

ОТЗЫВ  
ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу **Орловой Ирины Петровны «Разработка технологии сейсмического мониторинга состояния транспортных сооружений в условиях Крайнего Севера и Сибири»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Диссертационная работа Орловой Ирины Петровны посвящена преимущественно задаче взаимодействия движущегося железнодорожного состава с земляным полотном и его основанием. Результаты работы относятся ко всем железным дорогам, а железные дороги работают на самых разных по физико-механическим свойствам грунтовых массивах, которые расположены в разных климатических зонах и подвергаются непрерывному воздействию разных геологических процессов, в том числе и опасных. На повестке дня стоит еще большее развитие сети железных дорог, в том числе на сложных грунтах развития многолетнемерзлых пород, в том числе планируется существенное повышение скорости движения поездов, что приведет к увеличению воздействия на насыпи и грунты со стороны подвижного состава.

Таким образом, представленная диссертация является весьма **актуальной работой**. В тексте диссертации детально описаны цели и задачи исследования, и доказательно изложена **научная новизна работы**, состоящая в том, что впервые, обоснованная теоретически, предлагается технология мониторинга с целью раннего выявления критического изменения свойств грунтов, когда стандартно и по регламенту анализируемые признаки критической ситуации еще не видны. Впервые экспериментально показана и подтверждена моделированием возможность мониторинга в поле упругих волн. Показана необходимость низкочастотных измерений и значимость этих данных для оценки динамической устойчивости грунтов. Получены аналитические решения, описывающие деформируемость насыпи и показано влияние нижнего этажа основания до глубин порядка 10 метров.

Весьма новым является обоснование использования движущегося состава в качестве источника сейсмических колебаний для диагностики насыпи и ее основания.

**Практическая значимость** работы, хорошо представлена в диссертации и состоит, прежде всего, в том, что предлагаемая технология мониторинга убедительно показана как информативная для выявления изменений в грунтах и может осуществляться без нарушения технологии использования железной дороги. Со стороны сейсмологии показаны атрибуты записи, наиболее связанные с характеристикой грунтов. Перспективным

элементом работы является выход на автоматизацию процесса обработки инструментальных результатов. Практически важным представляется пригодность технологии мониторинга к самым разным ситуациям и грунтовым условиям.

**Структура и объем диссертации.** Работа состоит из введения, четырех глав и заключения. Диссертация включает 124 страницы текста, 42 рисунка, 10 таблиц, список литературы насчитывает 112 наименований.

**Введение** традиционно посвящено обоснованию актуальности работы, формулировке цели и задач исследования, ее научной новизне. Сформулированы научные положения, выносимые автором на защиту. Во введении приведены данные об апробации работы и о публикациях. По теме диссертации опубликовано 9 работ, из которых 3 – в изданиях, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертационных исследований.

**В первой главе** автор приводит описание процессов как цели исследования и методов как инструмента исследований. Первый раздел учитывает специфику данной работы, которая затрагивает две области знаний – сейсмометрию и железнодорожную науку. Он посвящен пояснениям и основным понятиям железнодорожной специфики. Во втором разделе объясняется, что такое неблагоприятные грунтовые условия и опасные процессы. При этом важны количественные характеристики и их соотношение. На этом основании в следующем разделе этой главы автор описывает основные методы инструментального обследования состояния пути. На мой взгляд, этот раздел представляет отдельный интерес. Автор описывает традиционные подходы к диагностике, более новые методы, связанные с анализом геофизических полей, рассказывает о преимуществах и недостатках разных подходов по результату в данный момент времени, в статике. Очевидно, что временной ряд таких измерений даст представление об изменениях характеристик железнодорожного пути в целом во времени. Однако, далее автор переходит к динамическому подходу - функциональной диагностике земляного полотна, основанной на изучении колебаний грунта от движущего поезда - вибрационному методу, базирующемуся на исследовании взаимодействия упругих волн с грунтами земляного полотна.

В заключительном разделе первой главы приводится постановка задачи работы и описываются те нерешенные на сегодня проблемы, которые автор решает в своей работе. Далее следуют выводы. Следует отметить, что наличие выводов в конце каждой главы вообще украшает работу, позволяя проследить логическое построение от начала до заключения. В данном случае выводы логически следуют из материала главы.

**Во второй главе** в начале проводится обзор существующих представлений о взаимодействии элементов пути с элементами подвижного состава. Во втором

разделе после обзорных представлений показано, что пока оставлено без внимания исследование принципиальной проблемы воздействия низкочастотных волн (ниже 0.5 Гц) на грунты, тогда как от реакции земляного полотна на низкочастотные воздействия, создаваемые поездом, как раз и зависят его деформационные свойства. И это в условиях повышенного интереса к увеличению скорости движения подвижного состава. Далее рассматриваются существующие принципы математического моделирования и аналитических представлений процессов, описывающих изменения свойств грунтов при динамическом воздействии, а также модели, описывающие взаимодействие системы «рельс-колесо». Автор излагает существующие представления о деформационных процессах в грунтовых средах земляного полотна наиболее близкие к теме работы и отмечает, что в настоящий момент число существующих моделей постоянно растет, и с развитием компьютерных технологий сами модели становятся более сложными, учитывающими все больше характеристик, присущих слабым грунтам. Например, таким, как нелинейное поведение в поле упругих волн, внутреннюю перестройку грунтов под действием вибрационных нагрузок, разжижаемость на основе тиксотропии и т.д. А также описаны методы, применяемые для расчета деформаций грунта.

Во втором разделе главы намечен выбор инструмента и обсуждаются возможности конечноэлементных моделей на примере района исследования. Тщательный анализ результатов расчетов и натурных измерений позволил оценить область применимости расчетов и требования к модели. Все это позволило автору остановиться на модели пригодных для описания деформирования грунта по вертикали (задача Буссинеска) и модели для деформирования грунта по горизонтали (задача Эльзассера). В разделах 3 и 4 приведено подробное описание этих подходов. Что и сформулировано в выводах к главе 2.

### **Глава 3 Экспериментальные сейсмометрические исследования земляного полотна.**

Как и следует в описании экспериментальной работы, здесь полно, достаточно подробно и с соблюдением всех общеизвестных требований к описанию экспериментальной работы представлены место и условия эксперимента, инструментарий, обработка наблюдений и результаты, анализ которых приводит к созданию технологии мониторинга. Для места проведения эксперимента приведена достаточная инженерно-геологическая характеристика грунтовых условий и кратко – какие именно подвижные составы рассматривались в качестве источников колебаний. В части аппаратуры проведено сравнение разных регистраторов и собственно сенсоров. При этом предпочтение было отдано широкополосным велосиметрам. В итоге, был выбран датчик ТС-120s и был принят как основной при



анализе экспериментальных данных. Необходимо отметить, что этот датчик обеспечивает разброс амплитуд не более 1%.

Далее следует анализ полученных записей, описание разных стадий обработки и количественный анализ амплитуд колебаний и волновых форм.

Завершают главу вполне обоснованные выводы.

**Четвертая глава** «Основы технологии сейсмического мониторинга состояния грунтов основания пути с использованием движущихся поездов»

Приведенное в третьей главе феноменологическое описание позволило нацелиться на набор параметров записи, который рассмотрен в этой главе.

Целями анализа были одновременные наблюдения на «хорошем» и «плохом» участках насыпи и относительно долговременные наблюдения на некотором участке для оценки чувствительности атрибутов сейсмической записи к сезонным изменениям характеристик насыпи.

При этом, для сравнения реакции велосиметров в сравнения с результатами по поездам использовались записи ударов кувалдой, как дополнительного независимого источника просвечивания.

В арсенал анализа записей кроме статистического поведения всех характеристик автор включает анализ спектров мощностей колебаний по компонентам и в трех, ранее обоснованных, частотных диапазонах. Кроме того, анализируются отношения характеристик вертикальных и горизонтальных компонент, а также траектории движения частиц.

Все предложенные атрибуты сейсмической записи из результатов экспериментов сопоставлены с расчетами по двум ранее обоснованным моделям деформирования грунта по вертикали (задача Буссинеска) и модели для деформирования грунта по горизонтали (задача Эльзассера).

В итоге, обоснована применимость каждой из моделей в своем частотном диапазоне. Это касается сравнений результатов расчетов и результатов экспериментов. Например, разница в величинах модуля сдвига  $\mu$  принята как возможность сопоставления расчетных и экспериментальных величин хотя бы по порядку и отражает различие в деформационных свойствах вдоль и поперек полотна.

В заключительной части главы приведена схема разработанного мониторинга и методические рекомендации по его организации и использованию результатов.

Приведены предпосылки и рекомендации для автоматизации, по крайней мере, части всего процесса, а так же оценены возможности комплексирования сейсмического метода мониторинга с другими методами.

В **Заключении** по пунктам перечислено все, что является результатом этой интересной и важной работы.

При чтении работы возникают вопросы разного уровня. Вот некоторые из них.

1. Дискуссионным, на мой взгляд, является вопрос о требовании к точности регистрации амплитуд велосиметром в 1%. Чтобы выдвигать такое серьезное требование к прибору, надо обосновать точность связи между параметром сейсмической записи и изучаемой характеристикой грунта или сооружения.
2. При рассмотрении поведения атрибутов сейсмической записи сохраняется представление об идеально упругом теле Гука, хотя со стороны грунтового массива очевидным образом используются представления о нелинейных процессах.
3. Совершенно справедливо автор отмечает в обсуждении температурных колебаний грунтового массива «так как оттаивание и прогревания слоев происходит неравномерно по глубине в грунтах земляного полотна и, согласно моделям, каждый параметр сейсмической записи характеризует поведение разных частей разреза, интерпретировать временной ход всего набора данных одновременно пока оказывается затруднительно». Однако, это относится и к другим причинам, изменяющим «весь набор данных» грунтового массива.
4. Прочитанное утверждение об изменении модуля сдвига  $\mu$  на порядок при изменении температуры грунта на  $1^{\circ}$  очевидным образом недостаточно для подтверждения информативности и точности анализа только модуля сдвига. Здесь не рассматривается температурный диапазон, в котором происходит это изменение.

В целом, приведенные вопросы не влияют на общее положительное впечатление от диссертационной работы. Как и всякая серьезная и большая работа, да еще на экспериментальной основе, диссертация Орловой И.П. не свободна от недостатков, не является окончательным решением всех вопросов о диагностике грунтового массива в основании железнодорожного пути. Зато, эта работа открывает перспективу продолжения движения по этому пути. Чего оппонент искренне желает автору.

#### **Общая оценка работы.**

Диссертационная работа Орловой И.П. является актуальной, новой и имеет большое значение для развития технологии сейсмического мониторинга состояния транспортных сооружений, в том числе, в условиях Крайнего Севера и Сибири.

Научная новизна представлена в оригинальных разработках, включенных в тело диссертации, отраженных в списке трудов автора.

Работа отличается прекрасной проработкой материала, строгой логикой изложения и четким обоснованием как частных, так и обобщающих выводов.

Работа написана в целом понятным профессиональным языком, достаточно иллюстрирована и содержит необходимые ссылки.

Работа представляет собой законченное научное исследование, результаты которого могут послужить отправными точками дальнейшего развития теории и практики организации сейсмического мониторинга грунтовых массивов и сооружений железнодорожного пути.

Диссертационная работа **Орловой Ирины Петровны** на соискание ученой степени кандидата технических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разработаны методические приемы, совокупность которых можно квалифицировать как **научное достижение**, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности: 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Заведующий кафедрой сейсмометрии и геоакустики Геологического факультета Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, доктор физико-математических наук, профессор Владов Михаил Львович тел. (495) 939-33-42, E-mail: [vladov@geol.msu.ru](mailto:vladov@geol.msu.ru), [vladov\\_ml@mail.ru](mailto:vladov_ml@mail.ru)  
Адрес учреждения: 119234, Москва г., Ленинские Горы ул., 1, офис 523,  
Тел. (495) 939-29-70, E-mail: [dean@geol.msu.ru](mailto:dean@geol.msu.ru)  
Я, Владов Михаил Львович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

18 апреля 2022 года

М.Л. Владов

Подпись Владова М.Л. заверяю:

Декан Геологического факультета Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова,

Член-корр. РАН



Н.Н.Еремин.