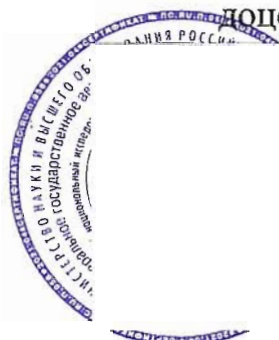


УТВЕРЖДАЮ

проректор по науке и инновациям  
ФГАОУ ВО «Пермский национальный  
исследовательский политехнический  
университет»,

доктор физико-математических наук,

доцент



\_\_\_\_ / Швейкин А.И.

2024 2024 г.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования**

**«Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет»**

**Министерства науки и высшего образования Российской Федерации**

Диссертация «Моделирование процессов разрушения деформируемых тел: принципы алгоритмизации и анализ закономерностей» выполнена на кафедре «Экспериментальная механика и конструкционное материаловедение» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

В период подготовки диссертации соискатель Феклистова Евгения Вячеславовна работала в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» в должностях лаборанта-исследователя, младшего научного сотрудника Центра экспериментальной механики.

В 2015 году окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» по направлению подготовки 150502.65 Материаловедение и технологии материалов, с присвоением квалификации «Бакалавр».

В 2017 году окончила ФГБОУ ВО ПНИПУ по направлению подготовки 22.04.01 Материаловедение и технологии материалов, с присвоением квалификации «магистр».

В 2021 году окончила аспирантуру очной формы обучения направлению подготовки 01.06.01. Математика и механика (период обучения 01.10.2017-30.06.2021).

прочности элементов, связанная с реализацией различных типов накопления повреждений (локализованный, смешанный, дисперсный);

— предложена новая методика оценки характера процесса разрушения, заключающаяся в анализе коэффициентов перегрузки, получаемых по результатам численного решения краевой задачи теории упругости при учете неоднородности распределения прочностных характеристик элементов;

— впервые обнаружено существование порогового значения коэффициента вариации статистического распределения пределов прочности структурных элементов, по достижении которого геометрия концентратора напряжений перестает влиять на процесс разрушения.

3. Степень достоверности результатов проведенных исследований подтверждена качественным соответствием полученных результатов моделирования процессов разрушения экспериментальным и теоретическим данным других авторов.

4. Теоретическая и практическая значимость работы заключается в возможности применения разработанных алгоритмов и программ при выполнении научно-исследовательских работ по моделированию процессов разрушения деформируемых тел.

5. Ценность научных работ соискателя и полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем

Основное содержание диссертационной работы достаточно полно отражено в 17 работах, из них – 4 статьи в рецензируемых журналах из списка ВАК, WoS и SCOPUS, 13 статей в сборниках трудов конференций и тезисов докладов. Получены 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ. В тексте диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах по теме диссертации, выполненных лично или в соавторстве.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Вильдеман В.Э., **Феклистова Е.В.**, Мугатаров А.И., Муллахметов М.Н., Кучуков А.М. Аспекты численного моделирования процессов разрушения упруго-хрупких тел // Вычислительная механика сплошных сред. – 2023. – Т. 16, № 4. – С. 420-429. DOI: 10.7242/1999-6691/2023.16.4.35 (**ВАК K1, Scopus Q4**) – 10 стр. / 4 стр.

*Соискателем разработан и реализован на языке программирования APDL алгоритм, позволяющий моделировать процесс разрушения упруго-хрупкого тела. Приведены результаты сравнения численных решений задачи деформирования полосы из упруго-хрупкого материала с краевым концентратором напряжений, полученных различными алгоритмами. Построены расчетные диаграммы нагружения, продемонстрирована реализация критической стадии на макроуровне. Проанализирована кинетика процесса разрушения при различной организации итерационной процедуры и разном количестве «разрушаемых» за итерацию элементов. Выявлено, что для более точного описания процесса деформирования и разрушения целесообразнее использовать автоматически подбираемую*

величину шага нагружения. Получено, что степень дискретизации расчетной области оказывает значительное влияние на результаты моделирования.

2. **Feklistova E.V.**, Mugatarov A.I., Wildemann V.E. Fracture processes numerical modeling of elastic-brittle bodies with statistically distributed subregions strength values // *Frattura ed Integrita Strutturale*. – 2024. – Vol. 68, P. 325-339 DOI: 10.3221/IGF-ESIS.68.22 (**Web of Science, Scopus Q2**) – 15 стр. / 6 стр.

*Представлены полученные соискателем результаты вычислительных экспериментов по моделированию процессов разрушения упруго-хрупких тел с учетом статистического распределения значений пределов прочности структурных элементов. Проанализированы закономерности процесса разрушения при отсутствии распределения предела прочности. Рассмотрение процесса разрушения позволило выявить дополнительную несущую способность. Исследовано влияние диапазона распределения предела прочности на величину максимальной нагрузки, форму кривой нагружения и процессы накопления повреждений. Исследовано влияние размера концентратора напряжений на процесс разрушения.*

3. **Feklistova E.V.**, Mugatarov A.I., Wildemann V.E. Numerical study of the influence of the parameters of statistical distribution of the structural elements' ultimate strength on deformable bodies' fracture processes // *Frattura ed Integrita Strutturale*. – 2024. – Vol. 70, P. 105-120; DOI: 10.3221/IGF-ESIS.70.06 (**Web of Science, Scopus Q2**) – 16 стр. / 7 стр.

*В работе приведены результаты проведенного соискателем исследования влияния параметров статистического распределения предела прочности элементов конструкций на процессы разрушения деформируемых тел с концентраторами напряжений. Изучены диаграммы нагружения, поведение на макроуровне и кинетика процесса накопления повреждений с использованием различных законов распределения вероятностей и коэффициентов вариаций. Выявлены основные типы процесса накопления повреждений. Предложен подход, основанный на анализе решений краевых задач теории упругости для прогнозирования кинетики процесса разрушения, введены соответствующие параметры.*

4. **Феклистова Е.В.**, Мугатаров А.И., Вильдеман В.Э. Численное исследование процессов разрушения деформируемых тел с концентраторами напряжений с учетом статистического распределения прочности структурных элементов // *Вестник ПНИПУ. Механика*. – 2024. – №4. (**Scopus Q3**) – 24 стр. / 10 стр.

*На примере решения типовой задачи изучено влияние геометрии концентратора напряжений и характерного размера конечного элемента на поведения тела на макроуровне, его несущую способность и кинетику процесса накопления повреждений. Выявлено, что увеличение размера концентратора напряжений приводит к снижению несущей способности тела, происходит качественное изменение вида зависимости максимальной нагрузки от коэффициента вариации значений пределов прочности с монотонно убывающей на немонотонную. Исследована кинетика процесса накопления повреждений. Отмечено, что рост среднеквадратического отклонения*

*распределения пределов прочности конечных элементов приводит к изменению типа накопления повреждений с локализованного на дисперсный. Установлено отсутствие влияния размера концентратора напряжений на кинетику процесса разрушения.*

Свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ:

5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2024665735. Численное моделирование процесса разрушения упруго-хрупкого тела. Правообладатель: ПНИПУ (RU). Заявка №2024665244. Дата гос. регистрации в Реестре программ для ЭВМ: 05 июля 2024 г. / **Феклистова Е.В.**, Вильдеман В.Э.

й Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №202463004. Модуль учета деформационной анизотропии при численном моделировании процесса разрушения упруго-хрупкого тела. Правообладатель: ПНИПУ (RU). Заявка №2024682562. Дата гос. регистрации в Реестре программ для ЭВМ: 02 октября 2024 г. / **Феклистова Е.В.**, Мугатаров А.И., Вильдеман В.Э.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2024683014. Программа вычисления параметров для прогнозирования типа накопления повреждений при разрушении упруго-хрупкого тела. Правообладатель: ПНИПУ (RU). Заявка № 2024682714. Дата гос. регистрации в Реестре программ для ЭВМ: 03 октября 2024 г. / **Феклистова Е.В.**, Мугатаров А.И., Вильдеман В.Э.

Содержание диссертационной работы отражено также в следующих статьях и материалах конференций:

8. **Feklistova E.V.**, Tretyakov, M.P., Wildemann, V.E. Studying the influence of numerical simulation parameters on the solutions of boundary value problems on the destruction of bodies with crack-like defects (Микмус 2019) IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 747(1), 012110. DOI: 10.1088/1757-899X/747/1/012110

9. **Feklistova, E.V.**, Tretyakov, M.P., Wildemann, V.E. Numerical implementation issues of the deformation and destruction process of bodies with stress concentrators (Матмоделирование 2020) AIP Conference Proceedings this link is disabled, 2021, 2371, 050002. DOI: 10.1063/5.0059553

10. **Феклистова Е.В.**, Вильдеман В. Э., Мугатаров А. И. Численное моделирование процессов деформирования и разрушения упруго-хрупких тел с концентраторами напряжений при учете статистического разброса значений прочности структурных элементов // XVIII Международная конференция «Механика, ресурс и диагностика материалов и конструкций», Екатеринбург, 27–31 мая 2024 г. Тезисы докладов. - Екатеринбург: ИМАШ УрО РАН, 2024. – С. 214.

11. **Феклистова Е.В.**, Вильдеман В.Э., Мугатаров А.И. Аспекты организации алгоритмов численного моделирования процессов разрушения упруго-хрупких тел // XIII Всероссийский съезд по теоретической и прикладной механике, Санкт-Петербург, 21–25 августа 2023 г. Тезисы докладов. - Санкт-Петербург: Политех-Пресс, 2023. – Т.3. – С. 727-729.

12. Агишев А.А., **Феклистова Е.В.**, Мугатаров А.И., Вильдеман В.Э. Моделирование процесса разрушения изотропного тела с использованием совокупности критериев // XXXI Всероссийская школа-конференция «Математическое моделирование в естественных науках», Пермь, 5 – 8 октября 2022 г. Тезисы докладов. – Пермь: ПНИПУ, 2022. – С. 3-5.

13. **Феклистова Е.В.**, Вильдеман В.Э. Численное исследование влияния нагружающей системы при разрушении пластин с концентраторами напряжений // XXXIII Международная инновационная конференция молодых ученых и студентов по проблемам машиноведения (МИКМУС - 2021), Тезисы докладов. – Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук, 2021. – С. 188-193.

14. **Феклистова Е.В.**, Вильдеман В.Э., Третьяков М.П. Вопросы численной реализации процесса деформирования и разрушения тел с концентраторами напряжений // Материалы XXIX Всероссийской школы-конференции «Математическое моделирование в естественных науках», 7 – 9 октября 2020 г., Пермь. – С.129.

15. **Феклистова Е.В.**, Вильдеман В.Э., Третьяков М.П. Изучение влияния параметров численного моделирования на решения краевых задач о разрушении тел с трещиноподобными дефектами // Материалы XXXI Международной инновационной конференции молодых ученых и студентов по проблемам машиноведения (МИКМУС - 2019), 04–06 декабря 2019 г. Москва. – С. 872-875.

16. **Феклистова Е.В.**, Вильдеман В.Э. Численное исследование формирования условий макроразрушения неоднородных пластин при случайном разбросе прочностных свойств структурных элементов // Материалы XII Всероссийского съезда по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики, 19–24 августа 2019 г. Уфа. – Т.3. – С. 819-820.

17. **Феклистова Е.В.**, Вильдеман В.Э. Численное моделирование процесса разрушения пластины с концентратором напряжений // Материалы XXV Всероссийской школы-конференции молодых учёных и студентов «Математическое моделирование в естественных науках», 2016г. – С. 401-403.

6. Соответствие содержания диссертации специальности, по которой она рекомендуется к защите

Представленная диссертационная работа соответствует специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Направление исследования работы соответствует пункту 2 «Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий», пункту 3 «Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента» и пункту 9 «Постановка и проведение численных экспериментов, статистический анализ их результатов, в том числе с применением современных компьютерных технологий».

7. Диссертационная работа Феклистовой Евгении Вячеславовны отвечает требованиям, установленным п. 14 Положения о присуждении ученых степеней.

В диссертации соискателем приведены ссылки на авторов и источники заимствованных материалов и отдельных результатов. Результаты диссертационной работы опубликованы в ведущих рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций, соответствующие ссылки присутствуют в тексте диссертации

**Диссертация «Моделирование процессов разрушения деформируемых тел: принципы алгоритмизации и анализ закономерностей» Феклистовой Евгении Вячеславовны рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.**

Заключение принято на расширенном заседании кафедры «Экспериментальная механика и конструкционное материаловедение» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Присутствовало на заседании 16 человек. Результаты голосования: «за» — 16 чел., «против» — 0 чел., «воздержалось» — 0 чел., протокол № 1 от «11» сентября 2024 г.

Заместитель заведующего кафедрой «Экспериментальная механика и конструкционное материаловедение» ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,  
канд. техн. наук

/А.В. Бабушкин/

Ученый секретарь кафедры «Экспериментальная механика и конструкционное материаловедение» ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»,  
канд. техн. наук

/О.А. Староверов/