

Отзыв официального оппонента

на диссертационную работу Лисейкина Алексея Владимировича

«Обнаружение разрушительных процессов при эксплуатации технических сооружений и определение структуры земной коры с использованием малоамплитудных сейсмических сигналов», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 1.6.9 – геофизика.

Актуальность темы исследований, выполненных в диссертации, определяется несколькими факторами. В геофизике исследование и интерпретация сейсмических полей используется для получения информации о внутреннем строении геологической среды и мониторинга крупных промышленных объектов. Одним из направлений сейсмических исследований является регистрация сейсмического шума и выделения из него малоамплитудных сигналов связанных с работой крупных установок. Эти сигналы имеют амплитуды на два и более порядка меньше амплитуды сейсмического шума, и разработка эффективных методов выделения их из шума является актуальной задачей. Вторым актуальным направлением исследований является анализ малоамплитудных сигналов, излучаемых в среду промышленными объектами, мониторинг изменения их амплитудно-частотных характеристик во времени для дистанционного контроля за работой объектов и слежением за развитием опасных процессов при их работе. Использование малоамплитудных сигналов, выделенных из сейсмического шума для получения информации о строении земной коры, является одной из основных актуальных задач сейсмологии.

Диссертационная работа Лисейкина Алексея Владимировича посвящена методам обработки и интерпретации результатов измерений сейсмических полей, в частности поиску новых методик и программно-технических решений, способствующих выделению в сейсмическом шуме малоамплитудных сейсмических сигналов, связанных с работой крупных технических сооружений и промышленных производств, с целью их использования для дистанционного обнаружения разрушительных процессов при эксплуатации технических сооружений, работающего оборудования и изучения структуры земной коры. В работе решаются четыре научные задачи: разработка эффективного алгоритма и программной реализации выделения малоамплитудных сейсмических сигналов из данных мониторинга сейсмического шума на основе Фурье-анализа; исследование возможности дистанционного изучения механики процессов при эксплуатации промышленных объектов по малоамплитудным сейсмическим сигналам и разработка методики обнаружения начавшихся разрушений в работающем оборудовании

на основе полученных результатов; по данным многолетнего мониторинга сейсмического шума; разработка методики дистанционного определения аномалий в частотах собственных колебаний зданий и сооружений по малоамплитудным сигналам как индикатора начавшихся разрушений их конструкции; разработка методики определения структуры земной коры до границы Мохоровичича по малоамплитудным отраженным волнам с использованием архивных материалов речного сейсмического профилирования методом ОГТ.

Структура диссертационной работы. Диссертация включает титульный лист, оглавление, введение, 4 главы, заключение, список сокращений и условных обозначений, библиографический список из 146 наименований, включает 108 рисунков, 4 таблицы. Диссертационная работа представлена на 253 страницах печатного текста.

Во введении определен объект исследований, обоснована актуальность, сформулированы цель, основные задачи и этапы исследования, описаны теория, методы исследования, фактический материал, программное обеспечение, защищаемые научные результаты, научная новизна и личный вклад, теоретическая и практическая значимость, достоверность и апробация результатов.

В первой главе рассмотрены вопросы выделения малоамплитудных сигналов в сейсмическом шуме на основе гармонического анализа. Выполнен подробный аналитический обзор методов анализа и современных зарубежных и отечественных программных разработок, проанализированы их достоинства и недостатки. Проанализированы характеристики малоамплитудных сигналов в сейсмическом шуме от различных источников, а также помех природного и техногенного характера. Для оценки степени влияния этих помех на малоамплитудные сигналы, с целью снижения ошибок в их интерпретации, разработан комбинированный алгоритм на основе спектрально-временного анализа сейсмического шума по спектрограммам, построенным в результате оконного преобразования Фурье. Алгоритм состоит из комбинации трех основных модулей. Первый модуль осуществляет спектрально-временной анализ сейсмического шума. Второй модуль предназначен для количественного определения частот и амплитуд слабых сигналов при усреднении амплитудных спектров. Третий модуль предназначен для выделения в шуме монохромных сигналов, т.е. сигналов с высокостабильной частотой, по временной развертке их амплитуды. Алгоритм реализован в специальном программном обеспечении для Windows SpectrumSeism. Преимущество найденного автором решения заключается в сочетании в одной программе оперативного анализа спектрально-временных характеристик сейсмического шума, включающего удобную навигацию по спектрограмме с возможностью интерактивно менять параметры ее расчета и масштаб, со одной стороны,

а с другой – инструментов усреднения амплитудных спектров и расчета амплитуд монохромных сигналов во времени в заданных на спектрограмме областях их устойчивого прослеживания. Описана программная реализация алгоритма и верификация программного обеспечения в сравнении с программными пакетами SVMOD.

Необходимо отметить завершенность разработанного программного пакета SpectrumSeism и **полную готовность его к практическому применению**. В завершении главы соискателем описаны шесть этапов спектрально-временного анализа сейсмограмм для выделения слабых сигналов в спектрограммах сейсмического шума с определением их амплитудно-частотных характеристик и порядок действий при практическом применении.

Вторая глава посвящена разработке методики дистанционного обнаружения разрушительных процессов в работающем оборудовании крупных промышленных объектов. Выполнен обзор современных методик мониторинга работы гидроагрегатов крупных ГЭС и колебаний зданий с анализом их преимуществ и ограничений. Отмечены значительные трудности в использовании слабых сигналов, возбужденных гидроагрегатами ГЭС: низкая помехоустойчивость, сложности интерпретации при наличии сигналов от посторонних источников с близкими частотными характеристиками, низкая стабильность частоты колебаний, наложение сигналов с одинаковой частотой. В связи с этим соискателем разработана специальная методика, в которой роль перечисленных трудностей снижается за счет детального спектрально-временного анализа сейсмического шума, достоверной идентификации выделенных в нем малоамплитудных сигналов и повышения помехоустойчивости.

Методика разрабатывалась и реализовывалась на примере событий 17.08.2009 г. на Саяно-Шушенской ГЭС по данным мониторинга сейсмических сигналов со станции «Черемушки», расположенной в 4.4 км от ГЭС. В диссертации приведены результаты подробных исследований микросейсм сейсмостанции, выделенных малоамплитудных сигналов, создаваемых работающими гидроагрегатами ГЭС и гидроакустическими автоколебаниями в водоводах станции. Исследованы собственные колебания плотины ГЭС и изменение их амплитуды во времени связанные со сменой режимов работы гидроагрегатов ГЭС. Подробно описана хронология изменения малоамплитудных сейсмических сигналов, зарегистрированных сейсмостанцией «Черемушки» до аварии на станции и во время ее.

По выполненным исследованиям с использованием накопленных цифровых материалов мониторинга сейсмического шума на сети сейсмостанций с выделением квазигармонических малоамплитудных сигналов соискателем разработана методика дистанционного обнаружения разрушительных процессов в работающем оборудовании

крупных промышленных объектов в связи с повышенной вибрацией и резонансным усилением колебаний окружающих конструкций и сооружений.

В третье главе описано создание методики дистанционного определения аномалий в частотах собственных колебаний зданий и сооружений по малоамплитудным сигналам как индикатора начавшихся разрушений их конструкции. Выполнен аналитический обзор современных решений задачи выявления начавшихся разрушительных процессов по данным мониторинга частот собственных колебаний зданий и сооружений на основе работ по этой тематике в России и за рубежом. В диссертации, по материалам более чем 20 летнего мониторинга сейсмического шума разработана методика дистанционного определения по малоамплитудным сигналам аномального изменения частот собственных колебаний сооружений на примере плотин Саяно-Шушенской и Чиркейской ГЭС как индикатора начавшихся разрушений их конструкции.

Практическое применение данной методики выявило стабильный рост частот собственных колебаний плотины Саяно-Шушенской ГЭС на 0.02-0.05 Гц за 20 лет. Это позволило сделать важный вывод о том, что жесткость сооружения не снижается и за указанный период мониторинга разрушений в плотине или ее основании не происходило несмотря на то, что в этот период в регионе были зарегистрированы землетрясения от 4 до 6 баллов и авария с разрушением гидроагрегата.

Второй пример применения разработанной методики на других объектах связан с обработкой материалов мониторинга сейсмического шума, зарегистрированного в 7 км от отвала угольного месторождения в Новосибирской области, на котором 18.07.2020 г. произошел крупный оползень. В сейсмическом шуме с конца 2018 г. выделены малоамплитудные сигналы, возбужденные собственными колебаниями отвала с частотой около 0.6 Гц, прекратившиеся сразу после оползня. Постепенное понижение этой частоты в течение полуторогодового периода происходит из-за увеличения отвала как по размеру, так и по массе при разработке месторождения. Применение разработанной методики позволило установить, что критерием неустойчивости отвалов угольных месторождений является наличие в сейсмическом шуме сигналов, возбужденных их собственными колебаниями и зарегистрированных приборами сейсмических станций на значительном расстоянии.

В четвертой главе рассмотрена задача построения разрезов земной коры на всю мощность по малоамплитудным сигналам отраженных волн речной сейсморазведки методом ОГТ, выполнен аналитический обзор работ в этой области. Интерес к этой тематике связан с тем, что в период с 2007 по 2019 гг. на реках Восточной Сибири выполнено около 2700 км профилей, по материалам которых построены разрезы верхней

части земной коры. При этом структура всей коры осталась неизученной. В исследовании по материалам речной сейсморазведки, выполненной методом общей глубинной точки с относительно слабыми пневматическими источниками, диссертантом разработана малозатратная методика построения разрезов на всю мощность земной коры с использованием сейсмограмм увеличенной длительности, необходимой для регистрации продольных отраженных волн от любой из границ в земной коре. Для этой цели разработана экспресс-методика построения разрезов на всю мощность земной коры (на примере данных профилирования методом ОГТ на реках Лена и Витим в 2018-2019 гг.).

В результате экспресс-обработки методом ОГТ совокупности данных для выделенного 60-километрового участка профиля в нижнем течении р. Лена построен временной разрез до 23 с. Показано, что время до выделенной границы Мохоровичича изменяется от 13.0 до 14.2 с. С учетом того, что средняя скорость продольных волн в земной коре на данном участке составляет около 6.6 км/с, глубина границы Мохо достигает 43-47 км. Эти значения не противоречат имеющимся сведениям о мощности земной коры в близлежащих районах, что свидетельствует о достоверности результата.

В результате выполненных исследований соискателем разработана методика построения разрезов земной коры на всю мощность по выделенным из сейсмического шума малоамплитудным сигналам отраженных волн на увеличенных временах вступления на примере данных профилирования методом ОГТ на реках Лена и Витим в 2018-2019 гг. Проведенное исследование обосновывает возможность использования для этого материалов речной сейсморазведки, малозатратных по сравнению с традиционными специально организованными работами методом глубинного ОГТ.

В каждой главе в заключительной части сформулированы основные результаты по отдельной поставленной научной задаче с кратким анализом, указанием ограничений и рекомендациями по практическому применению., что значительно помогает в оценке приведенных в главе исследований.

В заключении сформулированы основные выводы о приведенных в диссертации результатах.

Считаю, что поставленные в диссертации научные задачи решены и положения, выносимые на защиту доказаны. Диссертационная работа имеет четкую структуру, текст изложен ясным языком и достаточно полно иллюстрирован графическим материалом.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов. Целевые постановки и задачи диссертационной работы достигнуты и реализованы в полном объеме, что нашло отражение в резюмирующих результатах и выводах. Достоверность полученных результатов определяется следующим:

- использованием апробированных на практике классических и современных алгоритмов цифровой обработки сейсмограмм (на основе методов Фурье-анализа и ОГТ), представительного материала многолетнего мониторинга сейсмического шума, зарегистрированного современной высокочувствительной калиброванной аппаратурой станций сейсмологической сети, а также данными многочисленных экспериментов, выполненных как лично, так и под руководством соискателя с использованием новейшей аппаратуры и современных методов исследований, применяемых в сейсмологии и сейсморазведке;

- практической реализацией методических разработок и программного обеспечения при анализе материалов мониторинга сейсмического шума в целях расследования причин аварии 2009 г. на Саяно-Шушенской ГЭС, при оценке степени динамических воздействий на сооружения от вводимых в эксплуатацию после аварии 10-ти новых гидроагрегатов, а также при проведении речных сейсморазведочных исследований в Восточной Сибири.

Научная новизна. Новыми результатами приведенных в диссертации научных исследований является разработка новых методик, основанных на использовании малоамплитудных сигналов, выделенных в сейсмическом шуме: - методика дистанционного выявления факторов, указывающих на начавшиеся разрушительные процессы в работающем оборудовании в связи с повышенной вибрацией и резонансными эффектами; - методика дистанционного определения частот собственных колебаний зданий и сооружений, аномалии которых служат индикаторами начавшихся разрушений в сооружении и его основании; - методика построения разреза земной коры на всю мощность на основе выделения и анализа малоамплитудных отраженных волн, зарегистрированных при речной сейсморазведке методом ОГТ и выделенных в сейсмическом шуме.

Практическая значимость полученных автором результатов подтверждена тем, что разработанные алгоритмы и программное обеспечение реализовывались при спектрально-временном анализе зарегистрированного в окрестности Саяно-Шушенской ГЭС сейсмического шума, перед и во время крупнейшей техногенной катастрофы, произошедшей 27 августа 2009 г. Методические разработки и программное обеспечение прошли проверку на практике в более чем 10-ти исследованиях ГС СО РАН по договорам с ПАО «РусГидро» в период 2010-2016 гг. на Саяно-Шушенской ГЭС, с выделением сигналов, возбужденных вновь вводимыми в эксплуатацию после аварии гидроагрегатами. Они используются также в учебных курсах Сибирского федерального университета (СФУ) и Новосибирского государственного университета (НГУ), в исследовательских и договорных работах филиалов ФИЦ ЕГС РАН, а также Центра геофизического мониторинга НАН Республики Беларусь. Разработанные автором алгоритмы реализованы

в виде программного обеспечения SpectrumSeism, Geofilters, SSlicer, которое прошло государственную регистрацию и имеется 3 Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Это подтверждает практическую значимость и важное значение результатов диссертации для развития методов сейсмических исследований на основе выделения из сейсмических шумов малоамплитудных сигналов, их анализа и интерпретации.

Публикации, апробация результатов работы. Результаты диссертационного исследования хорошо известны в сообществе геофизиков. Они докладывались на 29 международных и российских конференциях и симпозиумах. Основные результаты за период 2010-2025 гг. представлены в 90 публикациях, зарегистрированных в РИНЦ, из них 20 публикаций – в ведущих рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК и приравненных к ним, в том числе: 2 патента на изобретение; 3 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ; 15 журналов, из которых специальности 1.6.9 «Геофизика» по техническим наукам соответствуют 10 журналов («Геология и геофизика» – 4 статьи; «Вопросы инженерной сейсмологии» – 1 статья; «Доклады Академии Наук. Науки о Земле» – 2 статьи; «Seismological Research Letters» – 1 статья; «Российский сейсмологический журнал (2023 г.) – 2 статьи).

Автореферат диссертации в полном объеме отражает содержание диссертационной работы.

Замечания. Замечание редакционного характера. Ссылки на публикации в тексте диссертации и в разделе Литература имеют разный формат даже для одного журнала, что затрудняет ориентировку по публикациям в тексте. Например.

Ссылка 53 Формат – Название статьи. Автор. Российский сейсмологический журнал.

Ссылка 54 Формат – Автор. Название статьи Российский сейсмологический журнал.

Указанные замечания не влияют на общую высокую оценку диссертации, ее научную ценность и значимость.

Общее заключение по диссертационной работе

Диссертация А.В. Лисейкина по тематике исследований, научной новизне и полученным результатам соответствует паспорту научной специальности 1.6.9 – Геофизика, п. 16 «Методы обработки и интерпретации результатов измерений геофизических полей» и п. 18 «Использование геолого-геофизических данных для построения цифровых геологических, гидродинамических, геодинамических и иных моделей геологической среды и месторождений».

В диссертации А.В. Лисейкина на основании выполненных им исследований изложены новые решения, а именно: по данным мониторинга сейсмического шума

разработан и реализован эффективный алгоритм выделения малоамплитудных сейсмических сигналов, с использованием которых разработаны две методики дистанционного обнаружения разрушительных процессов при эксплуатации технических сооружений (ГЭС, ТЭЦ, АЭС и др.) и одна методика определения структуры земной коры на всю ее мощность. **Это научно-обоснованные новые методические, алгоритмические и программные решения, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны.**

Считаю, что диссертационная работа Лисейкина Алексея Владимировича «Обнаружение разрушительных процессов при эксплуатации технических сооружений и определение структуры земной коры с использованием малоамплитудных сейсмических сигналов» является законченной научно-квалификационной работой, выполненной автором самостоятельно на высоком научном уровне. Она удовлетворяет критериям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (с учетом изменений и дополнений), а также требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор **Лисейкин Алексей Владимирович заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 1.6.9 – Геофизика.**

Официальный оппонент:

доктор технических наук

заведующий лабораторией геофизической информатики, главный научный сотрудник
ФГБУН Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского
отделения РАН (ИВМиМГ СО РАН)

Ковалевский Валерий Викторович,

Валерий Ковалевский
руководит

1 декабря 2025 г.

Валерий Ковалевский
по подписи



Л. В. В. В. В. В.

Контактные данные

Телефон: +7 913 919 0965

Адрес места работы: 630090, Российская Федерация, г. Новосибирск, Проспект
академика Лаврентьева, д.6

E-mail: kovalevsky@sscc.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:
05.13.18 - Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

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

1 декабря 2025г. 