

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.288.10, СОЗДАННОГО  
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ  
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 08.04.2022 № 4

О присуждении **Акбашеву Вадиму Ринатовичу**, гражданину РФ, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Влияние остаточных напряжений на прочность элементов конструкций с учетом конструктивно-технологических факторов» по специальности 01.02.06 – Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры принята к защите 01.02.2022 г., протокол № 2 диссертационным советом Д 212.288.10 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 450008, г. Уфа, ул. К. Маркса, 12, созданного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 92/НК от 09.02.2015 г.

Соискатель Акбашев Вадим Ринатович 1992 года рождения, работает инженером на кафедре сопротивления материалов в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Уфимский государственный авиационный технический университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

В 2013 году соискатель окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный

авиационный технический университет» по специальности 150900 – «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств». В 2015 году окончил магистратуру ФГБОУ ВПО «УГАТУ» по специальности 24.04.05 – «Двигатели летательных аппаратов». В 2019 г. окончил очную аспирантуру в ФГБОУ ВО «УГАТУ» по специальности 01.02.06 – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Диссертация выполнена на кафедре сопротивления материалов ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет» Министерства образования и науки Российской Федерации.

**Научный руководитель** - доктор технических наук, профессор Жернаков Владимир Сергеевич, профессор кафедры сопротивления материалов ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет».

Официальные оппоненты:

**Чернявский Александр Олегович**, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», профессор кафедры «Техническая механика»;

**Хакимов Аким Гайфуллинович**, кандидат физико-математических наук, доцент, ФГБНУ Институт механики им. Р.Р. Мавлютова — обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИМех УФИЦ РАН) ведущий научный сотрудник дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация:** Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева», г. Самара в своем положительном заключении, подписанном д.т.н., профессором Букатым Станиславом Алексеевичем, профессором кафедры «Сопротивление материалов» указала, что «...диссертация Акбашева В.Р. представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных

автором исследований предложена схема расчета остаточных напряжений в типовых элементах конструкций с концентраторами напряжений при упругом и упругопластическом деформировании с учетом конструктивно-технологических факторов. Диссертация полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Акбашев Вадим Ринатович заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 01.02.06. – «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры».

Соискатель имеет 21 опубликованную работу, в том числе по теме диссертации 21 работу, из них 5 работ, опубликованные в рецензируемых научных изданиях ВАК, 2 работы, включенные в базу данных SCOPUS, 1 патент. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных работах. Сведения об опубликованных работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, достоверны. Авторский вклад соискателя в опубликованные работы общим объемом 4,79 п.л. по объёму составляет 3,16 п.л.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Акбашев В.Р. Исследование напряженно-деформированного состояния соединения «пластина-кольцо» при формировании соединения и одноосном нагружении/ Жернаков В. С., Мардимасова Т. Н., Акбашев В.Р. // Вестник УГАТУ. 2015. Т19, № 2 (68). С. 14–19.
2. Акбашев В.Р. Прогнозирование усталостной прочности стержня с выточкой из наноструктурного титанового сплава при симметричном циклическом изгибе/ Жернаков В. С., Мардимасова Т. Н., Акбашев В.Р.// Вестник УГАТУ. 2016. Т.20, № 2 (72). С. 17–22.
3. Акбашев В.Р. Напряженно-деформированное состояние соединения с натягом при чистом сдвиге и двухосном растяжении с учетом технологических напряжений/ Жернаков В. С., Мардимасова Т. Н., Акбашев В.Р., Конева К.В. // Вестник УГАТУ. 2016. Т.20, № 3 (73). С. 12–18.
4. Акбашев В.Р. Исследование влияния резьбовых вставок на напряженно-деформированное состояние резьбового соединения/ Жернаков В. С.,

Мардимасова Т. Н., Арсланов М.Р., Акбашев В.Р.// Вестник УГАТУ. 2017. Т.21, № 4 (78). С. 18–24.

5. Акбашев В.Р. Моделирование остаточных напряжений при ионно-плазменном напылении в элементах конструкции/ Жернаков В. С., Мардимасова Т. Н., Смыслов А. М., Дубин А. И., Акбашев В.Р.// Вестник УГАТУ. 2019. Т. 23, № 3 (85). С. 39–45.

6. V.R. Akbashev V.S. Zhernakov, T.N. Mardimasova, M.R. Arslanov. Modeling of threaded connection with threaded insert// International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). 21-25 Oct. 2019. Ufa, Russia.

7. V.R. Akbashev V.S. Zhernakov, T.N. Mardimasova. Calculation of nonlinear material deformation processes under nonisothermal loading and elastoplastic unloading // International Conference on Electrotechnical Complexes and Systems (ICOECS). 21-25 Oct. 2019. Ufa, Russia.

8. Пат. 2652331 Российская Федерация, МПК В21К 1/46. Способ изготовления шаровых пальцев [Текст] / Жернаков В.С., Валиев Р.Ш., Валиев Э.Р., Акбашев В.Р.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «УГАТУ». – № 2017104585; заявл. 13.02.2017; опубл. 25.04.2018, Бюл. №12 – 8с: ил.

На диссертацию и автореферат поступили положительные отзывы:

1. **Добровольского С.В.**, ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова». *Замечания:* 1) Отсутствует аналитическое или экспериментальное подтверждение полученных напряжений в соединении с натягом и резьбовых вставок. 2) Отсутствуют диаграммы деформирования материалов при расчетах на прочность в нелинейной постановке с учетом пластических деформаций.

2. **Дубина А.И.**, ПАО «ОДК-УМПО». *Замечания:* 1) Отсутствие описания методик проведения экспериментов, в частности, виброиспытаний на усталость. 2) При расчёте напряжений в ионно-плазменном покрытии имеются допущения, но не отражена степень их влияния на точность величин ОН.

3. **Гарипова А.А.**, АО «УАП «Гидравлика». *Замечание:* В качестве замечания к автореферату можно отнести недостаточное описание экспериментальной базы и условий проведения экспериментов.

4. **Ножницкого Ю.А.**, ФАУ «ЦИАМ имени П.И. Баранова». *Замечания:* 1) На рисунке 1 автореферата представлена общая схема расчета остаточных напряжений и оценки их влияния на прочностную надежность конструкции, включающей учет различных повреждающих факторов. Однако в рассмотренных в диссертации примерах соединения с натягом и резьбовой вставки рассматривается только влияние остаточных напряжений на напряженно-деформированное состояние при кратковременном статическом нагружении. Исследовались также частоты собственных колебаний, кратковременная и усталостная прочность образца с ионно-плазменным покрытием. Однако вряд ли можно было ожидать влияния остаточных напряжений на частоту собственных колебаний образца, а моделирование усталостной прочности (рисунок 15 автореферата) в автореферате не пояснено. 2) Результаты экспериментальных исследований представлены в автореферате без статистической обработки. 3) Автореферат содержит большое количество опечаток и статистических погрешностей. Например, в разделе «Пояснения, выносимые на защиту» такие погрешности есть в трех фразах из четырех.

5. **Гортышова Ю.Ф.**, ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет». *Замечания:* 1) Отсутствует подтверждение полученных напряжений в соединении с натягом и резьбовых вставок. 2) Отсутствуют диаграммы деформирования материалов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что оппоненты являются известными специалистами по тематике диссертации и активно работают в области вопросов прочности и надежности конструкций, а ведущая организация – одним из лидирующих институтов в области изучения формирования пластических деформаций и остаточных напряжений в конструкциях и изделиях.

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

**разработана** новая схема расчета напряженно-деформированного состояния и остаточных напряжений в элементах конструкций с учетом конструктивно-технологических факторов и истории нагружения;

**предложены** модели расчета остаточных напряжений в элементах конструкций, обеспечивающие уточнение их прочностных характеристик на стадии проектирования и разработки технологического процесса;

**доказана** перспективность использования предложенных подходов учета конструктивно-технологических факторов при проектировании конструкций;

**введено** новое понятие «схема расчета напряженно-деформированного состояния и остаточных напряжений».

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

**доказана** схема расчета НДС и остаточных напряжений в элементах конструкций с учетом конструктивно-технологических факторов и истории нагружения;

**применительно к проблематике диссертации результативно** использован метод конечных элементов, позволяющий реализовать схему расчета напряженно-деформированного состояния и остаточных напряжений;

**изложены** основные положения и методы теории упругости и механики деформируемого твердого тела;

**раскрыты** проблемы отсутствия неразрушающих методов контроля остаточных напряжений для особо ответственных зон деталей газотурбинных двигателей;

**изучены** причины возникновения и формирования остаточных напряжений в элементах конструкций в результате различных технологических операций, а также их влияние на эксплуатационные характеристики;

**проведена модернизация** алгоритмов численных расчетов остаточных напряжений и НДС в элементах конструкций.

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

**разработаны и внедрены** схема расчета напряженно-деформированного состояния и остаточных напряжений в элементах конструкций с учетом конструктивно-технологических факторов и истории нагружения;

**определено** влияние конструктивных факторов и различных технологических операций при изготовлении деталей с учетом эксплуатационных характеристик (определены критические нагрузки в соединении кольца и пластины с натягом, распределение осевой нагрузки по виткам резьбы в резьбовом соединении со спиральными вставками, прочностные характеристики и частоты собственных колебаний в образцах с ионно-плазменным напылением);

**созданы** модели, учитывающие влияние остаточных напряжений в элементах конструкций в различных технологических процессах;

**представлены** методические рекомендации для проектирования элементов конструкций с учетом конструктивно-технологических факторов.

#### **Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** использовалось сертифицированное оборудование;

**теория** основана на применении классических методов теории упругости и механики деформируемого твердого тела;

**идея базируется** на анализе результатов численных исследований;

**использовано** сравнение авторских данных и данных, полученных ранее по рассматриваемой тематике другими исследователями;

**установлено** качественное совпадение авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по данной тематике;

**использованы** результаты экспериментальных исследований, отвечающих современному уровню.

#### **Личный вклад соискателя состоит в:**

непосредственном проведении расчетов напряженно-деформированного состояния; обработке и интерпретации экспериментальных данных; подготовке основных публикаций по выполненным работам; разработке схемы расчета напряженно-деформированного состояния и остаточных напряжений в элементах

конструкций с учетом конструктивно-технологических факторов и истории нагружения.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

**В отзыве ведущей организации:**

1. В исследовании состояния проблемы автором допущены ряд ошибок и неточностей при ссылке на источники в библиографическом списке.

2. В работе нет описания методик проведения экспериментальных исследований.

3. В соответствии с ГОСТ 23207-78 используемый в работе термин «усталостная прочность» является недопустимым.

4. При проведении испытаний на усталость не указаны количество использованных образцов и доверительные интервалы на результаты испытаний.

**В отзыве официального оппонента Чернявского А.О.:**

1. Чтение текста затруднено тем, что автор не указывает в явном виде ограничения на рассматриваемые им задачи - возможно, потому, что автору они кажутся очевидными, хотя для читателя это может быть не так. Следовало бы отметить, в частности, что автор говорит о прочности элементов конструкций в смысле сопротивления многоцикловой усталости. При малоцикловой усталости и тем более однократном нагружении влияние остаточных напряжений может оказаться совсем другим (в деталях из высокопластичных материалов оно может вообще отсутствовать). Более того, автор говорит только о стадии работы до зарождения усталостной трещины, не рассматривая ее рост в поле суммарных (остаточные + вызванные рабочей нагрузкой) напряжений. Это не снижает актуальности работы, но четкое обозначение границ упростило бы ее восприятие.

2. В обзор включены только работы российских исследователей, хотя актуальность этой работы подтверждается и большим числом иностранных публикаций на близкие темы

3. Все технологические задачи, в том числе рассмотренные в работе, подразумевают наличие допусков и, соответственно, вариацию результатов при



вариации исходных данных в поле допусков. К сожалению, в диссертации этому не уделено внимания, задачи (например, о запрессовке кольца) решаются в детерминированной постановке.

4. Автором получена немонотонная зависимость контактного давления от толщины стенки запрессовываемой втулки (рис. 3.6 диссертации, в автореферате этот рисунок отсутствует, но полученные результаты использованы при получении рис. 2 автореферата). Известное решение Лямэ для схожей задачи - запрессовка одного цилиндра в другой - приводит к монотонной зависимости. Не ясно, чем объясняется эта качественная разница в результатах.

5. Упруго-пластические расчеты, например, расчет разрушающей нагрузки для образца с покрытием, требуют задания диаграммы деформирования материала. В работе нет информации о форме и параметрах использованных диаграмм.

6. В тексте встречаются, к сожалению, достаточно многочисленные фразы с пропущенными словами, нарушениями грамматического согласования слов, нестандартным использованием терминов. Примеры: «результаты теоретических и экспериментальных исследований изделий с ионно-плазменным покрытием на их эксплуатационные характеристики» (с. 8 диссертации, видимо, пропущено «и влияние покрытий на эксплуатационные характеристики»); (с. 23 диссертации, пропущено «нанесения»); «Использована известная процедура МКЭ ... получим систему расчетных соотношений» (с.32), нестандартное использование термина «осевые напряжения» и т.д.

#### **В отзыве официального оппонента Хакимова А.Г.:**

1. Требуется уточнения фраза "впервые установлено влияние конструктивных факторов и различных технологических операций при изготовлении деталей с учетом эксплуатационных характеристик (определены критические нагрузки в соединении с натягом, распределение осевой нагрузки по виткам резьбы в резьбовом соединении со спиральными вставками, усталостные характеристики и частоты собственных колебаний в образцах с ионно-плазменным напылением). "

- Стр. 7. Какие конструктивные факторы, технологические операции, эксплуатационные характеристики?
2. В положениях, выносимых на защиту: результаты аналитического и численного исследования НДС в пластинах с запрессованными в отверстия кольцами из наноструктурного титанового сплава Ti-6Al-4V. Стр.8. В диссертации на стр. 53, 54 приводится наноструктурный сплав ВТ6.
3. Не расшифрованы сокращения "РС", "ИМ" - стр. 17-18; УМЗ - стр. 113.
4. Определение концентратора напряжений требует уточнения: "Концентратором напряжений называется резкое локальное изменение полей напряжений в деформируемом теле, которое может быть вызвано различными причинами: конструктивными (резкое изменение геометрии деталей, наличие отверстий и вырезов ит.д.); технологическими (уровень шероховатости поверхности, изменение свойств материалов в результате различных технологических процессов и т.д.); эксплуатационными (сочетание внешних силовых и температурных нагрузок, зарождающиеся трещины и т.д.)." - стр. 12.
5. Повтор целой страницы 11 на странице 24.
6. Обозначения: 1.  $[b^{(n)}], \{\phi\}_m^T, \Delta_m T, V, \sigma_{ij}^m, \varepsilon_{ij}^m$  - стр. 32-33; 2.  $[C]_m, [\Lambda]_m, \{F\}_m, E^{(m,1)}, \nu^{(m,1)}, E_k^{(m,1)}, E, \{\Delta_m \rho_V\}, \{\Delta_m \rho_S\}$  - стр. 37; 3.  $\{S\}, E_k^{(m,1)}$  - стр. 38;
4.  $i^*$  - стр. 39; 5.  $d_0$  - стр. 52; 6.  $A_1, A_2, E_1, E_2, E_3, H_1$  - стр.86 - не расшифрованы.
7. Формула (2.9) требует уточнения:  $m=m+1$  - стр. 33.
8. Рисунка 2.8 нет. "и по кривой деформирования (рисунок 2.8) найдены значение предела текучести" - стр. 45.
9. Рекомендация для рисунка 3.12 - нужны изолинии напряжений, а не поля напряжений.
10. По какой линии поперечного сечения изображены эпюры? - стр.80.
11. Методика раздела 2 не применяется в разделе 3.
12. Использование  $t$  для обозначения разных величин: "происходит поэтапно в течении времени  $t$ ." - стр. 90; "с многослойным покрытием толщиной  $t$  представлен" стр. 91; "предела прочности  $\sigma_{пч}$ " и "предела прочности  $\sigma_B$ " стр. 113.

13. Как проходила реализация методики, описанной в разделе 2? Нужен пример с историей нагружения хотя бы для одного элемента. С блок - схемой, сопровождаемой траекторией на диаграмме деформирования. - стр. 97.
14. "Так, в конструкциях с толщиной чистого титана  $t_{0i}=0,5$  мкм при нанесении 1 слоя покрытия поверхностных напряжения сжатия достигают значения 607 МПа. При нанесении 3 слоев покрытия сжимающие напряжения  $\sigma^*_x$  увеличиваются до 1167 МПа, то есть в 1,9 раза. Дальнейшее увеличение слоев до 5 является не целесообразным, так как максимум сжимающих остаточных поверхностных напряжений снижается и принимает значение 1117 МПа." стр. 106. Этот вывод вызывает сомнение, так как не описан технологический процесс получения многослойного покрытия.
15. Нет параметров образца - имитатора лопатки. Невозможно проверить результаты расчетов. - стр. 112.
16. Опечатки: 1. "Создаюние" - стр. 10; 2. "суммируясь с остаточные напряжения" - стр. 10; 3. "покрытий" - стр.10; 4. "TiN Ti/N" - стр. 11; 5. "Снижение уровня тангенциальных напряжений можно" - стр. 11-12; 6. "может возникнуть асимметричным суммарное напряжение" - стр. 13; 7. "основных элементрв механизмов" - стр. 13; 8. "суперпозиции наличие ступицы" - стр. 15; 9. "Но при приложении вращения и" - стр. 15; 10. "при усилии затяжки  $F=60$  МПа." - стр. 17; 11. "используя отделочно-упрочняющая электро-механическую обработку" - стр. 17; 12. "говорится" - стр. 18; 13. "ихмикроструктура" - стр. 22; 14. "прямопропорциональна" - стр. 28; 15. "построить в общей сетке пространственно-временных переменных." - стр. 31; 16. "Учитывая это, для задачи термоупругопластичности целесообразно построена новая конечно-элементная сетка, отражающая геометрические особенности деформируемого тела и особенности его нагружения." - стр. 31; 17. "Использована известная процедура МКЭ для некоторого  $m$ -го этапа нагружения получим систему расчетных соотношений" - стр. 32; 18. "Построена общую схему решения системы уравнений (2.9), описывающая связанную задачу термоупругопластичности." - стр. 34; 19. "мощность внутренних и поверхностных источников тепла, возникающего

вследствие" - стр. 34; 20. "Рисунок 3.7 – Распределение давления по поверхность контакта в программном комплексе *ANSYS*" - стр. 57; 21. "принимая значение величину шага резьбы пластины и болта." - стр. 80; 22. "Так сжимающие напряжения увеличиваются с 10,3 до 140 МПа, а растягивающие с 8,2 до 140 МПа (рисунок 3.31, а)." - стр. 82; 23. "на рисунке 5.6 показаны картины" - стр. 96; 24. "что увеличение толщины нитриды титана" - стр. 101; 25. "формируются сжимающие напряжения, максимум которых достигает значения, Глубина" - стр. 105; 26. "Рисунок 4.14- Влияние поверхностных напряжений" - стр. 105; 27. В формулах (4.6), (4.7) и далее - стр.111; 28. "на рисунке 5.26." - стр. 114-115; 29. "Рисунок 4.28 – Эскиз (а), геометрическая модель (б) и сеточный аналог (в) усталостного образца" - стр. 116.

Соискатель Акбашев В.Р. ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, согласился с замечаниями, и привел собственную аргументацию в защиту выдвинутых им научных положений и критических замечаний: в 4 главе на каждый из видов испытаний есть ссылки на ГОСТ, а также на исследования других авторов; численные данные по усталости сопоставлены со значениями, полученными в результате экспериментов в работе Валиева Р.Р., поэтому подробное количество образцов и доверительные интервалы не описаны; имели место исследования для различного типа плотных посадок, но в данной работе представлена только одна посадка Н7/р6; в качестве конструктивных факторов рассмотрены различные геометрические параметры соединений (соединение с натягом, резьбовое соединение), а технологических факторов – толщина соединений в ионно-плазменных покрытиях; в качестве эксплуатационных характеристик имеются ввиду предел прочности, предел выносливости и частоты собственных колебаний изделий; данные графиков деформирования использованы для численных расчетов.

На заседании 08.04.2022 г. диссертационный совет принял решение за разработку схемы расчета напряженно-деформированного состояния и остаточных напряжений в элементах конструкций, моделей определения остаточных напряжений, имеющих существенное значение для развития

отечественного машиностроения, присудить Акбашеву Вадиму Ринатовичу ученую степень кандидата технических наук.

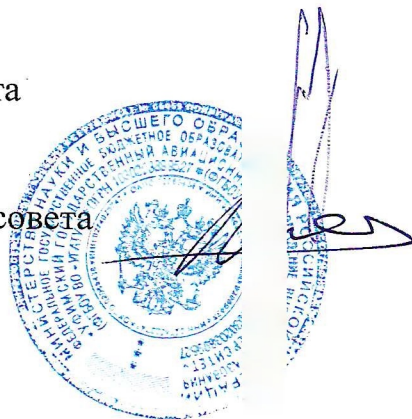
При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 17, против – 0.

Председатель совета

Ахмедзянов Дмитрий Альбертович

Ученый секретарь совета

Месропян Арсен Владимирович



08 апреля 2022 года