

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.478.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ХАБАРОВСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ЦЕНТРА ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 25.04.2025 г. № 9

О присуждении Константинову Александру Викторовичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка средств интеллектуального анализа данных в системе сейсмоакустического мониторинга удароопасности массива горных пород месторождения Южное» по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика принята к защите 21.01.2025 (протокол заседания № 4) диссертационным советом 24.1.478.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 680000, г. Хабаровск, ул. Дзержинского, 54, приказ Минобрнауки РФ от 12 октября 2022 г. № 1167/нк.

Соискатель Константинов Александр Викторович «15» января 1993 года рождения.

В 2015 году соискатель окончил Тихоокеанский государственный университет по специальности «Открытые горные работы». В 2019 г. закончил обучение в аспирантуре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук по специальности 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика». Работает научным сотрудником в Институте горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук – обособленном подразделении Федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Кандидатские экзамены сданы в полном объеме: история и философия науки – «отлично», иностранный язык (английский) – «отлично», геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика (технические науки) – «отлично».

Диссертация выполнена в лаборатории «Геомеханики» Института горного дела Дальневосточного отделения Российской академии наук – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, член-корреспондент РАН Рассказов Игорь Юрьевич, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, административно-управленческий персонал, директор.

Официальные оппоненты:

– Вознесенский Александр Сергеевич, доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», кафедра физических процессов производства и геоконтроля, профессор;

– Шулаков Денис Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук» – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского Федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, лаборатория природной и техногенной сейсмичности, заведующий лабораторией

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ РАН), г. Апатиты, в своём положительном отзыве, утверждённым Кривовичевым Сергеем Владимировичем – д.г.-м.н., генеральным директором ФИЦ КНЦ РАН, подписанном Семеновой Инной Эриковной – к.т.н., отдел Геомеханики Горного института – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Кольский научный центр Российской академии наук (ГоИ КНЦ РАН) руководитель отдела, ведущий научный сотрудник и Жуковой Светланой Александровной – кандидатом технических наук, отдел Геомеханики Горного института – обособленного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Кольский научный центр Российской академии наук (ГоИ КНЦ РАН) старший научный сотрудник, указала, что диссертация Константинова Александра Викторовича «Разработка средств интеллектуального анализа данных в системе сейсмоакустического мониторинга удароопасности массива горных пород месторождения Южное» выполнена на актуальную тему, обладает научной новизной и практической значимостью, является завершённой научно-квалификационной работой, в которой на основании теоретических исследований, анализом большого объема накопленных данных, с использованием моделей машинного обучения разработана методика обнаружения и оценки очагов повышенного горного давления в удароопасном массиве горных пород.

Представленная к защите диссертационная работа на соискание ученой степени кандидата технических наук соответствует требованиям, предъявляемым в п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, а ее автор, Константинов Александр Викторович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

Соискатель имеет 66 опубликованных работ, 37 по теме диссертации (в том числе 9 в научных изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией при Министерстве науки и высшего образования РФ, 11 публикаций – в научных изданиях, индексируемых в базах Scopus и Web of Science, оформлено 10 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ).

В опубликованных материалах, общим объемом 12,3 п.л., отражены идея и основные положения диссертационной работы. Авторский вклад соискателя в публикациях составляет 5,9 п.л. Основной вклад автора в выполненную работу заключался в разработке и апробации методов анализа сейсмоакустических данных для прогнозирования геодинамических явлений в условиях удароопасного месторождения Южное. Автором выполнен анализ параметров сейсмоакустических данных с установлением закономерностей регистрации сигналов техногенного происхождения, реализованы алгоритмы обработки сейсмоакустической информации, включая расчёт

сейсмоакустических параметров, построение и анализ акустически активных зон, разработку и настройку моделей машинного обучения. С применением разработанных программно-методических средств автором выполнена классификация сейсмоакустических данных по типам источника, определены и обоснованы 20 акустически активных зон, характеризующих участки повышенной удароопасности, и произведена оценка геомеханического состояния месторождения Южное на основе ретроспективных данных о зарегистрированных случаях проявлений горного давления.

Наиболее значительные работы:

1. Константинов, А. В. Разработка комплекса нейросетевых моделей для идентификации типа источника акустического излучения на удароопасном месторождении / А. В. Константинов, И. Ю. Рассказов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2024. – № 11. – С. 23–36. – DOI: 10.25018/0236_1493_2024_11_0_23.

2. Совершенствование методов и средств геомеханического мониторинга на основе цифровых технологий / И. Ю. Рассказов, Ю. В. Федотова, П. А. Аникин, Мигунов Д. С., Константинов А. В. // Горная промышленность. – 2023. – № S5. – С. 18-24. – DOI 10.30686/1609-9192-2023-S5-18-24.

3. Геомеханические проблемы отработки нижних горизонтов месторождения Южное (Приморский край) / М. А. Ломов, А. В. Сидляр, А. В. Константинов, А. П. Грунин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 12-2. – С. 87–99. – DOI 10.25018/0236_1493_2023_122_0_87.

4. Konstantinov, A. Designing an improved geoacoustic event location algorithm in the "Prognoz-ADS" system / A. Konstantinov, A. Gladyr, M. Rasskazov // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol. 192. – P. 04013. – DOI 10.1051/e3sconf/202019204013.

5. Algorithm for calculating hazard areas of a rock massif based on geomechanical data / A. Gladyr, M. Rasskazov, A. Konstantinov, A. Tereshkin // E3S Web of Conferences. 2019. – Vol. 129. – P. 01002. – DOI 10.1051/e3sconf/201912901002.

На диссертацию и автореферат поступил 21 положительный отзыв. В них содержатся следующие замечания:

В отзыве заведующего кафедрой «Открытые горные работы и взрывное дело» Кыргызского горно-металлургического института Кыргызского Государственного технического университета (г. Бишкек) д.т.н. Абдиева Арстанбека Раимбековича сделано 2 замечания: «1. Допущены грамматические ошибки на странице 5 при описании практической значимости: «...разработки удароопасных месторождений» и на странице 9: «2,5 млн. сигналов». 2. При рассмотрении первого научного положения автор выдвигает две гипотезы, касающиеся уникальности сигналов, которые определяются как природой их происхождения, так и воздействием среды распространения акустических волн. Однако в автореферате не представлена оценка значимости этих гипотез и их вклада в эффективность классификационных моделей для определения типа источника сигналов».

Отзыв зам. директора по научной работе, главного научного сотрудника лаборатории механики деформируемого твердого тела и сыпучих сред Института горного дела Сибирского отделения Российской академии наук (г. Новосибирск) д.ф.-м.н. Лаврикова Сергея Владимировича – без замечаний.

В отзыве декана горного факультета Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II, д.т.н., профессора РАН Казанина Олега Ивановича в качестве замечания отмечено «отсутствие в автореферате примера практического применения системы от обнаружения удароопасности массива на конкретном участке до снятия

удароопасности в результате проведенных мероприятий. Указанное замечание не отрицает положительной оценки работы в целом».

В отзыве зам. генерального директора по научной работе ООО «Полигор» (г. Санкт-Петербург), доктора технических наук Сидорова Дмитрия Владимировича два замечания «1. Каким образом в математических моделях нейронных сетей учитывается влияние свойств горных пород в различных тектонических блоках, в том числе в приразломных зонах, на скорость прохождения волн. 2. В настоящее время стационарные сейсмостанции на рудниках определяют координаты сейсмического события с погрешностью 20-25 м. Необходимо уточнить, как в моделях и при машинном обучении учитывается влияние данной ошибки на точность прогноза очага сейсмоявления».

В отзыве ведущего научного сотрудника лаборатории акустических исследований Института космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН (с. Паратунка, Камчатский край), д.т.н. Сенкевича Юрия Игоревича сделано семь замечаний: «1. Прежде всего, обращает на себя внимание название диссертационной работы, объект которого (... состояние горных пород полиметаллического месторождения Южное в Приморском крае) не согласуется с базовыми пунктами автореферата, цитирую «Разработка средств интеллектуального анализа данных...». Далее: - «Цель диссертационной работы: заключается в разработке интеллектуальной системы программно-методических средств ...»; - «задачи: - обосновать эффективные модели машинного обучения и произвести подбор их гиперпараметров ...»; - «Научная новизна выполненных исследований: - разработаны математические модели нейронных сетей, позволяющие ...; - разработаны модели машинного обучения для ...». — Все эти пункты подходят для специальностей, связанных с информационными технологиями, но не находят отражения в паспорте специальности 02.08.06, по которой планируется защита диссертационной работы. Хочется обратить внимание автора, что все перечисленные положения по сути своей правильны, но, чтобы они соответствовали паспорту специальности, их следовало бы переформулировать, выставляя вперёд геофизическую сущность решаемой проблемы. Осмелюсь привести вариант переформулировки цели работы: «Разработка средств сейсмоакустического мониторинга удароопасного массива горных пород в месторождении Южное с использованием интеллектуальной системы программно-методических средств обработки и интерпретации измерительных данных». Суть та же, что и в оригинале, но паспорту специальности соответствует! И подобные переформулировки нетрудно выполнить с каждым из приведённых выше положений диссертационной работы. 2. Ещё несколько замечаний по сути применения нейронных сетей и оценки качества результатов обработки ими данных. Так, автор указывает на применении архитектур бинарных классификаторов (9с. 3-й абзац), но не описывает структуру сетей — число полносвязных слоёв глубокого обучения, выбранных значений функций сходимости и оптимизации, что важно представлять поскольку эти данные существенно определяют успех любой схемы классификации и указывают как автор добился конкретного результата. Вероятно, эти показатели отражены в основном тексте диссертационной работы. 3. При разработке методики определения акустически активных зон и параметрического описания динамики их развития указывается, что по результатам исследований для выявления областей концентрации сейсмоакустической энергии предложен комплекс методов кластерного анализа, включающий алгоритм DBSCAN и индекс оценки качества кластеризации на основании индекса Дэвиса-Болдина. В этой связи возникает вопрос, почему выбран именно этот метод кластеризации и оценка по названному индексу? Выбор инструмента всегда требует обоснования. Хочется верить, что эти обоснования существуют в основном тексте диссертационной работы. 4. Тем

более, что на стр. 12 приводятся результаты кластеризации, разделившие данные на (!) 20 областей, а в дальнейшем приводится рис.5, где отражается динамика формирования только для трех областей, выбранных по необъявленному критерию. Но в тексте автореферата не дана классификация и практическая значимость, хотя бы наиболее представительных кластеров и значимость моментов активных фаз формирования, последних. 5. Хочется понять, с какой целью рассматривается такое количество кластеров, почему не приводится привязка кластеров к физике и моделям причин разрушения. Опять же хочется верить, что всем показателям и параметрам дано объяснение в полном тексте диссертационной работы. 6. Аналогичные замечания можно отнести также и к выбору методов применимости случайного леса и градиентного бустинга, рассматриваемых при применении методов надежного прогнозирования динамических проявлений горного давления. 7. Относительно терминологии, принятой в сообществе развития и эксплуатации нейронных сетей и информационных технологий, можно отметить, что автор использует её корректно. Однако, при формулировке выводов о качестве показателей функционирования нейронных сетей следует аккуратнее приводить формулировки заключений по результатам их работы, поскольку до настоящего времени метрологическое обеспечение систем искусственного интеллекта не имеет привычных строгих формулировок оценки качества работы нейросетей и достоверности получаемых результатов на их основе, хотя уже и существует национальный стандарт ГОСТ Р71562-2024 «Средства измерений на основе искусственного интеллекта. Метрологическое обеспечение. Общие требования».

В отзыве директора, главного научного сотрудника лаборатории проблем рационального освоения минерально-сырьевых ресурсов Института горного дела Севера Сибирского отделения Российской академии наук (г. Якутск), доктора технических наук Ткача Сергея Михайловича сделаны следующие замечания: «1. В работе недостаточно раскрыт характер влияния структурных нарушений (разломов, зон дробления) на пространственное распределение сейсмоакустических событий. Было бы целесообразно пояснить, каким образом геолого-структурные особенности месторождения учитывались при интерпретации данных? 2. При оценке геомеханического состояния разработанными моделями не были проанализированы причины ухудшения прогноза в определённых условиях. Следовало бы выявить зоны, где модели работают хуже, и связать это с геологической или структурной неоднородностью».

Отзыв зам. директора по научной работе Республиканского академического научно-исследовательского и проектно-конструкторского института горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского дела (г. Донецк) д.т.н. Глухова Александра Александровича – без замечаний.

В отзыве доцента кафедры Механики грунтов и Геотехники Национального исследовательского Московского государственного строительного университета к.т.н., доцента Манько Артура Владимировича отмечено: «По автореферату есть вопрос: для какого языка программирования разработан подход машинного обучения».

В отзыве старших научных сотрудников лаборатории геодинамики и горного давления Института горного дела Уральского отделения Российской академии наук (г. Екатеринбург), к.г.-м.н. Сосновской Елены Леонидовны и к.т.н. Авдеева Аркадия Николаевича сделано следующее замечание: «Автор отметил возможность использования предложенного методического подхода для рудников, аналогичных изучаемому. Из текста не совсем понятно, какие именно условия будут считаться аналогичными. На любых ли месторождениях, склонных по горным ударам, перспективен предлагаемый подход?».

В отзыве ведущего научного сотрудника Научного центра геомеханики и проблем горного производства Санкт-Петербургского горного университета императрицы Екатерины II, к.т.н. Багаутдинова Ильи Илдаровича присутствуют следующие замечания: «1. В таблице 2 автореферата приведены геодинамические события, зарегистрированные на месторождении Южное за период с 2022 по 2024 гг. Однако автором не указаны данные о характеристиках этих событий, таких как выделенная энергия, сейсмический момент и др. 2. Из текста автореферата неясно, по каким признакам автор относит то или иное геодинамическое событие к опасным».

Отзыв заведующего лабораторией «Моделирование геомеханических процессов» Института машиноведения, автоматизации и геомеханики НАН КР (г. Бишкек) академика НАН Кыргызской Республики, д.т.н., профессора Кожоголова Камчибека Чонмуруновича – без замечаний.

В отзыве заведующего лабораторией «Геомеханики и флюидодинамики» Института динамики геосфер Российской академии наук (г. Москва), к.ф.-м.н. Барышникова Николая Александровича сделано три замечания: «1. Судя по автореферату, при определении типа источника сейсмоакустических сигналов данные для обучения были размечены на основании периодичности сигнала и его временной привязки к технологическим операциям. Таким образом комплекс нейронных сетей был обучен выделять определенные типы искусственных сигналов. Из автореферата не ясно, как достигалась сбалансированность обучающей выборки, учитывая, что почти 90% всех зарегистрированных сигналов из 2,5 миллионов классифицированы как искусственные. 2. Второе положение утверждает, что разработанные алгоритмы позволяют выделять удароопасные участки горных пород «эффективно» и «с высокой степенью достоверности». Как это соотносится с упомянутым фактом, что лишь 4 из 21 зарегистрированного проявления были зарегистрированы в непосредственной близости от выделенных акустически активных зон? В какой мере точность и полнота локализации источников событий могла повлиять на результат определения акустически активных зон путем выделения кластеров событий? Не могут ли кластеры событий возникать там, где их «лучше видно»? Как результаты кластеризации соотносятся с геологическими данными? 3. Судя по рисунку 7, способность предложенных моделей прогнозировать горнодинамические проявления в режиме реального времени близка к нулевой, что прямо противоречит защищаемому положению номер 3».

В отзыве заведующего лабораторией геодинамики Геофизического центра Российской академии наук (г. Москва), д.т.н., чл.-кор. РАН Татаринова Виктора Николаевича сделано одно замечание: «В названии работы указано «Разработка средств анализа...», в цели работ указано «разработка интеллектуальной системы...», а в Заключение «дано решение задачи по прогнозированию ...». Это все похоже, но не одно и то же. В принципе название, цель и достигнутый результат работы должны соответствовать друг другу».

В отзыве главного научного сотрудника аналитической группы Института горного дела Уральского отделения Российской академии наук (г. Екатеринбург), д.т.н., профессора Корнилова Сергея Викторовича присутствуют следующие замечания: «1. В автореферате недостаточно чётко разграничены этапы анализа, особенно между классификацией источников сигналов и формированием акустически активных зон. По тексту складывается впечатление, что это один и тот же процесс, хотя это не совсем так. 2. Непонятен вопрос интеграции разработанной системы в действующую технологию ведения горных работ. В частности, в каком виде и когда предлагаемый прогноз может использоваться в текущих или плановых решениях по предупреждению горных ударов».

В отзыве ведущего научного сотрудника лаборатории физики прочности Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук (г. Санкт-Петербург), к.ф.-м.н. Дамаскинской Екатерины Евгеньевны сделано три замечания: «1. Каков размер выборки, на которой проводилось обучение для классификации типа источника? 2. Каков критерий определения оптимальных параметров для кластеризации с помощью алгоритма DBSCAN? 3. Из автореферата не совсем ясно, насколько новым является предложенный автором подход интеллектуального анализа? Видимо, в диссертационной работе современное состояние проблемы изложено более подробно».

В отзыве директора по науке ООО «Проекты и Технологии – Уральский регион» (г. Екатеринбург), д.т.н., профессора Зотеева Олега Вадимовича присутствуют следующие замечания: «1. В тексте автореферата не описаны горногеологические условия отработки месторождения Южное, что не дает возможности оценить обоснованность расстановки датчиков АСКГД и достаточность сети наблюдений (рис. 1 автореферата). 2. Из текста автореферата не ясно, могут ли использоваться полученные наработки в условиях других месторождений».

В отзыве главного научного сотрудника д.т.н. Шадрина Александра Васильевича и и.о. директора д.т.н. Аксенова Владимира Валерьевича, Института угля «Федерального исследовательского центра угля и углехимии Сибирского отделения Российской академии наук» (г. Кемерово) сделано два замечания: «1. Диапазон рабочих частот АСКГД «Prognoz-ADS» лежит в области частот 0,5-12 кГц. Однако на высоких частотах этого диапазона коэффициент затухания звука имеет большое значение, что уменьшает радиус чувствительности метода. В автореферате величина этого радиуса не указана как не оговорены и реально используемые рабочие частоты из всего возможного диапазона. 2. В автореферате не приведен сравнительный анализ результатов прогноза выполненного по методике автора и инструментальными методами. Такой анализ мог бы усилить значимость защищаемой диссертационной работы».

В отзыве старшего научного сотрудника отдела Проблем геомеханики и разрушения горных пород Института проблем комплексного освоения недр имени академика Н.В. Мельникова Российской академии наук (г. Москва), к.т.н. Белоусова Федора Сергеевича сделано три замечания: «1. В автореферате не указано, сравнивал ли автор свои исследования, проведенные с использованием оборудования "Prognoz ADS", с результатами других аналогичных систем. В настоящее время в мире наблюдается активное развитие данного направления, и в России значительных успехов достиг Институт ВНИМИ, который занимается исследованием и разработкой аппаратуры Gits. Следует отметить, что сравнение результатов может существенно повысить достоверность и актуальность полученных данных, а также способствовать более глубокому пониманию существующих технологий и методов. 2. В автореферате, на странице 9 в четвертом абзаце, упоминаются две гипотезы, однако остается неясным, в чем именно заключается различие между уникальными особенностями сигналов и их характеристиками, о которых говорит автор. Важно уточнить, как автор определяет эти термины и какие конкретные аспекты он имеет в виду, когда говорит о "уникальных особенностях". Возможно, речь идет о специфических свойствах сигналов, которые отличают их друг от друга, в то время как "характеристики" могут подразумевать более общие параметры, такие как амплитуда, частота или длительность. Более четкое объяснение этих понятий могло бы значительно прояснить позицию автора и углубить понимание представленных гипотез. 3. В автореферате на странице 14 в первом абзаце автор пишет: " Однако, общее количество зарегистрированных сигналов оказалось недостаточным для точного определения координат источников сейсмоакустического

излучения методом триангуляции". Однако не ясно, какие именно источники имеются в виду, когда говорится о недостаточном общем количестве зарегистрированных сигналов для их локализации».

В отзыве директора научно-исследовательского центра «Прикладная геомеханика и конвергентные горные технологии» Горного института НИТУ МИСИС (г. Москва), д.т.н., профессора РАН Еременко Виталия Андреевича сделано три замечания: «1. Автореферат написан очень мелким текстом. Читать бумажную версию практически невозможно, рисунки не просматриваются. 2. Диссертационная работа определяется соискателем по специальности 2.8.6 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика». Тем не менее, научные положения и новизна имеют геоинформационный формат изложения. Чем определяются и в каком объеме результаты исследований по специальности 2.8.6 в целом в диссертационной работе, а что представлено геоинформатикой. 3. На странице 14 представлен термин «прогнозирование горнодинамических проявлений». «Горнодинамические проявления» – такого в геомеханике и в горном деле не существует».

В отзыве директора д.г.-м.н., чл.-корр. РАН Петрова Владислава Александровича и заведующей лабораторией геоинформатики, старшего научного сотрудника к.г.-м.н. Минаева Василия Александровича Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук (г. Москва) сделано два замечания редакционного характера: «1. На Рисунке 1 (стр. 7) автору стоило представить графическую легенду или же отразить в подрисовочной подписи все элементы схемы и пояснить, что сама схема является разрезом. На схеме также не хватает указания единиц измерения на правой шкале и указания масштаба. 2. Присутствуют мелкие опечатки в тексте. Например, стр. 7: «полиметаллического месторождения Южное в Приморском крае, одно из наиболее удароопасных...»».

В отзыве главного научного сотрудника отдела Проблем моделирования и управления горнотехническими системами Института проблем комплексного освоения недр имени академика Н.В. Мельникова Российской академии наук (г. Москва), д.т.н., профессора Рыльниковой Марины Владимировны сделан ряд замечаний: «1. Обозначенная в цели диссертации разработка системы интеллектуальной обработки и интерпретации результатов сейсмического мониторинга удароопасности массива горных пород не может состоять только из программно-методических средств, как это указано в автореферате, а имеет значительные более широкое обеспечение и содержание и не ограничивается условиями удароопасности месторождения Южное и в методическом плане может быть использованы при разработке иных удароопасных месторождений. Об области возможного использования разработанной системы следовало указать в автореферате. 2. Ограниченный объем автореферата не предусматривает двойного дублирования защищаемых в диссертации положений, освободившееся место целесообразно было использовать для определения области перспективного исследования предлагаемой методики и указания эффективности от ее применения на месторождении Южное. 3. На графике, представленном на рисунке 2 автореферата не указаны параметры на оси абсцисс и его размерность. По виду изображения сложно отнести его к графику».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается соответствием профиля научных работ оппонентов и сотрудников ведущей организации направлению научных исследований диссертационной работы, обеспечением выполнения требований пунктов 22 и 24 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г.

Официальный оппонент Вознесенский Александр Сергеевич – известный ученый в области сейсмоакустического контроля геомеханического состояния горных пород. Его научные публикации касаются различных вопросов разработки измерительных геофизических комплексов и исследования геомеханического состояния горных пород в лабораторных и натурных условиях. За последние 5 лет им опубликовано 15 научных работ по темам исследований, близким к задачам, решаемым в диссертационной работе Константинова А.В.

Официальный оппонент Шулаков Денис Юрьевич является известным специалистом и учёным в области сейсмологии и геодинамики. Его публикации посвящены сейсмическому мониторингу природных и техногенных процессов, разработке методик обработки данных, автоматизации анализа сейсмических событий и их обнаружению в условиях интенсивных помех. За последние 5 лет им опубликовано 6 научных работ по темам исследований, близким к задачам, решаемым в диссертационной работе Константинова А.В.

Выбор Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ РАН), г. Апатиты, в качестве **ведущей организации** обосновывается наличием в структуре данного учреждения Горного института КНЦ РАН, который является одним из ведущих в России научных учреждений в области геомеханики и цифровизации горного производства, что подтверждается публикациями ученых института в авторитетных журналах.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработаны методы интеллектуального анализа и интерпретации сейсмоакустических сигналов в процессе геомеханического мониторинга удароопасного массива горных пород, заключающаяся, во-первых, в оперативной компьютерной фильтрации сигналов техногенного происхождения (иницированных технологическими процессами горных работ) и, во вторых, – в автоматической идентификации в регистрируемом потоке именно тех сейсмоакустических функциональных сигналов, которые характеризуют геомеханические процессы деформации и разрушения массива. Установлено, что эффективность предложенных методов обеспечивается использованием комплекса вероятностных нейронных сетей бинарной классификации, которые в условиях месторождения Южное продемонстрировали точность распознавания на тестовой выборке до 95 % и позволили достичь существенного прироста объема информативных данных об естественных геомеханических процессах в массиве горных пород. Так, потенциально удароопасные участки эффективно выявлялись с высокой степенью достоверности благодаря совместному применению алгоритма кластерного анализа DBSCAN, индекса Дэвиса-Болдина и оценки пространственного расположения кластеров событий, что обеспечивало определение местоположения акустически активных (и опасных) зон и параметрическое описание динамики их развития в разрабатываемом массиве горных пород. Дополнительное использование здесь таких моделей машинного обучения, как случайный лес и градиентный бустинг, позволило добиться достаточно надежного прогнозирования опасных горнодинамических проявлений: точность прогнозных оценок (при пороговом значении вероятности 0,2) в условиях месторождения Южное составила 84 %, при том, что ранее точность такого прогноза количественно не оценивалась;

предложен оригинальный, математически обоснованный научный подход для эффективного прогнозирования в режиме реального времени удароопасности разрабатываемого массива горных пород, заключающийся в инкрементном (пошаговом) обучении и переобучении моделей искусственного интеллекта, а также в использовании разработанных нетрадиционных рекомендаций по оперативной оценке результатов применения этих моделей путем комплексного анализа предсказаний алгоритмов разных типов с учетом прошлых значений вероятностей и чувствительности отдельных моделей в зависимости от интенсивности сейсмоакустических данных и возникновения динамических проявлений горного давления. Данный подход представляет собой научное развитие базового сейсмоакустического мониторинга, и он целесообразен к расширению его реализации в дальнейшем в связи с возможным усложнением геомеханической обстановки на удароопасном месторождении Южное и на аналогичных ему объектах горных работ;

доказано, что в процессе сейсмоакустического мониторинга удароопасного месторождения Южное геомеханическая локализация очагов повышенного горного давления и контроль динамики их развития (в виде акустически активных зон) эффективно могут осуществляться предложенным методом и разработанными программно-аналитическими средствами кластеризации и математической оценки регистрируемых сейсмоакустических данных. В процессе работы были выделены 20 таких долговременных контролируемых зон, требующих надлежащего производственного геомеханического надзора для недопущения катастрофических геодинамических проявлений;

введены новые понятия в горную геомеханику из области интеллектуальных информационных систем, включающие комплекс понятий по обработке и интерпретации массивов измерительных данных, в частности – относящихся к программному распознаванию образов естественных и техногенных источников акустической эмиссии в контролируемом массиве горных пород, например: тип источника акустических сигналов в массиве горных пород, идентифицируемый вероятностными нейронными сетями.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны методические положения по прогнозированию удароопасности массива горных пород в режиме реального времени на основе инкрементального (пошагового) обучения и переобучения моделей искусственного интеллекта с использованием комплекса текущих сейсмоакустических измерительных данных;

применительно к проблематике диссертации результативно (с получением новых данных о закономерностях зарождения и развития очаговых зон) использованы измерительные данные, полученные в шахтных условиях с использованием сейсмоакустического комплекса «Prognoz-ADS»;

изложены методические положения и приведены разработанные программные средства для систематизации и последующей интеллектуальной обработки и интерпретации измерительных данных в системе сейсмоакустического мониторинга удароопасности массива горных пород;

раскрыто решение задачи, направленное на поиск точных непротиворечивых и оперативных с позиции горного производства методов обработки и интерпретации массива измерительных данных для определения геомеханического состояния удароопасного массива горных пород;

изучены, всесторонне проанализированы и систематизированы характеристики и закономерности сейсмоакустических сигналов, возникающих в процессе горных работ на удароопасном месторождении; установлено, что ранее (при ручной обработке сигналов

операторами) могла быть идентифицирована лишь небольшая их часть (2,22 % от общего числа зарегистрированных сигналов для условий рассматриваемого месторождения); использование методов интеллектуальной обработки сигналов позволило существенно (в 15 раз) увеличить число полезных сигналов, что способствует повышению точности оценки геодинамического риска;

проведена модернизация алгоритма автоматической идентификации сейсмоакустических сигналов с разработкой нового его варианта, что необходимо для получения точного времени вступления акустического сигнала.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены «Указания по безопасному ведению горных работ на месторождении Южное (АО «ГМК «Дальполиметалл»), опасном по горным ударам»; отдельные результаты диссертационной работы используются на других объектах геомеханического мониторинга: КФ АО «Апатит», ПАО «ППГХО»;

определены перспективы практического использования интеллектуальных моделей машинного обучения на основе ретроспективных сейсмоакустических временных рядов с проявлениями удароопасности для повышения надёжности прогнозирования текущей удароопасности;

создана система практических рекомендаций по оптимизации параметров кластеризации серий акустических событий в процессе мониторинга очаговых зон, характеризующихся повышенным риском удароопасности;

представлены предложения по дальнейшему совершенствованию аппаратных и методических средств сейсмоакустического мониторинга, обеспечивающие его переход на более высокий и формализованный технологический уровень обработки и интерпретации измерительных данных.

Оценка достоверности результатов исследования выявила: экспериментальные работы в шахтных условиях выполнены с использованием рекомендованной к применению нормативным документом («Указания по безопасному ведению горных работ на месторождении Южное (АО «ГМК «Дальполиметалл»), опасном по горным ударам») акустической системы контроля горного давления «Prognoz-ADS» и наблюдательной сети, включающей калиброванные датчики; обработка измерительных данных производилась с использованием программно-компьютерных средств; теоретические положения и математические модели построены на известных и проверяемых результатах исследования, основные положения которых опубликованы в рецензируемых изданиях; идея привлечения интеллектуальных информационных систем базируется на обобщении передового опыта исследований, в том числе отечественной и зарубежной практики; достаточный объем экспериментальных и расчетных данных сейсмоакустического мониторинга и тестирования моделей интеллектуального анализа для решения поставленных задач и апробации результатов на фактических данных, регистрируемых в массиве горных пород удароопасного месторождения.

Личный вклад соискателя: участие в постановке цели, обзоре и выборе средств для ее достижения; решение поставленных задач и анализ полученных результатов по совершенствованию средств сейсмоакустического мониторинга; анализ характеристик сейсмоакустических сигналов, разработка архитектуры, обучение и тестирование комплекса нейросетевых моделей для определения типа источника регистрируемых данных; разработка методики идентификации акустически активных зон, характеризующих очаги повышенного горного давления в массиве горных пород, с оценкой их достоверности и расчетом параметров развития с течением времени; расчёт

параметров временных рядов по сейсмоакустическим данным, сопоставление их с проявлениями горного давления и выбор значимых признаков для прогнозирования удароопасности; разработка, обучение и тестирование интеллектуальных моделей применительно к условиям удароопасного месторождения Южное.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

В автореферате не приведено достаточного обоснования при выборе методов кластерного анализа, включающих алгоритм DBSCAN и индекс Дэвиса-Болдина, которые применялись для выявления областей концентрации сейсмоакустической энергии. Не указан критерий определения оптимальных параметров для кластеризации с помощью алгоритма DBSCAN.

Не полностью раскрыт характер влияния структурных нарушений (разломов, зон дробления) на пространственное распределение сейсмоакустических событий. Было бы целесообразно пояснить, каким образом геолого-структурные особенности месторождения учитывались при интерпретации данных.

Из текста автореферата не ясно, могут ли использоваться полученные наработки в условиях других месторождений и какие именно условия будут считаться аналогичными.

Непонятен вопрос интеграции разработанной системы в действующую технологию ведения горных работ. В частности, в каком виде и когда предлагаемый прогноз может использоваться в текущих или плановых решениях по предупреждению горных ударов.

Автором четко не сформулированы критерии объявления тревоги и условия отмены опасности возникновения геодинамических явлений, что является важным для успешного внедрения методики прогноза динамических проявлений горного давления в производственный процесс.

Соискатель Константинов А.В. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию, показав понимание сути исследуемой проблемы; с отдельными замечаниями соискатель согласился.

На заседании 25 апреля 2025 г. диссертационный совет принял решение: за разработку новой, интеллектуальной системы математической обработки и технологического использования измерительных данных в процессе сейсмоакустического мониторинга удароопасного месторождения Южное, что имеет существенное значение для безопасного ведения горных работ на удароопасных месторождениях и для развития горнодобывающей отрасли страны, присудить Константинову А.В. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 3 доктора наук по специальности 2.8.6. Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика, участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 12, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета

Учёный секретарь
диссертационного совета

25 апреля 2025 г.
МП



Рассказов Игорь Юрьевич

Корнеева Светлана Ивановна