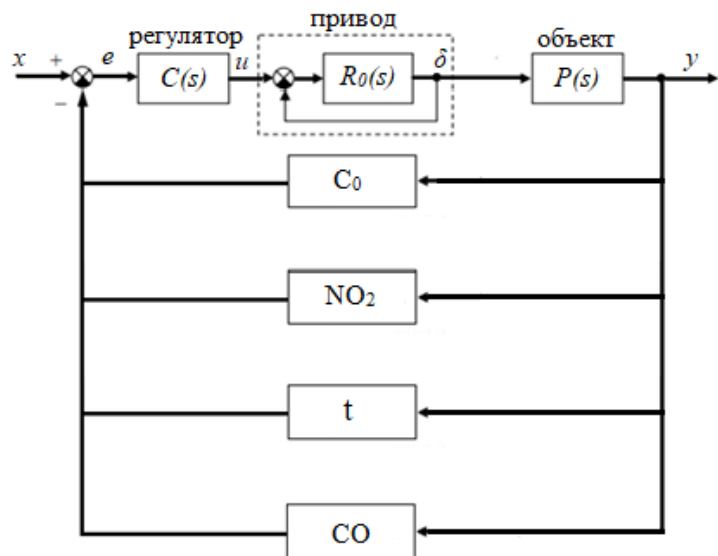
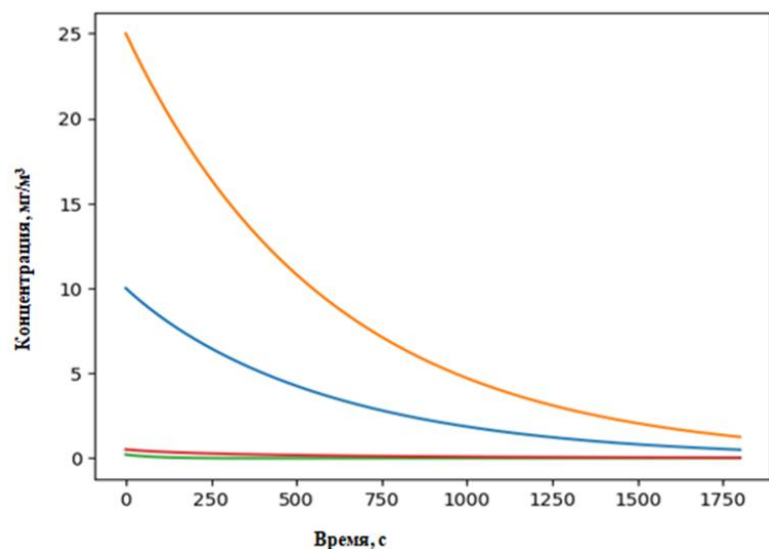


Рисунок 3 - Интерфейс модуля «System Identification Toolbox»



Вид работ	Число людей	Объем	Ед. изм.	Время	I смена							II смена							III смена						
					часы							часы							часы						
					1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
Прием-сдача смены	3			0-30																					
Бурение шпуров	3	329,4	шт. м	4-30																					
Заряжание и взрывание	3	352,3	кг	1-45																					
Проветривание	-			1-00																					
Обезопасивание забоя	3			0-30																					
Уборка породы	3	310,5	м³	4-00																					
Бурение шпуров под анкера	3	52,8	шт. м	0-45																					
Возведение анкерной крепи	3	27	шт.	0-45																					
Осмотр забоя и маркшейдерские работы	1			0-45																					
Наращивание вентиляционного трубопровода	2	4,0	м	0-45																					

Рисунок 9 – График организации проходческих работ до внедрения математической модели САУ



Вид работ	Число людей	Объем	Ед. изм.	Время	I смена							II смена						
					часы							часы						
					1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
Прием-сдача смены	3			0-15														
Бурение шпуров	3	329,4	шт. м	4-30														
Заряжание и взрывание	3	352,3	кг	1-45														
Проветривание	-			0-30														
Обезопасивание забоя	3			0-30														
Уборка породы	3	310,5	м³	4-00														
Бурение шпуров под анкера	3	52,8	шт. м	0-45														
Возведение анкерной крепи	3	27	шт.	0-45														
Осмотр забоя и маркшейдерские работы	1			0-45														
Наращивание вентиляционного трубопровода	2	4,0	м	0-45														

Рисунок 10 – График организации проходческих работ после внедрения математической модели САУ