

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ОБЪЕДИНЕННОГО ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 99.2.039.02  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «САМАРСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» И ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУ-  
ДАРСТВЕННОГО АВТОНОМНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕ-  
ГО ОБРАЗОВАНИЯ «САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЁВА» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ  
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА  
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение объединенного диссертационного  
совета от 03.11.2023 г. протокол № 21

О присуждении Письмарову Андрею Викторовичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка методики прогнозирования предела выносливости упрочнённых резьбовых деталей» по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твёрдого тела принята к защите 06 июля 2023 г. (протокол заседания № 11) объединенным диссертационным советом 99.2.039.02, созданным на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Самарский государственный технический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244, и Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 443086, Самара, Московское шоссе, 34, приказ Минобрнауки Российской Федерации № 45/нк от 30.01.2017 г.

Соискатель Письмаров Андрей Викторович, 20 июня 1994 года рождения, в 2018 г. окончил Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва» с квалификацией инженер по специальности 24.05.01 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов. С 2018 г. по 2022 г. проходил обучение в аспирантуре Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва» на кафедре «Соппротивление материалов» по научной специальности 01.02.06 Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры. С 2018 г. по настоящее время работает в должности инженера-конструктора 1 категории в Публичном акционерном обществе «Ракетно-космическая корпорация

«Энергия» имени С.П. Королёва». В 2023 г. прикреплен для сдачи кандидатских экзаменов без освоения программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по научной специальности 1.1.8. – Механика деформируемого твердого тела.

Диссертация выполнена на кафедре «Соппротивление материалов» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Кирпичёв Виктор Алексеевич, ФГАОУ ВО «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва», кафедра космического машиностроения имени генерального конструктора Д.И. Козлова, профессор.

**Официальные оппоненты:**

- Рабинский Лев Наумович, доктор физико-математических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», кафедра 902, профессор;

- Дубин Алексей Иванович, кандидат технических наук, доцент, Публичное акционерное общество «Объединённая двигателестроительная корпорация – Уфимское моторостроительное производственное объединение», лаборатория прочности центральной заводской лаборатории, начальник

дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** Акционерное общество «Научно-производственное объединение «Центральный научно-исследовательский институт технологии машиностроения», г. Москва, в своем положительном отзыве, утверждённом исполняющим обязанности заместителя генерального директора по научной работе, кандидатом химических наук Павлюком Богданом Филипповичем, подписанном доктором технических наук, профессором, заведующим отделом прочности и эксплуатации материалов №32 Казанцевым Александром Георгиевичем, указала, что в работе разработана новая методика прогнозирования приращения предельной амплитуды цикла резьбовых деталей, а также установлена зависимость коэффициента интенсивности напряжений от максимальных напряжений цикла. Практическая значимость исследования заключается в применении предложенной методики при проектировании и поверочных расчётах резьбовых соединений, работающих в условиях многоциклового нагружения, для выбора их оптимального конструктивного исполнения, технологии изготовления и, при необходимости, методов упрочнения. Полученные в диссертации результаты могут быть рекомендованы к расширенному использованию в проектных организациях и предприятиях общего машиностроения и авиационной отрасли.

Отзыв содержит следующие критические замечания: 1) в работе не исследована динамика изменения остаточных напряжений в процессе многоциклового нагружения, так как при каждом нагружении возникают упругопластические деформации, приводящие к релаксации и полному исчезновению остаточных напряжений; 2) в работе не указано количество используемых образцов и отсутствует статистическая обработка результатов экспериментальных исследований с указанием доверительных интервалов ни при исследовании зависимости предела выносливости болтов М6 из сплава ВТ16, ни при апробации методики прогнозирования предела выносливости резьбовых деталей с остаточными напряжениями; 3) методика расчёта предела выносливости разработана на основе концепции безопасного развития повреждения, которая предполагает наличие исходных дефектов в детали с начала её эксплуатации. При этом в диссертации не отражён порядок определения их количества и зон расположения; 4) в тексте автореферата и диссертации присутствуют пунктуационные ошибки и опечатки.

Соискатель имеет 26 опубликованных работ по теме диссертации, из них 3 статьи в рецензируемых научных изданиях, в том числе 1 статья в издании, входящем в МБД Scopus.

Публикации соискателя посвящены проведению анализа работ, по определению и распределению по глубине поверхностного слоя остаточных напряжений в резьбовых деталях. В работах, выполненных в соавторстве, вклад соискателя является определяющим при проведении сравнения экспериментальных и полученных расчётным путем значений приращения предела выносливости. Суммарный объем принадлежащего соискателю опубликованного материала по теме диссертации составляет 3,8 печатных листов. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

#### **Наиболее значительные научные работы по теме диссертации:**

1. Pis'marov, A.V., Kirpichev, V.A., Sazanov, V.P., Papich, L. Fatigue Limit Prediction for Surface-Hardened Threaded Pieces [Text] / A.V. Pis'marov, V.A. Kirpichev, V.P. Sazanov, L. Papich // Journal of Machinery Manufacture and Reliability, volume 51, 2022. Pp. 60-67.
2. Письмаров, А.В., Кирпичёв, В.А., Сазанов, В.П. Прогнозирование сопротивления усталости резьбовых деталей [Текст] / А.В. Письмаров, В.А. Кирпичёв, В.П. Сазанов // Труды МАИ №124, 2022.
3. Письмаров, А.В. К вопросу прогнозирования предела выносливости резьбовых деталей с поверхностным упрочнением [Текст] / А.В. Письмаров // Труды МАИ №129, 2023.

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы официальных оппонентов.**

В отзыве официального оппонента **Рабинского Л.Н.** указаны следующие критические замечания: 1) соискатель слабо отразил современное состояние про-

блемы за последнее несколько лет. В библиографическом списке литературы большинство работ опубликованы минимум несколько десятков лет назад. Представлена одна работа, зарубежных учёных, опубликованная в 2020 году в области исследования диссертанта, хотя количество публикаций за последние 7-10 лет весьма значительно; 2) обычно каждая глава диссертации должна начинаться с информации о том, в соответствии с какими опубликованными работами соискателя излагается материал этой главы, но эта информация отсутствует; 3) аппроксимация (2.12) неудачна, поскольку она может дать удовлетворительные результаты для остаточных напряжений в малой области изменения параметра  $a$  (в области сжатия материала). Однако экстраполяция этой зависимости в область растяжения материала (по всему объёму детали, что необходимо для численного решения МКЭ задачи фиктивной термоупругости) даёт неприемлемые результаты с «физической» точки зрения; 4) во-первых, если начальная длина трещины ( $l_0$ ) не может быть определена с помощью методов контроля качества изготовления детали, то выбор этой величины остается субъективным. Во-вторых, если начальная длина трещины определяется с использованием методов неразрушающего контроля, то деталь должна быть автоматически признана бракованной; 5) в тексте автореферата подробно не описаны представленные значения в таблицах 4-7.

В отзыве официального оппонента **Дубина А.И.** сформулированы следующие критические замечания: 1) приведённые расчёты выполнены для открытого резьбового соединения. В закрытом соединении основную часть нагрузки будут воспринимать первые семь витков резьбы. Этот фактор предложенная расчётная модель не учитывает; 2) предложенная методика моделирования остаточных напряжений позволяет с достаточной точностью воспроизводить их распределение, предварительно полученное экспериментально, в частности, механическими методами. Это требует дополнительных временных и материальных затрат на проведение соответствующих испытаний и обработку их результатов. Целесообразно дополнить разработанные проектирования методикой численного моделирования технологических операций изготовления (упрочнения) резьбовых деталей и расчёта, возникающих при этом остаточных напряжений; 3) в диссертации не рассмотрено влияние рабочей повышенной температуры на напряжённо-деформированное состояние деталей и возможность использования при этом метода термоупругости для моделирования остаточных напряжений. Также за скобками проведённого исследования остаётся вопрос релаксации остаточных напряжений при повышенной рабочей температуре; 4) соискатель слабо отразил современное состояние проблемы за последнее десятилетие. Библиографический список литературы ограничен включением только 20 работ (из 123) за последнее десятилетие, исключая работы диссертанта и научного руководителя. За этот период было опубликовано огромное количество работ отечественными и зарубежными исследователями в области механики упрочнённых конструкций, включая разработку новых технологий упроч-

нения, методы реконструкции остаточных напряжений после упрочнения и влияние остаточных напряжений на характеристики усталости поверхностно упрочненных деталей, включая резьбовые соединения; 5) «слабым» местом методики расчета является определение начальной длины трещины  $l_0$ . Так, если  $l_0$  не диагностируется «средствами контроля» качества изготовления детали, то при выборе возникает определённый волюнтаризм. Если же определяется средствами диагностики, то деталь должна быть признана бракованной. Аналогично, при выборе предельного состояния непонятно что использовать: свойства материала или свойство конструкции, связанное с достижением трещиной критической длины.

**На автореферат поступили 6 положительных отзывов от:**

1. К.т.н. Ирины Алексеевны Панченко, заведующей лабораторией электронной микроскопии и обработки изображений ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет» (г. Новокузнецк);
2. К.т.н. Максима Владимировича Борисова, заместителя генерального конструктора по научной работе АО Ракетно-космический центр «Прогресс» (г. Самара);
3. К.т.н. Александра Александровича Лоскутникова, главного конструктора ОКБ «Мотор», Александра Васильевича Шкуренкова, начальника отдела прочности ПАО «Объединённая двигателестроительная корпорация -Уфимское моторостроительное производственное объединение, ОКБ «Мотор» (г. Уфа);
4. К.т.н. Максима Станиславовича Гайдай, главного конструктора двигателя ПД-8 ПАО «Объединённая двигателестроительная корпорация – Сатурн» (г. Рыбинск);
5. К.т.н. Алексея Львовича Водолагина, ведущего конструктора отдела динамики и прочности опытно-конструкторского бюро имени А. Люльки филиала ПАО «Объединённая двигателестроительная корпорация – Уфимское моторостроительное производственное объединение» (г. Москва);
6. Д.т.н. Георгия Юрьевича Ермоленко, доцента, заведующего кафедрой технических дисциплин филиала ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет имени В.Г. Шухова» (г. Новороссийск).

**В замечаниях указано:** не обсуждается, как будет работать предложенная методика в условиях циклических нагружений и высоких температур, не приведено, каким образом наводились остаточные напряжения в расчётной модели, не показаны оптимальные размеры, в пределах которых оценочные результаты по предложенной методике были бы наиболее достоверны. Остальные замечания связаны с ограниченным объёмом автореферата, на которые даны ответы в диссертации.

Все отзывы положительные и отмечают актуальность темы диссертации, научную новизну, большую практическую значимость, соответствие диссертационной работы требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», а ее автор - Письмаров Андрей Викторович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. – Механика деформируемого твёрдого тела.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается** их высокой компетентностью в области малоцикловой и многоцикловой усталости высоконагруженных деталей, в оценке влияния остаточных напряжений на раскрытие усталостных трещин, что подтверждается публикациями в научных изданиях в сфере исследования соискателя.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработана** методика прогнозирования предела выносливости резьбовых деталей с остаточными напряжениями, учитывающая связь между коэффициентом интенсивности напряжений и характеристиками многоцикловой усталости, позволяющая определять предельную амплитуду, а также приращение предельной амплитуды цикла в области многоцикловой усталости при асимметричном цикле нагружения;

**предложен** расчётный способ прогнозирования предела выносливости и предельной амплитуды цикла упрочнённой и неупрочнённой резьбовых деталей с использованием графической зависимости коэффициента интенсивности напряжений от величины максимальных напряжений цикла без проведения испытаний на многоцикловою усталость;

**доказана** перспективность использования разработанной методики для выбора на основании расчётных оценок оптимального распределения остаточных напряжений в поверхностном слое резьбы и, следовательно, соответствующих методов и режимов его упрочнения.

**Теоретическая значимость работы обоснована тем, что:**

**доказана** обоснованность методики прогнозирования предела выносливости, а также предельной амплитуды упрочнённой и неупрочнённой резьбовых деталей, позволяющей без проведения испытаний на усталость прогнозировать приращение предельной амплитуды цикла;

применительно к проблематике диссертации эффективно **использованы** методы численного моделирования, основные положения и методы механики разрушения, решения задач о первоначальных деформациях и термоупругости, позволяющие получать значения коэффициента интенсивности напряжений и определять предел выносливости упрочнённых и неупрочнённых резьбовых деталей;

**изложены** зависимости между коэффициентом интенсивности напряжений при максимальном напряжении цикла с характеристиками многоцикловой усталости;

**раскрыты** вопросы влияния остаточных напряжений на сопротивление усталости резьбовых деталей;

**изучена** зависимость предельной амплитуды цикла резьбовой детали от радиуса впадин накатанной резьбы;

**проведена модернизация** существующей методики моделирования остаточных напряжений в поверхностном слое деталей с целью распространения её применения на резьбовые детали. На основе методов механики разрушения разработана методика оценки сопротивления многоциклового усталости резьбовых деталей с остаточными напряжениями.

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

**разработан и внедрен** новый метод определения предела выносливости упрочнённых и неупрочнённых резьбовых деталей при асимметричном цикле нагружения в расчётную практику прочностного отдела ПАО «ОДК Кузнецов» (г. Самара), что позволило существенно сократить количество натуральных испытаний и повысить точность инженерных расчётов;

**определены** пределы и перспективы прикладного использования разработанной методики при расчёте резьбовых соединений на прочность на этапе проектирования конструкций, а также оптимальных по остаточным напряжениям методов упрочнения;

**создана методика** для расчёта предела выносливости резьбовых деталей с остаточными напряжениями, позволяющая оценить влияние технологической наследственности и на этапе проектирования получить рациональное конструктивное решение при выборе методов упрочнения с учётом минимизации массы;

**представлены** методические рекомендации по использованию полученных теоретических решений в прикладных задачах прогнозирования предела выносливости резьбовых деталей с остаточными напряжениями.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**теория** основана на известных базовых постулатах механики деформируемого твёрдого тела и согласуется с опубликованными экспериментальными данными;

**идея базируется** на использовании апробированных методов механики разрушения для решения задач о первоначальных деформациях и термоупругости;

**использованы** современные программные системы метода конечных элементов для сравнения расчётов с экспериментально полученными данными;

**установлено** качественное и количественное совпадение авторских результатов с данными, представленными в независимых источниках по данной тематике.

**Личный вклад соискателя состоит в:** установлении связи между коэффициентом интенсивности напряжений при максимальном напряжении цикла с характеристиками многоциклового усталости резьбовых деталей; разработке алгоритма методики прогнозирования предела выносливости резьбовых деталей, учитывающего распределение остаточных напряжений в наименьшем сечении детали; обработке данных, полученных с помощью известных программных систем; непосредственном участии в подготовке всех основных опубликованных работ по результатам диссертации; формулировке основных научных положений и выводов.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания: 1) какие физические основания считать линейной зависимостью связь между остаточными напряжениями и пределом выносливости?; 2) почему в работе не учитывалось значение Т-напряжения?; 3) что изменится в методике, если учитывать значения Т-напряжения?; 4) в процессе накатки изменяется качество поверхности. Как учитывалось это в расчётной методике?; 5) при моделировании остаточных напряжений в профиле резьбы использовались два типа системы координат: – цилиндрическая – во впадине и декартовая – на профиле резьбы. Как были «склеены» решения, полученные в двух различных системах координат?; 6) чем объяснить, что у стали с меньшим содержанием углерода имеет более высокий предел прочности и более высокое остаточное удлинение?; 7) в расчётной модели, представляющей четверть резьбовой детали, в расчете оставлено из трёх витков полтора. Полученных перемещений в рассматриваемом сечении быть не должно в силу симметрии модели.

Соискатель Письмаров А.В. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию:

1) представленная зависимость носит феноменологический характер, зависимость получена по результатам многочисленных испытаний и описана в монографии Иванова С.И., Павлова В.Ф., Минина Б.В. и др. «Остаточные напряжения и сопротивления усталости высокопрочных резьбовых деталей»; 2) Т-напряжения при расчёте коэффициента интенсивности напряжений учитывают в области текучести материала, то есть, в малоциклового усталости. Исследования, представленные в работе, опираются на зависимость Мураками для расчёта коэффициента интенсивности напряжений в области многоциклового усталости, которая не учитывает Т-напряжения, поскольку задача решалась в упругой постановке; 3) необходимо определить, как влияет зависимость Т-напряжения от максимальных напряжений цикла, и, при необходимости, дополнить предложенную методику новым параметром; 4) в работе не учитывалась качество поверхностного слоя; 5) для связи двух систем координат модель на уровне геометрии была разделена на соответствующие участки, эти участки имеют общие элементы и узлы; 6) представленные значения механических свойств материала были взяты из справочной литературы и представлены в монографии Иванова С.И., Павлова В.Ф., Минина Б.В. и др. «Остаточные напряжения и сопротивления усталости высокопрочных резьбовых деталей»; 7) вначале была использована модель, представляющая собой четвертую часть области резьбовой детали, было установлено, что такой моделью пользоваться некорректно ввиду перемещения свободной грани, имитирующей берег трещины. Для дальнейших расчётов была предложена модель, представляющая собой половину области резьбовой детали для задания корректных граничных условий на берегах трещины.



На заседании 03 ноября 2023 года диссертационный совет принял решение присудить Письмарову Андрею Викторовичу ученую степень кандидата технических наук по специальности 1.1.8. – Механика деформируемого твёрдого тела за решение научной задачи по разработке методики прогнозирования предела выносливости упрочнённых резьбовых деталей, имеющей значение для развития механики деформируемого твёрдого тела.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 8 докторов наук по специальности 1.1.8, участвующих в заседании, из 21 человек, входящих в состав совета, дополнительно введено на разовую защиту 0 человек, проголосовали: «за» присуждение ученой степени – 16 человек; «против» – 0 человек.

Председатель диссертационного  
совета 99.2.039.02  
Секретарь диссертационного  
совета 99.2.039.02



*[Handwritten signature of Yakov Morduxovich Klebanov]*  
*[Handwritten signature of Alfiya Rasimovna Luts]*

Клебанов Яков Мордухович

Луц Альфия Расимовна

03 ноября 2023 г.