

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.417.02,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «ТУЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ
СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 14 января 2025 года № 1

О присуждении **АФАНАСЬЕВОЙ Елене Андреевне**, гражданке Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Стохастические модели прогнозирования индивидуальных деформационных характеристик элементов конструкций с неупругими свойствами материала» по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ принята к защите 8 ноября 2024 г. (протокол заседания № 12) диссертационным советом 24.2.417.02, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тульский государственный университет» (300012, г. Тула, пр. Ленина, д. 92); приказ о создании диссертационного совета №422/нк от 12.08.2013 г.

Соискатель Афанасьева Елена Андреевна, 09 февраля 1997 года рождения. В 2020 году соискатель с отличием окончила очную магистратуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет» по направлению подготовки 01.04.02 «Прикладная математика и информатика». Окончила очную аспирантуру ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» в 2024 году. Работает младшим научным сотрудником кафедры «Прикладная математика и информатика» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» Минобрнауки России.

Диссертация выполнена на кафедре «Прикладная математика и информатика» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор **РАДЧЕНКО Владимир Павлович**, ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», кафедра «Прикладная математика и информатика», заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

МИНАЕВА Надежда Витальевна, доктор физико-математических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет», г. Воронеж, кафедра механики и компьютерного моделирования, профессор;

КЕЛЛЕР Илья Эрнстович, доктор физико-математических наук, доцент, «Институт механики сплошных сред Уральского отделения Российской академии наук» (ИМСС УрО РАН) – филиал ФГБУН Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН, г. Пермь, лаборатория нелинейной механики деформируемого твердого тела, заведующий лабораторией
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, – в своём положительном отзыве, подписанном доктором физико-математических наук, профессором кафедры информационных технологий и систем Акимовой Е.Н.; доктором физико-математических наук, профессором кафедры информационных технологий и систем Просвиряковым Е.Ю. и утвержденном Германенко А.В., проректором по науке, доктором физико-математических наук, доцентом, указала, что диссертация Афанасьевой Елены Андреевны является законченной научно-квалификационной работой, выполненной соискателем самостоятельно и на высоком научном уровне, содержит новые научные результаты и положения, выносимые на защиту, показывает личный вклад диссертанта в науку.

Соискатель заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Отзыв содержит следующие замечания:

1. Каким способом исследовалась сходимость численного метода, анонсированного во второй главе?
2. Как соотносятся математические модели автора с известными ранее результатами?
3. Хотелось бы пояснения по выбору сталей и сплавов для проведения исследований.

Соискатель имеет 15 опубликованных работ, все – по теме диссертации, в том числе 5 в рецензируемых научных изданиях, из них 4 в журналах, индексируемых в Web of Science и Scopus. Получены 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ, 8 публикаций в иных изданиях.

В работах, выполненных в соавторстве, вклад соискателя является определяющим при постановке задач, разработке математических моделей, построении решений, анализе результатов расчетов, формулировке выводов. Общий объём опубликованного материала по теме диссертации составляет 6.07 п.л., из них 3.5 п.л. – личный вклад автора.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации:

1. Радченко В.П., Афанасьева Е.А. Прогнозирование индивидуальных деформационных характеристик элементов конструкций по изделию-лидеру // Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки. – 2022. – Т. 26, №3. – С. 500–519. Авторский вклад 0.7 п.л.

2. Радченко В. П., Афанасьева Е. А., Саушкин М. Н. Прогнозирование высокотемпературной реологической деформации и длительной прочности вязкопластического материала по образцу- лидеру // Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки. – 2023. – Т. 27, №2. – С. 292–308. Авторский вклад 0.6 п.л.

3. Радченко В. П., Афанасьева Е. А., Саушкин М. Н. Прогнозирование ползучести и длительной прочности материала по образцу-лидеру в условиях вязкого механизма разрушения // Прикладная механика и техническая физика. – 2023. – Т. 64, № 6. – С. 199– 209; перевод: Radchenko V.P., Afanaseva E.A., Saushkin M.N. Using a leader sample to predict the creep and long-term strength of a material during ductile fracture // Journal of Applied Mechanics and Technical Physics. – 2023. – Vol. 64, No.6. – Pp. 1119–1127. Авторский вклад 0.35 п.л.

4. Радченко В.П., Зотеев В.Е., Афанасьева Е.А. Численный метод структурной и параметрической идентификации математической модели неполной обратимости деформации ползучести // Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки. – 2024. – Т. 28, №1. – С.73–95. Авторский вклад 0.7 п.л.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

На диссертацию и автореферат поступили положительные отзывы официальных оппонентов:

1) д.ф.-м.н., доц. **Минаевой Надежды Витальевны**, с замечаниями:

1. Соискателем разработаны разные методы идентификации параметров математической модели для случая первой и второй стадий (глава 2, пункт 2.1) и наличия лишь первой стадии (глава 2, пункт 2.2). Хотя на первый взгляд, вариант, рассмотренный в пункте 2.2, является частным случаем варианта пункта 2.1. Возникает вопрос, чем вызвана разработка двух численных методов и нельзя ли было это объединить в один метод?

2. В главе 3 при реализации метода прогнозирования индивидуальных деформационных характеристик и времени до разрушения по изделию-лидеру не приводятся доверительные интервалы, хотя во всех остальных примерах они имеются. Чем это вызвано и можно ли выполнить интервальную оценку в этом случае?

3. Как определяется значение k_I , начиная с которого экспоненциальные составляющие в (2.2) и (2.3) считаются полностью затухающими.

4. Анализировалось ли сколько нужно кривых стационарной ползучести при постоянных напряжениях для получения $2s+1$ параметра кривой ползучести? Влияет ли на данный подход объем рассматриваемой совокупности?

5. Учитывалась ли скорость нагружения, поскольку достигнуть нужного уровня напряжений можно с разной скоростью?

6. Условием адекватности построенной модели результатам эксперимента можно считать выполнение одного из неравенств (2.33) (аналогично (2.61), (2.62)). Если это не так, то следует переходить к следующему этапу численного метода - использования в модели последующих экспоненциальных составляющих. Почему проверка этих условий после нахождения третьей составляющей не проводится?

7. При построении кривой ползучести исследуемого образца используется зависимость времени от деформации и напряжения, в которую входит феноменологический параметр s , характеризующий связь истинного σ и номинального σ_0 напряжений, но не указаны научные источники или подходы для определения их значений при проведении исследований конкретных материалов?

8. При оформлении формул (1.10), (2.1) допущены технические неточности, которые вводят в заблуждение. Рассмотрение конкретных примеров проясняют этот вопрос.

2) д.ф.-м.н., доц. **Келлера Ильи Эрнстовича** с замечаниями:

1. В обзорную часть оказались не включенными идейно близкие работы А.В. Шутова и А.А. Кайгородцевой 2019-2023 гг., в частности, диссертация «Некоторые обратные задачи в теории упругопластического деформирования металлических материалов» последней, защищенной в 2023 г., в которых систематически исследовалось влияние разброса экспериментальных данных на идентификацию констант моделей циклической пластичности/ползучести сопутствующих вопросов.

2. Не вполне чётко описаны программы испытаний материалов, по которым определяются константы моделей (опущен этап нагружения, не сказано о времени выдержки после разгрузки, в течение которой регистрируется деформация).

3. Требуются пояснения относительно нулевой доли обратимых деформаций, определенных для сплава ЭИ437А в табл. 2.2. Из рис. 2.6 она неочевидна (возможно, на зависимости напряжений от времени упругая разгрузка, а возможно — нет, этого не видно).

4. Желательно обосновать использование стохастической линеаризации не только тем, что «стохастически нелинейные определяющие соотношения трудно использовать при решении соответствующих краевых задач», но и какими-то оценками результатов принятия такой гипотезы.

На автореферат диссертации поступило 9 отзывов. Все отзывы положительные, в них отмечается актуальность, научная новизна, практическая и теоретическая значимость работы. Отзывы поступили из:

1. Института машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИМиМ ДВО РАН) ФГБУН Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Комсомольск-на-Амуре, с замечаниями:

1) «... несупругое деформационное поведение..., с неупругими свойствами материала, и др.». По тексту автореферата рассматриваются только процессы

ползучести, то есть задающиеся преимущественно вязкоупругими свойствами материалов, не неупругими. Пластические, упругопластические процессы и материалы также не рассматриваются. Потому следовало бы не путать читателя, а заявить, что базовым процессом для прогнозирования длительной прочности является процесс ползучести;

2) «Глава 3. Методы индивидуального прогнозирования деформационных характеристик и разрушения элементов конструкций при ползучести и трении». Это название важнейшей для диссертации главы. Но про трение в автореферате не упоминается. Как оно вводится в модель, какова степень влияния трения на прогнозируемые параметры, включая разрушение. И при этом в «основных результатах и выводах» (стр. 14) снова встречаем «в условиях ползучести и износа при трении». Возможно эффекты, связанные с трением и износом, опущены только в автореферате из-за ограниченности его объема.

2. ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет», г. Ульяновск, с замечаниями:

1) в автореферате крайне неинформативно представлено описание программных комплексов;

2) на всех графиках, представленных в автореферате, построены доверительные интервалы для прогнозируемых характеристик, а на рис. 3 приведены лишь математические ожидания. С чем это связано?

3. ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, с замечаниями:

1) в автореферате практически не раскрыто разработанное программное обеспечение;

2) на рис. 4 в подрисуночной подписи следовало нанести маркеры для штриховых и сплошных линий.

4. Института космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, с. Паратунка, Елизовский район, Камчатский край, с замечанием:

в качестве замечания следует отметить некоторую сложность построения структуры текста. Например, первое предложение подпункта 3.1 состоит из 45 слов (включая союзы и предлоги), а первое предложение пункта 3.2 состоит уже из 59 слов. Некоторая часть рисунков в автореферате имеет мелкий шрифт в описании координатных осей, что также затрудняет понимание результатов моделирования.

5. Кузбасский гуманитарно-педагогический институт ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово, с замечанием:

недостаточно отражена разработка программного обеспечения. В частности, нет описания его функций и интерфейсов, а также отсутствуют сведения о регистрации разработанных автором программ для ЭВМ.

6. ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва, с замечаниями:

1) в качестве научной новизны диссертант отмечает, что разработанная стохастическая математическая модель, в отличие от существующих моделей, позволяет прогнозировать индивидуальные деформационные характеристики

элементов конструкций. Однако не уточняется, в качестве существующих моделей имеются в виду известные ранее стохастические модели или же детерминированные модели? И далее по тексту не ясно, обобщение каких из них проиллюстрировано в диссертационной работе?

2) в положениях, выносимых на защиту, в п. 2 отмечается, что наряду с параметрической идентификацией осуществляется структурная идентификация разработанной стохастической модели. Что здесь имеется в виду? Структура модели может меняться в зависимости от конкретной решаемой задачи?

3) проводились ли экспериментальные исследования в диссертационной работе или же использовались результаты известных экспериментов? Такой вопрос возникает при прочтении п. 4 положений, выносимых на защиту.

7. ФГБУН «Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича», г. Новосибирск, с замечаниями:

- 1) после формулы (2) не определена величина σ^i ;
- 2) в формулах (4) и (6) допущены опечатки;
- 3) на рис.2 слишком мелкие подписи по осям (их не видно);
- 4) из текста автореферата не ясно: было ли экспериментально обосновано то, что элементы вектора-столбца $\bar{\epsilon}$ в формуле (3) действительно имеют нормальное распределение?

8. ПАО «ОДК-Кузнецов», г. Самара, с замечаниями:

1) отсутствие информации о влиянии объёма экспериментальных данных на базовом этапе нагружения на результаты прогноза;

2) в автореферате не анализировалась возможность неединственного решения системы нелинейных уравнений, полученной во второй главе при минимизации среднеквадратичного отклонения модели от экспериментальных данных.

9. ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» (Самарский университет), г. Самара, с замечанием:

следовало бы описать конкретные результаты внедрения в ПАО «ОДК – Кузнецов», а также особенности и структуру разработанного, не имеющего аналогов программного обеспечения.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой компетентностью в рассматриваемой отрасли науки, наличием публикаций в соответствующей сфере исследований и способностью определить научную и практическую ценность диссертации. Согласия на оппонирование имеются.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– **разработана стохастическая математическая модель прогнозирования индивидуальных деформационных характеристик элементов конструкций с не-**

упругими свойствами материала, общность которой проиллюстрирована на примерах анализа кинетики деформационных характеристик для ряда конструктивных элементов в условиях ползучести и износа при трении.

- **предложены** и реализованы новые методы структурной и параметрической идентификации предложенных стохастических моделей;

- **доказана** перспективность использования предложенных методик прогнозирования индивидуальных деформационных и прочностных характеристик элементов конструкций в теоретических исследованиях и прикладных задачах авиадвигателестроения и энергетического машиностроения.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- **доказано**, что разработанные стохастические модели и новые методы прогнозирования индивидуальных деформационных характеристик и длительной прочности элементов конструкций с неупругими свойствами материала, использование которых в математической теории надежности позволяет научно-обоснованно оценивать индивидуальный ресурс конкретного конструктивного элемента;

- **применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих научной новизной результатов) использованы** положения теории вероятностей, математической статистики, регрессионного анализа, вычислительной математики, дифференциальных уравнений, механики деформируемого твёрдого тела и современных информационных технологий, разработанное программное обеспечение;

- **изложены** методики построения стохастических моделей индивидуального прогнозирования деформационных и прочностных характеристик элементов конструкций;

- **раскрыты** проблемы обобщения классических стохастических моделей, ориентированных на генеральную совокупность изделий, на модели для индивидуального прогнозирования деформационных и прочностных характеристик конструктивных элементов;

- **изучены условия**, влияющие на результативность прогнозируемых характеристик конкретного объекта при длительном нагружении;

- **проведена модернизация** методов параметрической идентификации диссипативных систем на основе временных рядов применительно к моделям индивидуального прогнозирования выходных деформационных параметров.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

- **разработаны и внедрены** методики прогнозирования деформационных характеристик элементов конструкций с неупругими свойствами материала в учебный процесс ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» и в расчётную практику профильных отделов ПАО «ОДК – Кузнецов» (г. Самара);

- **определены** перспективы практического использования теоретических результатов применительно к математической теории надёжности для оценки индивидуального остаточного ресурса конкретного конструктивного элемента;

- **созданы** новые программные продукты для реализации методов прогнозирования индивидуальных деформационных характеристик элементов конструкций с неупругими свойствами материала;

- **представлены рекомендации** по использованию полученных теоретических результатов и данных расчётов для оценки индивидуального остаточного ресурса, а также для оценки разрушения материалов и механических деталей в условиях ползучести.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- **теория** основана на известных базовых положениях регрессионного анализа, математической статистике, вычислительной математики, постулатах механики деформируемого твёрдого тела, согласуется с известными экспериментальными данными;

- **идея базируется** на анализе и обобщении методов построения математических стохастических моделей, анализе научных статей и базовых экспериментальных исследованиях отечественных и зарубежных ученых;

- **использованы** современные модифицированные методики обработки экспериментальных данных для задач идентификации параметров разработанных математических моделей, прогнозирования индивидуальных деформационных характеристик и сравнительного анализа с данными расчета по предложенным моделям;

- **установлено** качественное и количественное соответствие авторских результатов расчёта с экспериментальными данными и теоретическими данными в частных случаях из независимых источников.

Личный вклад соискателя состоит в разработке новых методов прогнозирования индивидуальных деформационных характеристик и длительной прочности элементов конструкций с неупругими свойствами материала; разработке алгоритмов и программного обеспечения; анализе и систематизации полученных результатов, формулировке основных научных положений и выводов; непосредственном участии в подготовке всех основных опубликованных работ по результатам диссертационной работы.

В ходе защиты диссертации были высказаны критические замечания. Соискатель Афанасьева Елена Андреевна ответила на задаваемые в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию.

На заседании 14 января 2025 года диссертационный совет принял решение: за решение новой научной задачи разработки методов прогнозирования индивидуальных деформационных характеристик и длительной прочности элементов конструкций с неупругими свойствами материала, имеющей существенное значение для развития методов математического моделирования, присудить АФАНАСЬЕВОЙ Елене Андреевне ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 5 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовал: за – 18, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

**Заместитель председателя
диссертационного совета**

**Ученый секретарь
диссертационного совета**

14 января 2025 года



**Толоконников
Лев Алексеевич**

**Соколова
Марина Юрьевна**