

УТВЕРЖДАЮ:

первый проректор

Федерального государственного
бюджетного образовательного
учреждения высшего образования

«Ростовский государственный
университет путей сообщения»

(ФГБОУ ВО РГУПС)

к.фил.н. М.А. Кравченко



» 11 2025 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования

«Ростовский государственный университет путей сообщения»

на диссертацию Шестопалова Валерия Леонидовича на тему:

«Исследование механических предвестников и модели «стартового»

землетрясения методами блочного элемента и спутниковой

геодинамики», представленную на соискание ученой степени

доктора физико-математических наук

по специальности 1.1.8. – Механика деформируемого твердого тела

1. Актуальность избранной темы

Крупное землетрясение на Камчатском полуострове в 2025 году и его тектоническое смещение, высокая степень сейсмической и геодинамической опасности Туапсинско-Сочинской, Анапа-Новороссийской, Керченско-Таманской зон Азово-Черноморского побережья Краснодарского края при учете их интенсивного хозяйственного освоения, которое сопровождается ростом плотности населения и концентрацией объектов критической инфраструктуры, включая олимпийские объекты, Крымский мост, портовые комплексы и магистральные трубопроводы являются подтверждением актуальности выбранной темы исследований. Актуальность комплексного изучения сейсмических факторов, разработки методов оценки рисков, направленных на снижение угроз для населения и инфраструктуры, и в результате, создание комплексной математической модели, описывающей и

предсказывающей деформационные процессы в слоистых гетерогенных средах имеет ключевое значение для научного обоснования мероприятий по управлению сейсмическими рисками.

2. Анализ содержания диссертации

Диссертация Шестопалова Валерия Леонидовича общим объемом 214 страниц, включая 92 рисунка и 18 таблиц, состоит из введения, восьми глав, заключения, списка сокращений, списка литературы из 235 источников.

Во введении дан хорошо структурированный обзор современного состояния изучаемой проблемы, дан анализ проблем и достижений в области теории прочности и разрушения, представлено обоснование актуальности темы, определены цель, задачи и новизна исследования.

В первой главе дана постановка краевой задачи о динамическом воздействии в режиме установившихся колебаний на литосферные плиты, моделируемые пластинами Кирхгофа, лежащих линейно на деформируемом основании. Ключевым результатом исследования стало теоретическое обоснование необходимости выхода за рамки классических методов, предложен метод блочного элемента для анализа напряженно-деформированного состояния блочных структур, моделирующих структуру литосферных плит. Адекватность представленного подхода была доказана при верификации результатов, полученных в рамках моделирования контактного взаимодействия литосферных плит, представляющих собой два деформируемых штампа. Далее, метод был применен для анализа зоны субдукции и создания модели скалярного взаимодействия пластин Кирхгофа, при использовании теории скрытых дефектов. Теоретические выводы, полученные с его помощью, нашли убедительное подтверждение в данных GPS-наблюдений в районе г. Сочи – идентичность динамики изменения напряжённости не только подтверждает адекватность модели, но и свидетельствует в пользу реализуемости механизма «стартового» землетрясения.

Во второй главе в рамках теории контактного взаимодействия деформируемого штампа, моделирующего литосферную плиту, в форме полосы со слоистым основанием, показано, что при колебаниях могут возникать дискретные резонансы, построено уравнение резонансных частот и

приводятся экспериментальные данные, свидетельствующие о возможности колебательных подвижек литосферных плит. В рамках предложенного подхода дано теоретическое обоснование нарастания сейсмической активности в сейсмоопасных регионах.

Третья глава посвящена экспериментальным методам получения данных о геодинамических движениях литосферных плит, необходимых для верификации предложенной математической модели. Подробно описаны методы и подходы при съеме данных сети спутниковых пунктов и обработка результатов на основании оригинальных программ, разработанных соискателем.

В *четвертой главе* впервые было доказано, что для геодинамических исследований российская система ГЛОНАСС не уступает по точности американской GPS.

В *пятой главе* на основании предложенного соискателем теоретического анализа напряжённо-деформированного состояния слоистой среды в рамках блочного элемента и предложенного математического метода, и алгоритма расчета интегрального критерия — ключевого прогностического признака «стартового» землетрясения проведен анализ и дана оценка геодинамической активности сейсмоопасных зон Азово-Черноморского побережья.

В *шестой главе* доказывается высокая эффективность GPS-сетей в сравнении с технологией ГГД-поля для оценки сейсмической активности.

В *седьмой главе* на основе предложенной теоретической модели были выявлены «стартовые» землетрясения у восточного побережья Крыма при использовании данных GPS-пункта в Крыму и сведений о гипоцентрах. В период усиления геодинамической активности всего Черноморского региона на фоне февральских (2023 г.) землетрясений в Турции было выделено одно такое событие, связанное с процессами субдукции. Регистрация и изучение «стартовых» землетрясений крайне важны для прогнозирования, поскольку они свидетельствуют о вступлении сейсмического режима в нестабильную стадию, что в свою очередь, диктует необходимость усиленного мониторинга зон субдукции вблизи Крыма и российского побережья Чёрного моря.

В *восьмой* главе рассмотрена модель литосферной плиты в виде бесконечной длинной пластины, к краям которой приложены горизонтальные силы. Показано, что при определенных критических значениях силы плита теряет устойчивость и принимает синусоидальную форму. Модель была использована для исследования сейсмической активности на территории Таманского полуострова.

В *заключении* приведены выводы, отражающие результаты проведенных исследований. Положения научной новизны полностью раскрыты, цели и задачи исследования поставлены корректно, находятся в логическом единстве. Выводы и рекомендации, как результаты исследования, являются новыми, обладают внутренней связностью, согласуются с результатами исследований других отечественных и зарубежных учёных.

В целом, диссертация по целям, задачам и содержанию соответствует требованиям паспорта специальности 1.1.8. – Механика деформируемого твердого тела по направлению исследований п.1 «Законы деформирования, повреждения и разрушения материалов, в том числе природных, искусственных и вновь создаваемых». Отдельные применяемые методы и результаты, полученные в диссертации, соответствуют направлениям исследований п.2 «Теория определяющих соотношений деформируемых тел с простой и сложной структурой» и п.11 «Математическое моделирование поведения дискретных и континуальных деформируемых сред при механических, тепловых, электромагнитных, химических, гравитационных, радиационных и прочих воздействиях».

3. Научная новизна результатов диссертации состоит в разработке и теоретическом обосновании принципиально нового математико-геодинамического подхода к прогнозированию сейсмической опасности. Также, научная ценность работы заключается в успешном использовании методов разнородных математических дисциплин — топологической алгебры, спектрального анализа и многомерной статистики, что позволяет в рамках единого алгоритма, обнаружить предвестники «стартового» землетрясения. Это формирует новую теоретическую основу для создания

систем раннего предупреждения, основанных на глубоком физико-математическом моделировании геодинамических процессов.

4. Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается строгим математическим аппаратом механики сплошных сред, а именно: теорией контактных задач, методом блочного элемента, методом факторизации, а результаты теоретических исследований были подтверждены данными геодинамической активности сейсмоопасных регионов.

5. Практическая ценность результатов диссертации заключается в создании научного фундамента и непосредственной реализации высокоэффективной системы мониторинга опасных геодинамических процессов в ключевых сейсмоактивных районах Азово-Черноморского побережья. Регистрация и изучение «стартовых» землетрясений крайне важны для прогнозирования, поскольку они свидетельствуют о вступлении сейсмического режима в нестабильную стадию, что диктует необходимость усиленного мониторинга зон субдукции вблизи Крыма и российского побережья Чёрного моря.

6. Значимость полученных результатов для развития соответствующей отрасли науки состоит в возможности теоретического обоснования критериев стартового землетрясения при использовании методов топологической алгебры, методов блочного элемента, спектрального анализа и многомерной статистики, на основании чего осуществлять мониторинг динамических процессов литосферных плит.

7. Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации

На основании проведенного комплекса исследований убедительно показана возможность использования метода блочного элемента в граничных задачах для областей с бесконечно удаленными границами; с учетом строгости постановок граничных задач и точного метода решения – метода блочного элемента. Представленные в данной диссертационной работе, модели можно рекомендовать для выявления свойств решений граничных задач, содержащих решения, с неограниченными множествами, что до сих пор было не доступно для анализа численными методами. На основании

анализа экспериментальных данных в рамках предложенной теоретической модели можно сформулировать следующие положения:

1. Заблаговременное предупреждение – математическая модель может выявлять аномалии в деформациях, которые предшествуют крупным событиям за месяцы и годы, что даст критически важное время для подготовки;
2. Переход от качественных к количественным прогнозам – создание карт с расчетными значениями напряжений и вероятностями сейсмически опасных событий;
3. Сокращение "слепых зон", поскольку традиционные методы могут пропускать зоны накопления напряжений в межблоковых зонах;
4. Экономия ресурсов, в связи с более точным определением зон реального риска, что позволит избежать ненужных затрат и направить ресурсы в сейсмически опасные места.

8. Публикации автора

Результаты диссертационной работы изложены в 68 научных публикациях, из них 33 – в ведущих рецензируемых научных изданиях, входящих в Перечень ВАК Минобрнауки России для опубликования основных научных результатов диссертаций; 7 статей в изданиях, индексируемых в библиографических и реферативных базах данных Web of Science и Scopus. Таким образом, материалы диссертации в полном объеме изложены в работах, опубликованных соискателем ученой степени, имеются ссылки на авторов и источники заимствования материалов.

Автореферат составлен в соответствии с установленными требованиями и полностью отражает содержание диссертации.

9. Замечания по работе

1. Постановка задачи на странице 26 для деформируемого основания с линейно лежащими на нем двумя пластинами Кирхгофа рассматривается без учета сил трения. Можно ли в рамках такой постановки рассмотреть контакт пластин с деформируемым основанием, контакт торцов пластин при наличии трения?

2. Представляет интерес влияние толщины пластин Кирхгофа на сингулярные составляющие контактных напряжений для задач, представленных в главе 1, 2.

3. В работе заявлено о практической значимости результатов, однако представлено недостаточно документальных доказательств этого (акты внедрения, отчеты о применении, протоколы испытаний).

4. Отмеченный в работе эффект синусоидального подъёма земной поверхности показан только для западного района расположения сети GPS-пунктов. Представляет интерес рассмотреть указанный эффект в районе Большого Сочи где установлены 4 пункта GPS/ГЛОНАСС.

5. Не приводятся данные эффективности технологий GPS-измерений и гидрогеодеформационного поля в зарубежных исследованиях.

Однако сделанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

10. Заключение

Диссертация Шестопалова Валерия Леонидовича на тему: «Исследование механических предвестников и модели «стартового» землетрясения методами блочного элемента и спутниковой геодинамики», является самостоятельной, завершённой научно-исследовательской работой на актуальную тему. В работе представлены принципиально новые научно обоснованные решения задач в области механики деформируемого твёрдого тела, с жизненно важным практическим приложением теоретических результатов, имеющих прямое отношение к защите населения в сейсмоопасных регионах РФ.

Научные положения, сформулированные в диссертационной работе обоснованы и не вызывают сомнений. Содержание диссертации, научная новизна и сформулированные выводы дают основание полагать, что цель исследования достигнута, а поставленные в работе задачи успешно решены.

Диссертационная работа Шестопалова Валерия Леонидовича на тему: «Исследование механических предвестников и модели «стартового» землетрясения методами блочного элемента и спутниковой геодинамики» и отзыв обсуждены и одобрены на расширенном заседании кафедры «Теоретическая механика» ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» 21.11.2025 г. протокол № 3.

Колесников Владимир Иванович

Беляк Ольга Александровна

Тел.: 8(863) 272-63-49, e-mail: up_del@rgups.ru, сайт организации: www.rgups.ru