

О Т З Ы В

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 диссертации

Актуальность темы диссертации не вызывает сомнений. Она определяется необходимостью выполнения исследований в целях обеспечения безопасного функционирования промышленных объектов (гидроагрегатов ГЭС, контроля состояния отвалов в районах горно-добывающих предприятий и др.), зданиях и инженерных сооружениях способом дистанционного обнаружения разрушительных процессов, возникающих при их эксплуатации. Вторым актуальным направлением темы диссертации является определение структуры земной коры на всю мощность по малоамплитудным сейсмическим сигналам, зарегистрированным в составе сейсмического шума, с использованием многолетних данных, накопленных и хранящихся в архивах.

Общая характеристика диссертации

Цель диссертационного исследования определена как развитие сейсмологии в части использования малоамплитудных сейсмических сигналов, входящих в состав сейсмического шума, для дистанционного обнаружения разрушительных процессов при эксплуатации технических сооружений (напр., ГЭС, АЭС, ТЭЦ), работающего оборудования (гидроагрегатов, турбин и др.), а также для уточнения структуры земной коры на всю мощность.

Научная проблема диссертационного исследования определена автором как поиск и реализация новых научно-обоснованных решений для дистанционного обнаружения начавшихся разрушительных процессов при эксплуатации технических сооружений и работающих агрегатов, а также для уточнения структуры земной коры на всю мощность с использованием малоамплитудных сигналов, регистрируемых в сейсмическом шуме.

Материал диссертации изложен по главам, в каждой из которых обсуждаются и анализируются результаты, как самого автора, так и его коллег по аналогичной тематике, в конечном счете, подтверждающие правильность сформулированных научных защищаемых положений.

Диссертация состоит из введения, четырех содержательных глав, заключения и библиографического списка из 146 наименований. Она изложена на 253 страницах, содержит 108 рисунков и 4 таблицы. В ее структуре нет специальной главы с обзором публикаций по всем тематическим направлениям диссертации, но такие обзорные

разделы есть в каждой содержательной главе и в них анализируются работы предшественников по конкретному направлению.

Введение. (с. 5-20).

Следуя традиции, во Введении автор излагает свои представления об актуальности темы диссертационной работы, формулирует понятия объекта и предмета исследования, анализирует степень разработанности темы исследования, его цель, определяет научную проблему, подлежащую решению, и конкретные научные задачи, которые решались в ходе исследования, методы исследования и фактический материал. Сформулированы четыре научных защищаемых положения, отражающих основные результаты диссертационной работы. Отмечена научная новизна и практическая значимость полученных результатов. Описан личный вклад автора в постановку задач и получение результатов. Что немаловажно, особенно для диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук, во Введении представлен раздел, посвященный практической реализации результатов работы, в котором перечислены объекты и направления использования наработок автора.

Глава 1. (с. 21-64).

Выделение малоамплитудных сигналов в сейсмическом шуме на основе гармонического анализа

§1.1 посвящен аналитическому обзору современных зарубежных и отечественных разработок, анализу их достоинств и недостатков.

Автор справедливо отмечает, что не существует известных аналогов программного обеспечения, сочетающих в себе одновременно все необходимые алгоритмы для работы с цифровыми сейсмограммами и выделения малоамплитудных сигналов в сейсмическом шуме. Это и послужило основанием для разработки такого программного обеспечения.

§1.2 посвящен описанию разработки алгоритмов обработки сейсмограмм и создания на их основе комбинированного алгоритма и соответствующего программного обеспечения. В нем автор последовательно описывает постановку задачи, анализируя современную практику, сложившуюся при обработке сейсмограмм, формулируя критерии выбора тех или иных параметров обработки, всякий раз обосновывая свой выбор, исходя из тех задач, которые стоят перед исследователем. При этом чувствуется опыт автора, накопленный в процессе своей профессиональной деятельности, связанной с обработкой сейсмограмм. Далее идет детальное описание его программной реализации с демонстрацией необходимых для понимания графических материалов и проверки разработанных алгоритмов на различных синтетических и реальных примерах (сейсмограммах) выделения малоамплитудных сигналов. Верификация разработки выполняется по отдельности для каждой из компонент комбинированного алгоритма как тестированием на синтетических данных, так и сопоставлением с результатами обработки реальных данных с использованием стороннего программного обеспечения.

В §1.3 описан ряд примеров выделения слабых сигналов в спектрограммах сейсмического шума с определением их амплитудно-частотных характеристик.

Примеры описаны достаточно подробно, и это описание может служить в качестве Руководства пользователя.

Глава 1 завершается специальным разделом (§1.4), в котором приводятся основные результаты, описанные в главе, и подтверждающие, что защищаемое **научное положение № 1 «Комбинированный алгоритм обработки сейсмограмм на основе оконного преобразования Фурье с формированием спектрограмм с одной стороны, и расчета усредненных амплитудных спектров и временных рядов амплитуд монохромных сигналов в выделенных на спектрограмме интервалах, с другой, реализованный в программном обеспечении SpectrumSeism, позволяющий более эффективно, чем традиционно применяемые алгоритмы, выделять малоамплитудные сейсмические сигналы в сейсмическом шуме» доказано.** Комбинированный алгоритм и соответствующее программное обеспечение разработано и верифицировано. Реализованные в программном обеспечении удобные функции интерактивного изменения параметров расчета, визуализации спектрограмм и их масштабирования по осям частоты и времени позволяют обработчику оперативно выявлять в сейсмическом шуме малоамплитудные сигналы, оценивать влияние помех, что уменьшает вероятность ошибки и повышает качество спектрально-временного анализа.

Глава 1 и описанные в ней результаты являются базовыми для всего последующего диссертационного исследования, поскольку в нем используется разработанное автором программно-алгоритмическое обеспечение.

Глава 2. (с. 65-142).

Дистанционное обнаружение разрушительных процессов в работающем оборудовании крупных промышленных объектов

Техногенная катастрофа, произошедшая 17 августа 2009 г. на Саяно-Шушенской ГЭС заставила задуматься о разработке новых (в дополнение к известным) методов дистанционного контроля опасных процессов, возникающих при работе мощного оборудования, а также для определения причин нештатных ситуаций для их исключения при последующей эксплуатации.

В §2.1 дан краткий (всего 3-4 с.) обзор современных методик дистанционного контроля разрушительных процессов, отмечая для каждой преимущества и ограничения. Здесь следует заметить, что автор почти не упоминает зарубежных публикаций по этой теме.

§2.2 посвящен описанию этапов разработки методики дистанционного контроля разрушительных процессов на примере крупных ГЭС по данным мониторинга сейсмического шума в окрестности промышленного объекта. Именно содержащаяся в сейсмограммах техногенная составляющая сейсмического шума, вызванная промышленной деятельностью, например, работой мощного оборудования различных предприятий, является предметом настоящего исследования. Обсуждаются примеры работы гидроагрегатов различных ГЭС на различных режимах нагрузки, при их запуске и отключении, связи резонансных эффектов в спектрах сейсмического шума от гидроагрегатов с собственными колебаниями

плотин, или стоячих волн в волноводах гидроагрегатов и связи этих эффектов с конструкциями гидротурбин.

В §2.3 производится анализ источников возможных динамических воздействий (взрыв ВВ, землетрясение, гидроудар) на гидроагрегат № 2 Саяно-Шушенской ГЭС, которые могли бы вызвать его разрушение. И автор обоснованно приходит к выводу, что таких воздействий не было. Написан этот параграф интересно и читается как научный сейсмологический детектив.

§2.4 является итоговым. В нем приводится пошаговая методика дистанционного обнаружения разрушительных процессов в работающем оборудовании крупных промышленных объектов в связи с повышенной вибрацией и резонансным усилением колебаний окружающих конструкций и сооружений, разработанная автором. Это демонстрирует, что защищаемое **научное положение № 2** о том, что *«Разработана и реализована на примере расследования причин аварии на Саяно-Шушенской ГЭС методика дистанционного обнаружения начавшихся разрушительных процессов в работающем оборудовании крупных промышленных объектов по накопленным данным мониторинга сейсмического шума в их окрестности» убедительно доказано.*

Разработанная методика позволяет не только контролировать вибрацию оборудования крупных промышленных объектов, но и оценивать взаимодействие работающего оборудования с окружающими конструкциями с обнаружением представляющих опасность резонансных эффектов. Использование накопленных за много лет данных сейсмического мониторинга позволяет выполнять ретроспективный анализ с получением дополнительной информации необходимой для объективного расследования причин аварийных ситуаций на крупных промышленных предприятиях. Уже сейчас видна не только фундаментальная новизна предложенной методики, но и ее весьма существенная практическая значимость. Дальнейшая разработка этого направления может привести к созданию независимой (от собственника контролируемого объекта) службы сейсмического мониторинга и выявления нештатных ситуаций.

Глава 3. (с. 143-190).

Дистанционное определение аномалий в частотах собственных колебаний зданий и сооружений по малоамплитудным сигналам как индикатора начавшихся разрушений их конструкции и/или основания

В §3.1 (с. 143-148) представлен аналитический обзор известных решений по проблеме дистанционного контроля частот собственных колебаний зданий и сооружений по малоамплитудным сейсмическим сигналам, служащих индикаторами начинающихся процессов разрушения, показывая их сильные и слабые стороны. В нем автор также резонно затрагивает вопрос о факторах внешней среды, кумулятивно влияющих на значение частоты собственных колебаний объекта и о степени влияния каждого из них.

§3.2 посвящен разработке методики на примере оценки состояния плотины Саяно-Шушенской ГЭС. Автор детально разбирает и показывает, что для повышения

степени достоверности контроля технического состояния плотины по изменениям частот ее собственных колебаний необходимо учитывать влияние сезонных факторов (например, уровень воды в водохранилище) на значения частот. Однако, связь между частотой и уровнем воды неоднозначна. Изменение значений частот собственных колебаний плотины происходит не только в результате изменения уровня воды, но и от воздействия других факторов. Например, дополнительным фактором изменения значений частот собственных колебаний плотины Саяно-Шушенской ГЭС может быть замерзание воды в водохранилище, или промерзание/оттаивание бетона в теле самой плотины в зимнее/весеннее время, или масса намерзшего на плотине льда. Все эти факторы влияют на достоверность результатов контроля технического состояния плотины по частотам ее собственных колебаний и снижают ее в связи с неразработанностью способов выделения степени влияния каждого из факторов на изменение частот собственных колебаний. При этом отмечается, что при мониторинге частот собственных колебаний плотины Чиркейской ГЭС, находящейся в других климатических условиях (без замерзания воды и промерзания бетона в зимнее время) описанное дополнительное изменение частот не отмечается.

Из анализа имеющихся материалов автор приходит к выводу, что для наиболее точного определения частот собственных колебаний плотины Саяно-Шушенской ГЭС в разные годы необходимо использовать периоды мониторинга, при которых воздействие факторов внешней среды (прежде всего, температурных изменений) минимально.

Далее автор (§3.2.3) переходит к обсуждению эффектов изменения собственных колебаний плотины Саяно-Шушенской ГЭС, наблюдавшихся в течение длительного времени (2001-2021 гг.), и пытается найти причины этих изменений, не связаны ли они с процессом нарушения целостности конструкции плотины. Проанализировав ряд возможных причин и опубликованных результатов, автор приходит к выводу, что продолжительный и не замедляющийся рост частот собственных колебаний плотины является показателем изменения технического состояния плотины необратимого характера, которое необходимо контролировать, чтобы предупредить ее разрушение. С этим выводом можно согласиться.

В §3.3 анализирует эволюцию во времени собственных частот уже другого объекта - Елбашинского отвала Колыванского угольного разреза в Новосибирской области, и ищет причины, которые привели к образованию огромного оползня, сопровождавшегося мощным селевым потоком. В результате автор приходит к следующим выводам:

1. Прежде чем формировать отвал необходимо исследовать ландшафт предполагаемой площадки.
2. Неконтролируемое обводнение отвала явилось причиной потери устойчивости одного из его бортов и образованию оползня.
3. Сход оползня и возникновение селевого потока привели к увеличению устойчивости отвала, что проявилось в резком уменьшении амплитуд его собственных колебаний.

Автор в §3.3 проанализировал и возможные причины возникновения оползня и пришел к выводу, что внешнего силового воздействия в виде землетрясения, взрыва не было. Деформация отвала происходила под воздействием его обводнения по сценарию «последней капли». Поскольку сейсмического воздействия на отвал зарегистрировано не было, то, возможно, что собственные колебания отвала, его обводненность и спровоцировали оползень.

Побочным результатом, полученным автором в ходе анализа амплитуд собственных колебаний по спектрам записей сейсмического шума на сейсмостанциях сети, можно считать его использование при оценке направления (приближенно) на источник колебаний, т.е. возможность локализации источника.

И уже традиционно в итоговом §3.4 автор приводит пошаговую методику дистанционного определения по малоамплитудным сигналам изменений частот собственных колебаний зданий и сооружений (на примере плотин Саяно-Шушенской и Чиркейской ГЭС, а также Елбашинского отвала Колыванского угольного разреза), нацеленную на индикацию начавшегося разрушения их конструкции и/или основания, нарушения проектной целостности.

Автор подчеркивает, что предлагаемая методика малозатратна по сравнению с решениями, основанными на специальной регистрации колебаний непосредственно на объектах исследования. Она использует представительный материал, а именно накопленные многолетние данные мониторинга в виде непрерывных цифровых записей сейсмического шума, зарегистрированных сейсмостанциями как побочный продукт одновременно с записями колебаний от землетрясений.

На основании вышеизложенного считаю, что **научное защищаемое положение № 3** о «Методике дистанционного определения аномалий в частотах собственных колебаний зданий и сооружений по малоамплитудным сигналам как индикатора начавшихся разрушений их конструкции и/или основания по данным многолетнего мониторинга сейсмического шума» **следует считать доказанным.**

Глава 4. (с. 191-231).

Построение разрезов земной коры на всю мощность по малоамплитудным сигналам отраженных волн речной сейсморазведки методом ОГТ

В §4.1 последней, заключительной главы автор приводит аналитический обзор, в котором критически обсуждает достоинства и недостатки современных разработок своих коллег-предшественников в этом тематическом направлении, обосновывая и давая понять читателю причины, побудившие его направить свои усилия на построение разрезов земной коры на всю мощность по малоамплитудным сигналам отраженных волн речной сейсморазведки методом ОГТ.

Прежде всего, автор отмечает, что одним из рациональных путей построения разрезов средней и нижней частей земной коры, несомненно, является переобработка архивных материалов речной сейсморазведки методом общей глубинной точки с использованием сейсмограмм увеличенной длительности на примере рек Лена, Витим, Нижняя Тунгуска в Восточной Сибири.

В результате автор приходит к выводу, что подход, заимствованный из сейсморазведки на нефть и газ методом ОГТ в осадочных бассейнах, позволил получить принципиально новые, большой геологической значимости сведения об особенностях геометрической структуры литосферы. Исходя из этого, следует ожидать, что и при использовании сейсмограмм речной сейсморазведки методом ОГТ увеличенной длительности, с использованием маломощных, экологичных источников возбуждения упругих волн (пневмоисточники) можно построить сейсмические разрезы также для более глубоких частей земной коры.

В §4.2 излагается ход разработки методики для построения разрезов земной коры на всю мощность по материалам сейсморазведки на р. Лена. Для формирования сейсмограмм, аналогичных получаемым традиционными многоканальными сейсморазведочными станциями, А.В. Лисейкиным с соавторами разработано специальное программное обеспечение SSlicer. Назначение программы – монтаж сейсморазведочных сейсмограмм из непрерывных записей регистраторов «Байкал» (во внутреннем формате «Байкал-10») с использованием заданных таблично времен сейсмических воздействий и конфигурации системы наблюдения; сохранение результата в виде стандартной сейсморазведочной сейсмограммы в формате SEG-Y.

В §4.2.2 автор тщательно анализирует набор различных факторов, влияющих на качество получаемых разрезов. Здесь и чувствительность используемой сейсмической аппаратуры, достаточна ли она для регистрации слабых полезных сигналов на фоне сейсмического шума; кратность суммирования фрагментов сейсмограмм, показывая ее оптимальную величину; влияние величины средней скорости $V_{огт}$ (используемой для расчета кинематических поправок на временах 13-14 с), влияние ветровых условий на регистрацию и др.

В §4.3 описана процедура построение разреза земной коры с использованием архивных материалов речного (2019 г.) сейсморазведочного профилирования по р. Витим. Показано, что результаты обработки речных материалов с акцентом на глубинный интервал сейсмической записи после увязки с имеющимися данными по северному наземному фрагменту опорного геолого-геофизического профиля 1-СБ-Восточный имеют хорошую сходимость волновых полей во всем временном интервале. Таким образом, данные обработки результатов речной сейсморазведки органично дополняют результаты классической, наземной, демонстрируя существование достаточно четкой границы Мохо на всем протяжении речного профиля.

Как и в предыдущих главах, §4.4 подводит итоги Главы 4, описывая детально, по шагам последовательность действий при построении разрезов земной коры на всю мощность по выделенным из сейсмического шума малоамплитудных сигналов отраженных волн на увеличенных временах вступлений (на примере данных профилирования методом ОГТ на реках Лена и Витим в 2018-2019 гг.). Это, в свою очередь, является **доказательством защищаемого научного положения № 4** о *«Методике построения разрезов земной коры на всю мощность по выделенным в*

сейсмическом шуме малоамплитудным отраженным волнам на увеличенных временах вступлений в материалах речного профилирования методом ОГТ.»

Заключение. (с. 232-234).

И, наконец, Заключение. В нем подводятся итоги всей работы. Отмечается, что автором разработан эффективный алгоритм выделения малоамплитудных сейсмических сигналов на фоне сейсмического шума и выполнена его программная реализация, нашедшая отражение в полученных Свидетельствах о государственной регистрации программ для ЭВМ. С использованием этих программно-алгоритмических решений разработаны и опробованы две методики дистанционного обнаружения разрушительных процессов при эксплуатации технических сооружений (ГЭС, ТЭЦ, АЭС и др.) и методика определения структуры земной коры на всю ее мощность. Разработанные методики имеют важное практическое и экономическое значение.

В Заключении отмечаются преимущества разработанных методик по сравнению с известными. Автор предлагает в будущем привлекать технологии искусственного интеллекта для обработки и анализа колоссального объема данных сейсмического мониторинга, накопленных за последние годы. Кроме того, в связи со значительным сокращением в последние годы финансирования дорогостоящих методов определения глубинной структуры земной коры, необходимо и дальше развивать разработанные подходы по их использованию для уточнения глубинного строения выделенных в сейсмическом шуме малоамплитудных отраженных волн.

Все главы диссертации читаются с интересом. Каждая глава посвящена рассмотрению и приведению доказательств по одному из защищаемых научных положений. В методологическом отношении настоящее исследование построено логично и непротиворечиво. Считаю, что все **четыре научных положения**, вынесенных на защиту, **доказаны**. Концептуальных неточностей при знакомстве с диссертацией мною не обнаружено.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность научных положений и выводов базируется на огромном массиве записей сейсмического шума в окрестностях рассматриваемых объектов, полученных за длительные промежутки времени. Методические разработки, сформулированные в виде защищаемых научных положений, предлагаются после тщательной проверки на имеющемся в распоряжении автора экспериментальном материале в виде записей сейсмического шума. Автор не просто «из ничего» дает методические рекомендации, а сначала приводит и анализирует экспериментальные данные и только по результатам этого анализа дает рекомендации. На этом основании считаю обоснованными приводимые автором научные положения, выводы и рекомендации.

Достоверность полученных научных результатов обеспечивается корректным использованием апробированных на практике классических и современных

алгоритмов цифровой обработки сейсмограмм, основанных на методах Фурье-анализа и ОГТ.

Результаты диссертационного исследования широко известны научному сообществу. Они апробированы на международных и всероссийских научных конференциях, симпозиумах, семинарах и школах состоявшихся в 2011-2025 гг. По теме диссертации опубликовано 15 статей в ведущих рецензируемых научных изданиях из списка ВАК, получены 2 патента на изобретение и 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Научная новизна, теоретическая и практическая значимость

Автором в результате выполнения диссертационного исследования найдены новые оригинальные подходы для решения трех разных научных задач с использованием малоамплитудных сигналов, выделенных в сейсмическом шуме. По каждой научной задаче автором созданы методики, пошаговое исполнение которых приводит ожидаемому результату.

Первая методика базируется на использовании накопленных данных многолетнего мониторинга на сейсмостанциях, расположенных в окрестности крупных промышленных объектов, и позволяет дистанционно выявлять факторы, указывающие на начавшиеся разрушительные процессы в работающем оборудовании в связи с повышенной вибрацией и резонансными эффектами (*защищаемое научное положение № 2*).

Вторая методика по локальным максимумам усредненных амплитудных Фурье-спектров записей сейсмического шума в окрестности зданий и/или сооружений дистанционно определяют частоты их собственных колебаний, аномалии которых служат индикаторами начавшихся разрушений в сооружении и/или его основании (*защищаемое научное положение № 3*).

Третья методика состоит в использовании для построения разреза земной коры на всю мощность малоамплитудных отраженных волн, зарегистрированных при речной сейморазведке методом ОГТ и выделенных в сейсмическом шуме при существенном увеличении кратности за счет увеличения размеров площадок осреднения (*защищаемое научное положение № 4*).

Следует отметить, что разработанный автором «Комбинированный алгоритм обработки сейсмограмм на основе оконного преобразования Фурье с формированием спектрограмм с одной стороны, и расчета усредненных амплитудных спектров и временных рядов амплитуд монохромных сигналов в выделенных на спектрограмме интервалах, с другой, реализованный в программном обеспечении SpectrumSeism, позволяющий более эффективно, чем традиционно применяемые алгоритмы, выделять малоамплитудные сейсмические сигналы в сейсмическом шуме» (*защищаемое научное положение № 1*), используется в каждой из перечисленных выше методик.

Практическая значимость результатов работы просматривается, прежде всего, уже в том, что созданные алгоритмы и комплексы программ для обработки и анализа

сейсмических записей уже реально используются в практике проведения аналогичных работ, как самим автором, так и его коллегами. Это же утверждение можно отнести и к методическим разработкам автора. Их внедрение вносит значительный вклад в развитие сейсмологии при снижении финансовых затрат на проведение исследований, а значит выгодно для экономики страны.

Методические разработки, результаты исследований и программное обеспечение используются в учебных курсах Сибирского федерального университета и Новосибирского государственного университета, в научно-производственных работах филиалов ФИЦ ЕГС РАН и Центра геофизического мониторинга НАН Республики Беларусь.

Замечания по диссертационной работе

В процессе знакомства с текстом диссертации у оппонента возник ряд замечаний, в основном редакционного характера. Начнем с замечаний общего характера.

1). Замечание, относящееся ко всему тексту и списку литературы. По моему мнению ссылки в тексте диссертации повсеместно даны некорректно, не так, как обычно принято в научной литературе. В тексте диссертации ссылки даны по авторам и году публикации работы, а в списке литературы все цитируемые источники упорядочены по алфавиту, но по названиям самих работ. Это вызывает затруднение при идентификации работы с соответствующей ссылкой. Очень часто ссылки даны по названиям статей, хотя у них есть авторы, что тоже вызывает неудобство. По-видимому, это связано с тем обстоятельством, что автор много участвует в написании научно-технических отчетов, где, видимо, принята такая система ссылок.

2). Нередко в тексте содержательных глав, разделов автор допускает повторения из других разделов. С одной стороны, повторение – мать учения, а с другой – это утяжеляет текст.

Теперь остановимся на замечаниях редакционного характера.

1). **§2.2, с. 70, вверху.** Автор пишет: *«Сеть предназначена для постоянной регистрации землетрясений, ее работа продолжается непрерывно, а практическая значимость в контексте настоящего исследования состоит в разработке новых и совершенствовании известных методов, способов и методик для контроля разрушительных процессов при эксплуатации промышленных объектов»*. Эта фраза непонятна, поскольку §2.2 диссертационной работы именно и посвящен разработке методики дистанционного контроля разрушительных процессов.

2). **§2.3, с. 92, рис. 2.12, нижний график.** Если гидроагрегат № 2 был разрушен и установленная на нем контрольно-измерительная аппаратура была утеряна, то как, по каким данным был построен этот график?

3). **§2.3.2, с. 122, вверху.** Автор пишет: *«Таким образом, установлено, что в районе расположения Саяно-Шушенской ГЭС неоднократно регистрировались землетрясения различной интенсивности, в том числе намного большей, чем интенсивность землетрясения, зарегистрированного (первые вступления) за 20 с до*

аварии. Как известно, эти землетрясения не причиняли вреда гидроэлектростанции, их интенсивность 1 балл. Следовательно, и землетрясение, зарегистрированное за 20 с до аварии, не могло оказать разрушительного действия на работающее оборудование Саяно-Шушенской ГЭС.» Мнение автора вполне правомерное, с ним можно согласиться. Однако не мог ли здесь сработать эффект «накопленной усталости»? Ведь землетрясения происходили неоднократно и, возможно, повреждения от них накопились в конструкциях. Землетрясение 17.08.2009 вполне могло стать «последней каплей».

4). С. 128, внизу. Автор дает указание на раздел 2.4.1. Такого раздела 2.4.1 в главе 2 нет.

5). С. 197, 205. Автор нумерует разделы как 3.2, 3.2.1, 3.2.2. Это явные опечатки. Должно быть 4.2, 4.2.1., 4.2.2 соответственно.

6). §4.2.2, с. 206-207 и другие последующие. Автор использует непонятные термины «бин», «бинирование». Они использованы не менее 6 раз. Понятно, что это калька с английского термина «bin», имеющего в зависимости от контекста, различные значения в русском языке. Поскольку в данном случае контекст связан с обработкой данных, с математикой, то, по-видимому, термин «bin» используется для обозначения интервала или категории, в которую попадают значения данных при группировании (например, при построении гистограммы). Однако, даже такая интерпретация не дает однозначного ответа на вопрос: что же понимается под термином «бин»?

7). §4.3, с. 217-218, табл. 4.2. Табл. 4.2 разделена на 2 страницы, хотя могла бы уместиться на одной, например, с. 218. Такой перенос таблицы не соответствует ГОСТу.

Повторю, что отмеченные замечания носят в основном редакционный характер и не меняют суть научных положений, вынесенных автором на защиту, выводов и рекомендаций.

Заключение

Считаю, что диссертация А.В. Лисейкина является завершенной научно-квалификационной работой. Она выполнена на высоком техническом и методологическом уровне, обладает внутренним единством и логикой, имеет четкую практическую направленность. В ней автором изложены новые **научно обоснованные решения, совокупность которых представляет собой инструментарий для дистанционного обнаружения начавшихся разрушительных процессов при эксплуатации технических сооружений и уточнения структуры земной коры на всю мощность с использованием малоамплитудных сигналов, выделенных в сейсмическом шуме.** Таким образом, она соответствует критериям, которым должны отвечать диссертации на соискание ученой степени доктора наук.

Диссертация соответствует паспорту специальности 1.6.9 - геофизика по техническим наукам: 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».

Несмотря на высказанные замечания оппонента, научная новизна и защищаемые результаты данной диссертационной работы, ее практическая значимость и достоверность приведенных данных не вызывают сомнений. Работа А.В. Лисейкина является значительным научным вкладом в развитие методов спектрального анализа сейсмических записей для решения не только научных, но и практических задач мониторинга процессов разрушения работающих агрегатов, а также эксплуатируемых объектов инженерной инфраструктуры предприятий. Автореферат отражает содержание диссертации.

Представленная к рассмотрению диссертационная работа «Обнаружение разрушительных процессов при эксплуатации технических сооружений и определение структуры земной коры с использованием малоамплитудных сейсмических сигналов» соответствует критериям п. 9 Положения о присуждения учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор Алексей Владимирович Лисейкин заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 1.6.9 - геофизика.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук,
главный научный сотрудник, заведующий лабораторией Института физики Земли им.
О.Ю. Шмидта РАН
ЗАВЬЯЛОВ Алексей Дмитриевич



Контактные данные:

тел.: +7 (909) 921-2916, e-mail: zavyalov@ifz.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:
25.00.10 - геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Адрес места работы:

123242, Москва, ул. Большая Грузинская, 10, стр. 1 Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН

Тел.: +7 (499) 766-2656; e-mail: direction@ifz.ru

Я, Завьялов Алексей Дмитриевич, автор отзыва, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

06 ноября 2025 г.