

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертацию Константинова Александра Викторовича «Разработка средств интеллектуального анализа данных в системе сейсмоакустического мониторинга удароопасности массива горных пород месторождения Южное», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

### **Актуальность темы диссертации**

В настоящее время как в России, так и во всем мире в отработку активно вовлекаются запасы месторождений, находящиеся на большой глубине или в сложных горно-геологических условиях. Во многих случаях это приводит к различным негативным проявлениям горного давления – от заколообразования и «стреляния» до крупномасштабных горно-тектонических ударов и техногенных землетрясений. Подобные явления не только наносят крупный экономический ущерб, но и создают непосредственную опасность для здоровья и жизни горняков. В полной мере данная проблема характерна и для рудников Дальневосточного региона, 8 из которых отнесены к удароопасным.

Учитывая многообразие и сложность геологических, тектонических и горнотехнических факторов, влияющих на геодинамическую активность породного массива, практически единственным надежным способом контроля его состояния является проведение непрерывных мониторинговых наблюдений. При этом сейсмический и акустический мониторинг являются одними из самых эффективных, поскольку позволяют вести непрерывный в пространстве и времени контроль на больших участках шахтных полей. Крайне важным представляется не просто выявить геодинамически активные зоны, но и, по возможности, спрогнозировать возникновение потенциально опасных проявлений горного давления. Решению именно этой сложной проблемы посвящена диссертационная работа А.В. Константинова.

Таким образом, рассматриваемая работа, направленная на разработку программно-методических средств автоматизации обработки и анализа данных сейсмоакустического мониторинга, является крайне актуальной и имеет важное прикладное значение.

### **Структура и содержание диссертации**

Структура и оформление диссертации соответствуют рекомендованному ВАКом ГОСТу 7.0.11-2011 «Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

Во Введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, а также защищаемые положения. Раскрыты научная новизна и практическая значимость полученных результатов, а также личный вклад диссертанта.

В первой главе дается детальный обзор текущей ситуации с динамическими проявлениями горного давления на горнодобывающих предприятиях и анализируются причины их возникновения. Также описываются современные методы мониторинга и анализа геодинамической обстановки, при этом особое внимание уделяется сейсмоакустическим методам. На примере системы «Prognoz-ADS» описывается технология ведения мониторинга сейсмоакустической эмиссии и описываются технические и программные средства, позволяющие повысить качество и информативность результатов, а также возможные пути автоматизации обработки данных с помощью методов машинного обучения.

Вторая глава диссертации описывает процесс разработки и обучения нейросетевой модели, задачей которой является классификация регистрируемых сигналов в зависимости от типа их источника. В качестве объекта, на примере которого выполнялась разработка программно-методических средств, выступает удароопасное полиметаллическое месторождение Южное. Автором выполнен анализ признакового пространства сейсмоакустических импульсов, установлены характерные особенности сигналов техногенного происхождения и сформированы обучающие наборы для классификационных нейросетевых моделей. На основании этого была составлена и оптимизирована методика, базирующаяся на ансамбле моделей машинного обучения. Разработанные программно-методические средства позволили не только автоматизировать процесс обработки сейсмоакустических данных, но радикально повысить эффективность выделения сигналов, а также получить дополнительную информацию о геомеханических процессах, протекающих в массиве горных пород. Так, количество идентифицированных сигналов от буровых работ увеличилось в 9 раз, от взрывных работ более чем в 3 раза, а сигналов естественного происхождения – в 15(!) раз.

Третья глава посвящена проблеме автоматизации анализа пространственного распределения очагов акустической эмиссии с использованием кластерного анализа. Использование описанной в предыдущей главе нейросетевой модели позволило получить большой объем информации о пространственном распределении источников акустической эмиссии, связанных с процессами разрушения в породном массиве. На основе кластерного анализа по пространственным и временным характеристикам было установлено, что источники акустического излучения формируют 20

акустически активных зон. Автором были установлены оптимальные параметры кластеризации, позволяющие локализовать очаги повышенного горного давления и исследовать динамику их развития, что является важным результатом для перехода к решению задачи прогнозирования опасных динамических проявлений горного давления.

В четвертой главе описывается решение задачи создания методики прогнозирования геомеханического состояния породного массива, а также ее программной реализации. Основой для разработки методики послужили 14 динамических проявлений горного давления, зарегистрированных мониторинговой системой в качестве сейсмоакустических событий. В силу большого количества статистических параметров, характеризующих временные ряды сейсмоакустических данных, использовать ручной выбор признаков для тренировки модели машинного обучения оказалось практически невозможно, в связи с чем для выбора наиболее информативных признаков автором был применен алгоритм «случайного леса», что позволило в итоге добиться хорошей прогностической способности: точность прогнозных оценок составила 84%. В итоге разработанная методика позволила достоверно прогнозировать проявления удароопасности и определять моменты времени с повышенной вероятностью возникновения геодинамических явлений, что является крайне важным и востребованным результатом.

В разделе «Заключение» приведены наиболее важные научные и практические результаты, полученные лично соискателем.

### **Научная новизна диссертационной работы**

Рассматриваемая диссертационная работа обладает несомненной научной новизной. При подготовке обучающих наборов данных соискателем были установлены закономерности регистрации сейсмоакустических сигналов естественного и техногенного происхождения в условиях действующего горнодобывающего предприятия. Автором впервые разработаны математические модели нейронных сетей, позволяющих с высокой точностью, недоступной ручной обработке, типизировать источники регистрируемых сигналов и сейсмоакустических событий. Для прогнозирования проявлений удароопасности были созданы модели машинного обучения, использующие ретроспективный анализ временной динамики сейсмоакустической активности.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Автором вынесено на защиту три научных положения, которые раскрываются и обосновываются в главах 2-4 диссертации. Все защищаемые

положения базируются на анализе большого объема фактических данных, полученных в ходе сейсмоакустического мониторинга на месторождении «Южное». На разработанные автором программные средства получено 10 свидетельств на результаты интеллектуальной деятельности (программы для ЭВМ и базы данных). Результаты исследований и их выводы докладывались на многочисленных всероссийских и международных научных конференциях, а также опубликованы в 27 печатных работах, в том числе 9 из них – в изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендуемых ВАК Минобрнауки РФ.

### **Достоверность результатов и выводов**

Достоверность полученных результатов обеспечивается большим объемом использованных фактических данных – автором использованы сведения о почти 10 000 сейсмоакустических событий различной природы, а также о 14 проявления горного давления, отразившихся в данных мониторинга. Обоснованность выводов обеспечена корректным выбором методов и подходов для проведения комплексных исследований, достаточным объемом экспериментальных и расчетных данных, тестированием моделей интеллектуального анализа для решения поставленных задач и апробацией разработанных средств на фактических данных

### **Соответствие автореферата диссертации**

В автореферате кратко, но с достаточной полнотой изложено содержание диссертационной работы. Текст автореферата написан ясным научным языком, хорошо иллюстрирован графиками.

### **Замечания и вопросы по содержанию диссертации**

1. Судя по описанию программного модуля «Определение чувствительности наблюдательной сети» (стр. 22-23), при расчете никак не учитывается уровень фоновых шумов в месте установки геофонов. Это является методической ошибкой и может привести к существенному расхождению между расчетными и фактическими регистрационными возможностями мониторинговой системы. Например, информативность датчика, установленного возле рудоспуска или привода конвейера, может оказаться на порядки ниже, чем стоящего в «тихом» месте.

2. Из текста диссертации не удалось понять, в каких случаях проводилось полноценное определение энергии сейсмоакустических событий (Джоули), а в каких – оценивалась только энергетическая характеристика в условных единицах.

3. Задача прогноза землетрясений (или сейсмических событий) решается сейсмологами уже многие десятки лет. За это время создано большое количество физически обоснованных параметров, связанных с распределением сейсмической активности в пространстве и времени, а также проанализирована их применимость для разных видов прогноза. Непонятно, исходя из каких критериев автором был выбран именно такой набор параметров, характеризующих сейсмоакустическую активность (табл. 4.3 на стр. 102).

4. Из рис. 4.6 и текста гл. 4.5 не удалось понять, каким является максимально допустимый интервал между возникновением пика прогнозного параметра и динамическим проявлением горного давления. Где проходит граница между успешным прогнозом и ошибочным детектированием?

5. Для внедрения методики прогноза динамических проявлений горного давления в производственный процесс необходимы критерии не только объявления тревоги, но и снятия ее. Однако автором никак не сформулированы условия отмены опасности возникновения геодинамических явлений.

Указанные замечания не влияют на общую положительную и высокую оценку работы и не затрагивают защищаемые положения.

### **Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней**

Диссертация Константинова Александра Викторовича «Разработка средств интеллектуального анализа данных в системе сейсмоакустического мониторинга удароопасности массива горных пород месторождения Южное», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук, является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований содержится решение важной научной задачи, имеющей значение для обеспечения стабильной и безопасной работы горнодобывающих предприятий в условиях повышенного риска динамических проявлений горного давления.

Актуальность темы исследования, а также новизна, достоверность, теоретическая и практическая значимость полученных результатов свидетельствуют о **соответствии** диссертации требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842), «О внесении изменений в Положение о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 21.04.2016 г. № 335), предъявляемым к кандидатским диссертациям, 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»

Шулаков Денис Юрьевич  04 апреля 2025 г.  
Заведующий лабораторией природной и техногенной сейсмичности «Горного института Уральского отделения Российской академии наук» – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермского федерального исследовательского центра Уральского отделения Российской академии наук, кандидат технических наук.

Адрес места работы:

614007, Пермский край, г. Пермь, ул. Сибирская, д. 78-А  
тел.: +7 (342) 216-09-84 e-mail: shulakov@mi-perm.ru

Я, Шулаков Денис Юрьевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку и передачу в соответствии с требованиями Минобрнауки России.

 Шулаков Денис Юрьевич

Подпись Шулакова Д.Ю. удостоверяю  
Главный специалист по кадрам «ГИ УрО РАН»  
Дерюженко Стелла Григорьевна

04 апреля 2025



