

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 004.036.01 НА БАЗЕ  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ  
ПЕРМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
(ФИЛИАЛ – ИНСТИТУТ МЕХАНИКИ СПЛОШНЫХ СРЕД)  
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от 27.05.2026 № 174

О присуждении Гачеговой Елене Алексеевне, гражданке России, ученой степени кандидата физико-математических наук.

**Диссертация** «Влияние лазерно-индуцированных остаточных напряжений на усталостную долговечность титановых образцов с концентраторами напряжений» по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твёрдого тела» принята к защите 24.03.2026, протокол № 172, диссертационным советом Д 004.036.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермский федеральный исследовательский центр (филиал – Институт механики сплошных сред) Уральского отделения Российской академии наук, 614013, г. Пермь, ул. Академика Королева, д. 1, утвержденным приказом Минобрнауки России № 87/нк от 26 января 2018.

**Соискатель** Гачегова Елена Алексеевна 1996 г. рождения, в 2020 г. с отличием окончила ФГБОУ ВО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет" по направлению подготовки «Прикладная механика». В 2024 г. окончила аспирантуру очной формы обучения в ФГБОУ ВО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет" по научной специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела. В настоящее время работает младшим научным сотрудником лаборатории термомеханики деформируемых твердых тел Института механики сплошных сред УрО РАН. Диссертация выполнена в ФГБУН "Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук" (ПФИЦ УрО РАН).

**Научный руководитель** – д.ф.-м.н., член-корреспондент РАН, директор ПФИЦ УрО РАН Плехов Олег Анатольевич.

**Официальные оппоненты:**

1. Макаров Алексей Викторович, доктор технических наук (05.16.01), академик РАН, главный научный сотрудник лаборатории механических свойств ФГБУН "Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН", г. Екатеринбург;
  2. Салимон Алексей Игоревич, кандидат физико-математических наук (01.04.07), заведующий кафедрой физической химии ФГАОУ ВО "Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»", г. Москва;
- дали положительные отзывы на диссертацию

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки "Институт проблем сверхпластичности металлов РАН", г. Уфа (ИПСМ РАН), в своем положительном заключении, составленном главным научным сотрудником отдела сверхпластической обработки перспективных материалов, д.т.н. Р.Я. Лутфуллиным, и утвержденном заместителем директора по научной работе ИПСМ РАН, д.ф.-м.н.

А.А. Назаровым, указала, что диссертация представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу в области экспериментального исследования закономерностей формирования лазерно-индуцированных остаточных напряжений и их влияния на усталостные свойства конструкционных материалов. Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения долговечности ответственных элементов авиационной техники, работающих в условиях циклического нагружения и содержащих концентраторы напряжений. Выполненные исследования вносят существенный вклад в развитие механики деформируемого твёрдого тела, поскольку позволяют установить механизмы повышения усталостной долговечности за счёт формирования остаточных напряжений сжатия и расширяют представления о процессах зарождения усталостных повреждений в металлических материалах. Представленная диссертационная работа «Влияние лазерно-индуцированных остаточных напряжений на усталостную долговечность титановых образцов с концентраторами напряжений» удовлетворяет требованиям Положения «О присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства РФ №842 от 24.09.2013, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Гачегова Елена Алексеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твёрдого тела».

**Соискателем опубликовано** 18 печатных работ, в том числе 14 научных статей в ведущих рецензируемых журналах перечня ВАК, 3 патента Российской Федерации на изобретение и 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ:

1. Iziyomova A., Vshivkov A., Prokhorov A., **Gachegova E.**, Davydov D. Heat dissipation and fatigue crack kinetic features of titanium alloy Grade 2 after laser shock peening // Fracture and Structural Integrity. – 2022. – Vol. 16, № 62. – P. 516-526. (Scopus, WoS, Q2)

*В работе исследовано влияние лазерной ударной обработки на диссипацию энергии и кинетику роста усталостной трещины в титановом сплаве ВТ1-0. Авторский вклад Гачеговой Е.А. в публикацию составляет 50%.*

2. Kostina A., Zhelnin M., **Gachegova E.**, Prokhorov A., Vshivkov A., Plekhov O., Swaroop S. Finite-element study of residual stress distribution in Ti-6Al-4V alloy treated by laser shock peening with varying parameters // Fracture and Structural Integrity. – 2022. – Vol. 16, № 61. – P. 419-436. (Scopus, WoS, Q2)

*В работе проведено численное моделирование распределения остаточных напряжений и сопоставление расчётных и экспериментальных данных. Авторский вклад Гачеговой Е.А. в публикацию составляет 50%.*

3. Iziyomova A., Zhelnin M., Kostina A., Vshivkov A., **Gachegova E.**, Plekhov O., Swaroop S. Fatigue life investigation of notched TC4 specimens subjected to different patterns of laser shock peening // Fracture and Structural Integrity. – 2023. – Vol. 17, № 65. – P. 100-111. (Scopus, WoS, Q2)

*В работе исследовано влияние схем лазерной ударной обработки на усталостную долговечность образцов с концентраторами напряжений. Авторский вклад Гачеговой Е.А. в публикацию составляет 50%.*

4. **Gachegova E.**, Davydov D., Mironov S., Kalinenko A., Ozerov M., Zherebtsov S., Plekhov O. The influence of absorbing coating material on the efficiency of laser shock peening // Metals. – 2024. – Vol. 14, №. 9. – Art. id. № 1045. (Scopus, WoS, Q1)

*В работе определено влияние материала поглощающего покрытия на формирование остаточных напряжений и глубину упрочнённого слоя. Авторский вклад Гачеговой Е.А. в публикацию составляет 65%.*

5. Vshivkov A.N., Iziyomova A.Yu., **Gachegova E.A.**, Plekhov O.A. Structural and fatigue features of Ti64 Alloy after different laser shock peening // Russian Physics Journal. – 2024. – Vol. 67, № 3. – P. 287-295. (Scopus, Q3)  
*Изучены структурные и усталостные характеристики сплава ВТ6 после лазерной ударной обработки.* Авторский вклад Гачеговой Е.А. в публикацию составляет 70%.
6. Vshivkov A.N., Iziyomova A.Yu., **Gachegova E.A.**, Bartolomei M.L., Plekhov O.A., Ugolnikov M.V., Ilinykh A.V., Wildemann V.E.. Crack propagation under residual stress field induced by laser shock peening // Russian Physics Journal. – 2024. – Vol. 67, № 9. – P. 1449-1455. (Scopus, ВАК, Q3)  
*В работе проанализировано распространение трещины в поле остаточных напряжений после лазерной ударной обработки.* Авторский вклад Гачеговой Е.А. в публикацию составляет 60%.
7. Verezhak M., Vshivkov A., **Gachegova E.**, Bartolomei M., Mayer A., Swaroop S. Application of deep learning for technological parameter optimization of laser shock peening of Ti-6Al-4V alloy // Fracture and Structural Integrity. – 2024. – Vol. 18, № 70. – P. 121-132. (Scopus, WoS, Q2)  
*В работе предложена оптимизация параметров лазерной ударной обработки на основе методов машинного обучения.* Авторский вклад Гачеговой Е.А. в публикацию составляет 55%.
8. **Гачегова Е.А.**, Сихамов Р., Фенцке Ф., Кашаев Н., Плехов О.А. Влияние лазерной ударной проковки на мало- и многоцикловую усталость титанового сплава ОТ4-0 // Прикладная механика и техническая физика. – 2022. – Т. 63, № 2 (372). – С. 182-191. (Scopus, WoS, ВАК, Q2)  
*В работе исследовано влияние лазерной ударной обработки на усталостную долговечность сплава ОТ4-0.* Авторский вклад Гачеговой Е.А. в публикацию составляет 75%.
9. Прохоров А.Е., Вшивков А.Н., **Гачегова Е.А.**, Плехов О.А. Использование метода лазерной ударной проковки в целях увеличения усталостного ресурса металлических материалов // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2022. – Т. 88, № 1-1. – С. 92-97. (ВАК, Q3)  
*В работе рассмотрены технологические возможности лазерной ударной обработки для повышения усталостного ресурса.* Авторский вклад Гачеговой Е.А. в публикацию составляет 70%.
10. Бартоломей М.Л., Изюмова А.Ю., **Гачегова Е.А.**, Вшивков А.Н., Плехов О.А., Swaroop S. Численный анализ остаточных напряжений при двухстороннем симметричном лазерном ударном упрочнении тонких пластин из титанового сплава ВТ6 // Вычислительная механика сплошных сред. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 411-421. (Scopus, ВАК, Q3)  
*Проведён численный анализ распределения остаточных напряжений при лазерной ударной обработке.* Авторский вклад Гачеговой Е.А. в публикацию составляет 60%.
11. Гончар А.В., Плехов О.А., Курашкин К.В., **Гачегова Е.А.**, Вшивков А.Н. Определение остаточных напряжений в образце из стали AISI 316Ti ультразвуковым методом после лазерной ударной проковки // Дефектоскопия. – 2025. – № 4. – С. 16-28. (Scopus, Q3)  
*В работе выполнено сопоставление ультразвукового и механического методов определения остаточных напряжений.* Авторский вклад Гачеговой Е.А. в публикацию составляет 60%.
12. Bartolomei M., Iziyomova A., Vshivkova A., **Gachegova E.**, Plekhov O. Numerical investigation of residual stress field induced by laser shock peening // Procedia Structural Integrity. – 2025. – Vol. 72. – P. 135-140. (Scopus)

*В работе представлено численное исследование формирования остаточных напряжений при лазерной ударной обработке. Авторский вклад Гачеговой Е.А. в публикацию составляет 70%.*

13. **Gachegova E.A.**, Plekhov O.A., Vshivkov A.N. Studies on laser shock peening with different absorbing coatings // Procedia Structural Integrity. – 2025. – Vol. 72. – P. 260-264. (Scopus)

*В работе исследовано влияние различных покрытий на эффективность лазерной ударной обработки. Авторский вклад Гачеговой Е.А. в публикацию составляет 90%.*

14. **Gachegova E.A.**, Vinogradov I.M., Iziumova A.Yu., Vshivkov A.N., Bartolomei M.L., Kudryashev I.S., Plekhov O.A., Zherebtsov S.V. Comparative analysis of methods for measuring residual stresses in a nickel alloy after laser shock peening // Diagnostics, Resource and Mechanics of materials and structures. – 2025. – Vol. 4. – P. 65-86. (Scopus, Q3)

*В работе проведено сравнительное исследование методов измерения остаточных напряжений после лазерной ударной обработки и определены области их применимости. Авторский вклад Гачеговой Е.А. в публикацию составляет 60%.*

15. Патент РФ № 2796661 С1, МПК С21D 1/09. Способ обработки плоской заготовки из титанового сплава с концентратором напряжений; заявл. 19.09.2022; опубл. 29.05.2023 / Амосов К.А., Скрябиков С.В., Кузьменко С.В., Вшивков А.Н., Плехов О.А., **Гачегова Е.А.**, Изюмова А.Ю., Прохоров А.Е.; заявитель ФГБУН ПФИЦ УрО РАН.

*В патенте предложен способ лазерной ударной обработки плоских заготовок из титановых сплавов с концентраторами напряжений, обеспечивающий формирование заданного поля сжимающих остаточных напряжений и повышение усталостной долговечности изделий. Авторский вклад Гачеговой Е.А. в публикацию составляет 60%.*

16. Патент РФ № 2833635 С1, МПК В23К 26/356, В23К 103/14. Способ лазерной ударной обработки тонкой кромки лопатки, выполненной из титанового сплава, компрессора газотурбинного двигателя; заявл. 24.07.2024; опубл. 28.01.2025 / Изюмова А.Ю., Бартоломей М.Л., Вшивков А.Н., Плехов О.А., **Гачегова Е.А.**; заявитель ФГБУН ПФИЦ УрО РАН.

*В патенте разработан способ лазерной ударной обработки тонких кромок компрессорных лопаток из титановых сплавов, позволяющий формировать сжимающие остаточные напряжения без искажения геометрии профиля и тем самым повышать эксплуатационную надежность деталей. Авторский вклад Гачеговой Е.А. в публикацию составляет 60%.*

17. Патент РФ № 2834607 С1, МПК G01N 19/06, G01N 3/20. Способ определения распределения остаточных напряжений по толщине металлоизделия с высокими поверхностными градиентами; заявл. 27.06.2024; опубл. 11.02.2025 / Петухов Д.С., Келлер И.Э., Плехов О.А., **Гачегова Е.А.**, Максимов А.Б.; заявитель ФГБУН ПФИЦ УрО РАН.

*Предложен способ определения профиля остаточных напряжений по толщине металлоизделия при наличии высоких поверхностных градиентов, обеспечивающий повышение достоверности измерений после лазерной ударной обработки. Авторский вклад Гачеговой Е.А. в публикацию составляет 50%.*

18. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023682641. Программа для лазерной ударной проковки лопаток компрессора; заявл. 13.10.2023; опубл. 27.10.2023 / **Гачегова Е.А.**, Вшивков А.Н.; заявитель ФГБУН ПФИЦ УрО РАН.

*Разработана программа для управления процессом лазерной ударной проковки кромки компрессорной лопатки, обеспечивающая автоматизацию выбора режимов обработки и воспроизводимость формирования остаточных напряжений. Авторский вклад Гачеговой Е.А. в публикацию составляет 90%.*

Публикации содержат в сумме 205 страниц и в полной мере отражают основные научные результаты работы. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах в тексте диссертации отсутствуют.

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы:** от оппонентов и ведущей организации.

1. Положительный отзыв официального оппонента Макарова А.В. В отзыве представлен анализ содержания диссертации, отмечается актуальность темы диссертации; отмечены новизна, научная и практическая значимость и достоверность полученных результатов. Оппонент отмечает следующие замечания по диссертации и автореферату:

- формулировки научной новизны носят преимущественно описательный характер и недостаточно полно раскрывают содержание полученных научных результатов;
- указано на отсутствие в литературном обзоре рассмотрения современных методов многомасштабного анализа остаточных напряжений, позволяющих исследовать напряжения различных масштабных уровней;
- высказаны замечания к отдельным используемым в работе терминам и формулировкам;
- вопрос о корректности переноса результатов сравнительного анализа методов определения остаточных напряжений, выполненного на никелевом сплаве, на исследуемые титановые сплавы;
- отмечена недостаточная полнота обсуждения особенностей распределения остаточных напряжений, формируемых после лазерной ударной обработки, и их возможного влияния на процессы усталостного разрушения;
- высказано пожелание более детального анализа возможных структурных изменений и механизмов упрочнения титанового сплава после лазерной ударной обработки;
- указаны отдельные недостатки редакционного характера, связанные с оформлением текста, обозначениями на рисунках и наличием опечаток.

2. Положительный отзыв официального оппонента Салимона А.И. В отзыве отмечено, что диссертационная работа направлена на создание научной, методической, инструментальной и информационной основы для применения лазерной ударной обработки при повышении усталостной долговечности элементов авиационной техники. Полученные результаты имеют теоретическое и практическое значение для разработки технологий лазерной ударной обработки, оценки эффективности защитных покрытий, определения остаточных напряжений и повышения ресурса ответственных элементов конструкций. Оппонент отмечает следующие замечания:

- отмечена недостаточная полнота обоснования выбора объектов исследования, а также пожелание представить дополнительные данные о влиянии толщины образцов и условий нагружения на полученные результаты;
- высказан вопрос о возможном короблении образцов вследствие формирования глубоких полей остаточных напряжений и отсутствии обсуждения данного эффекта в работе;
- указано на ограниченный объем исследования влияния защитных покрытий (выбор материалов покрытий, их толщины и возможных комбинаций);

- отмечена недостаточная полнота обсуждения результатов эволюции теплового потока (гл. 4, рис. 4.19-4.23) и высказано пожелание более чётко обосновать использование параметров и расчётных зависимостей, полученных для сплава ТС-4, при анализе остаточных напряжений в сплаве ВТ6;
- указаны отдельные ошибки в записи формул, а также опiski и неточности редакционного характера.

3. Положительный отзыв ведущей организации ИПСМ РАН. В отзыве отмечается, что диссертация является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной на высоком научном уровне и содержащей новые научно обоснованные результаты в области механики деформируемого твёрдого тела. Полученные результаты имеют существенное значение для развития представлений о механизмах формирования остаточных напряжений при лазерной ударной обработке и повышения усталостной долговечности конструкционных материалов, а также обладают практической значимостью для повышения ресурса ответственных элементов конструкций. Ведущая организация отмечает следующие замечания:

- недостаточно выраженный критический анализ литературных данных и недостаточно четкая формулировка актуальной научной проблемы исследования;
- недостаточно подробное обоснование выбора титановых сплавов ВТ1-0, ОТ4-0 и ВТ6 в качестве объектов исследования;
- необходимо четче выделить основной научный результат диссертационной работы;
- необходимо рассмотреть третий компонент остаточных напряжений в направлении нормали к поверхности;
- отсутствует обоснование выбора толщин используемых поглощающих покрытий и анализа влияния их толщины на исследуемые эффекты;
- предложено оценить ориентацию главных осей остаточных напряжений после лазерной ударной обработки для прогнозирования эффективности задержки зарождения усталостной трещины;
- указаны отдельные неточности в обозначениях и оформлении результатов, представленных в тексте диссертации.

**На автореферат поступило 9 отзывов:**

1. Положительный отзыв от Балохонова Р.Р., д.ф.-м.н., заведующего лабораторией механики структурно-неоднородных сред; Романовой В.А., д.ф.-м.н., главного научного сотрудника лаборатории механики структурно-неоднородных сред ФГБУН "Институт физики прочности и материаловедения им. В.Е.Панина СО РАН", г. Томск (1 замечание);
2. Положительный отзыв от Беляева А.К., д.ф.-м.н., члена-корреспондента РАН, главного научного сотрудника лаборатории мехатроники; Свияженинова Е.Д., д.т.н., ведущего научного сотрудника лаборатории мехатроники ФГБУН "Институт проблем машиноведения РАН", г. Санкт-Петербург (7 замечаний);
3. Положительный отзыв от Брагова А.М., д.т.н., профессора, главного научного сотрудника лаборатории динамического испытания материалов НИИ механики ФГАОУ ВО "Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И.Лобачевского"; г. Нижний Новгород (2 замечания);

4. Положительный отзыв от Крауса Е.И., д.ф.-м.н., и.о. директора ФГБУН "Институт теоретической и прикладной механики им. С.А.Христиановича СО РАН", г. Новосибирск (5 замечаний);
5. Положительный отзыв от Макарова П.В., к.т.н., начальника отделения динамики и прочности авиационных двигателей ФАУ "Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И.Баранова, г. Москва (1 замечание);
6. Положительный отзыв от Москвичева В.В., д.т.н., профессора, главного научного сотрудника, научного руководителя Красноярского филиала ФГБУН "Федеральный исследовательский центр информационных и вычислительных технологий", г. Красноярск (2 замечания);
7. Положительный отзыв от Корниенко Л.А., к.ф.-м.н., старшего научного сотрудника; Панина С.В., д.т.н., профессора, члена-корреспондента РАН, заведующего лабораторией механики полимерных композиционных материалов ФГБУН "Институт физики прочности и материаловедения им. В.Е.Панина СО РАН", г. Томск (4 замечания);
8. Положительный отзыв от Туманова А.В., к.т.н., заведующего лабораторией прочности Института энергетики и перспективных технологий ФГБУН Федеральный исследовательский центр "Казанский научный центр РАН", г. Казань (3 замечания);
9. Положительный отзыв от Шилько Е.В., д.ф.-м.н., главного научного сотрудника лаборатории компьютерного конструирования материалов ФГБУН "Институт физики прочности и материаловедения им. В.Е.Панина СО РАН", г. Томск (3 замечания).

**В отзывах на автореферат содержатся следующие замечания:**

- отмечена недостаточная полнота обсуждения отдельных аспектов формирования, релаксации и перераспределения остаточных напряжений, а также их связи с характеристиками прочности и пластичности исследуемых сплавов;
- высказаны вопросы, касающиеся физических механизмов формирования остаточных напряжений при лазерной ударной обработке, включая роль дефектной структуры и возможных микроструктурных изменений материала;
- отмечена необходимость более детального анализа влияния исходного микроструктурного состояния материала на результаты лазерной ударной обработки;
- высказаны замечания относительно обоснования отдельных параметров лазерной ударной обработки и границ применимости полученных закономерностей для других материалов и схем обработки;
- поставлены вопросы, связанные с точностью и особенностями определения остаточных напряжений методом сверления отверстий;
- отмечена недостаточная полнота описания использованных моделей и подходов численного моделирования, а также критериев выбора режимов механических испытаний;
- высказаны замечания, касающиеся учета пространственного распределения остаточных напряжений относительно концентратора напряжений и влияния этого фактора на усталостную долговечность;
- отмечена целесообразность более подробного сравнения лазерной ударной обработки с другими технологиями поверхностного упрочнения;

- поставлены вопросы о возможности переноса разработанных подходов на реальные детали сложной геометрии, а также об ограничениях практического применения предложенных режимов обработки;
- высказаны замечания, связанные с учетом шероховатости поверхности, анизотропии свойств материала, температурной стабильности остаточных напряжений и действующих нормативных подходов к их оценке;
- отмечена необходимость более полного анализа всех компонент тензора остаточных напряжений;
- указаны отдельные неточности в представлении иллюстративного материала и недостаточная детализация отдельных положений, выносимых на защиту.

В отзывах отмечено, что диссертация является законченным исследованием и представляет научный интерес, прошла достаточную апробацию, содержит новые результаты, достоверность которых обоснована, тема работы является актуальной, результаты имеют высокую научную ценность и большое прикладное значение.

Выбор оппонентов и ведущей организации обосновывается следующим:

**официальные оппоненты** являются одними из ведущих специалистов в области механики деформируемого твердого тела, имеют большое число публикации с результатами теоретических и экспериментальных работ, обладают достаточной квалификацией, позволяющей оценить новизну представленных на защиту результатов, их научную и практическую значимость, обоснованность и достоверность полученных выводов;

**ведущая организация** ИПСМ РАН является одним из ведущих научных центров в области исследований физики и механики деформируемых материалов, исследования процессов пластической деформации, формирования структуры и свойств металлических сплавов. В институте проводятся фундаментальные и прикладные исследования закономерностей деформирования, разрушения и повышения эксплуатационных характеристик конструкционных материалов, включая титановые и никелевые сплавы. Значительное внимание уделяется изучению остаточных напряжений, процессов поверхностного упрочнения, влияния термомеханических воздействий на структуру и механические свойства материалов, а также разработке технологий повышения долговечности ответственных элементов конструкций авиационной и энергетической техники. Научные результаты ИПСМ РАН широко известны в России и за рубежом, а научные школы института получают поддержку в виде грантов от ведущих научных фондов и контрактов с промышленными предприятиями. Отзыв ведущей организации, содержащий подробную, по главам, характеристику содержания диссертационной работы; высокую положительную оценку актуальности темы исследования, достоверности, новизны, теоретической и практической значимости изложенных результатов обсужден и одобрен на расширенном заседании отдела сверхпластической обработки перспективных материалов 29.04.2026 г. в присутствии признанных авторитетных специалистов по теме защищаемой диссертации.

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

**разработан** экспериментальный программно-аппаратный комплекс лазерной ударной обработки, позволяющий исследовать процесс взаимодействия лазерного излучения с веществом в широком диапазоне плотностей мощности и проводить обработку деталей сложной геометрии;

**предложен** подход к повышению усталостной долговечности образцов с концентраторами напряжений на основе обработки прилегающих к концентратору напряжений зон высокоинтенсивным импульсным лазером;

**доказано**, что остаточные напряжения, созданные при взаимодействии лазерного излучения с поверхностью металла, позволяюткратно повысить усталостную долговечность титановых образцов с концентраторами напряжений;

**введены** рекомендации по применению метода сверления отверстий для определения остаточных напряжений в металлах на глубину до одного миллиметра и предложена методика оптимального применения лазерной ударной обработки для образцов с концентраторами напряжений с целью повышения их усталостной долговечности.

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

**доказано**, что для оценки усталостной долговечности остаточные напряжения, созданные методом лазерной ударной обработки, необходимы в расчётной схеме в качестве аддитивной добавки;

**применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов):**

**использованы** современные экспериментальные установки и методы исследования остаточных напряжений и их влияния на усталостную долговечность, включающие импульсный лазер с энергией 9 Дж, метод сверления отверстий, метод рентгеновской дифракции, усталостные испытания;

**изложены** особенности прохождения упруго-пластических волн в слоистой среде в условиях лазерной ударной обработки и результаты расчетов долей энергии, проходящей в материал при использовании различных абляционных слоёв;

**раскрыты** особенности взаимосвязи между параметрами лазерного воздействия, распределением остаточных напряжений и характеристиками усталостного разрушения образцов с концентраторами напряжений;

**изучены** особенности процессов зарождения и распространения усталостных трещин в титановых сплавах с учетом особенностей распределения остаточных напряжений;

**проведен** анализ особенностей генерации упругопластических волн в металлах, индуцированных взаимодействием с лазерным излучением, определен диапазон плотности мощности, обеспечивающий необходимую глубину и величину остаточных напряжений.

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

**разработан и внедрен** метод генерации остаточных напряжений в металлах лазерным излучением, обеспечивающий создание остаточных напряжений в титановых сплавах на глубину до одного миллиметра;

**определены** оптимальные величины плотности мощности лазерного излучения для реализации метода лазерной ударной обработки и алгоритмы для расчёта эпюры остаточных напряжений методом сверления;

**создана** база данных распределений остаточных напряжений в образцах из титановых сплавов ВТ6, ОТ4-0, ВТ1-0 для верификации численных моделей и разработки технологий поверхностного упрочнения;

**представлены** методические рекомендации по применению лазерной ударной обработки элементов конструкций с концентраторами напряжений, работающих в условиях циклического нагружения.

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

**для экспериментальных работ** результаты получены с использованием современного сертифицированного испытательного оборудования, включая роботизированный комплекс лазерной ударной обработки, систему измерения остаточных напряжений, рентгеновский дифрактометр и поверенные сервогидравлические машины для усталостных испытаний; обеспечена воспроизводимость результатов при повторных экспериментах;

**теория** построена на фундаментальных положениях механики деформируемого твердого тела, методах вычислительной механики, полученные результаты не противоречат частным данным, ранее опубликованным отечественными и зарубежными исследователями;

**идея базируется** на использовании возможности лазерной ударной обработки для создания благоприятных остаточных напряжений, повышающих усталостные свойства образцов с концентраторами напряжений;

**использованы** различные экспериментальные методы для построения распределения остаточных напряжений по глубине, определены условия обработки данных эксперимента, обеспечивающие соответствие полученных результатов;

**подтверждена** возможность кратного повышения усталостной долговечности металлических элементов конструкций за счет использования лазерной ударной обработки;

**установлено**, что разработанные методики и предложенные режимы лазерной ударной обработки оказывают существенное влияние на процесс зарождения усталостных трещин.

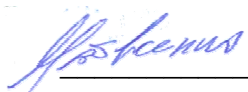
**Личный вклад соискателя состоит в** непосредственном участии на всех этапах выполнения работы, включая анализ современного состояния исследований по теме диссертации, участие в создании программно-аппаратного комплекса лазерной ударной обработки, разработку и реализацию экспериментальных методик, проведение лазерной ударной обработки исследуемых образцов, измерение остаточных напряжений, проведение усталостных испытаний, моделирование напряженно-деформированного состояния образцов в процессе обработки и испытаний, обработку и интерпретацию экспериментальных данных и подготовку публикаций по теме диссертации.

**Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи (проблемы) и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается** последовательностью исследования, взаимосвязанностью поставленных задач, используемых методов и полученных выводов.

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует требованиям п. 9 "Положения о присуждении ученых степеней" № 842, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г.: в ней содержится решение задачи механики деформируемого твердого тела, связанной с установлением закономерностей формирования лазерно-индуцированных остаточных напряжений, обеспечивающих повышение усталостной долговечности образцов из титановых сплавов с концентраторами напряжений. Полученные результаты имеют значение для развития теории усталостного разрушения и остаточных напряжений, а также могут быть использованы при разработке технологий поверхностного упрочнения и повышении ресурса ответственных элементов конструкций авиационной, энергетической и машиностроительной техники. На заседании 27 мая 2026 г. диссертационный совет принял решение присудить Гачеговой Е.А. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 9 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании из 21 человека, входящего в состав совета, дополнительно введено на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за – 16, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель  
диссертационного совета Д 004.036.01  
д.т.н., профессор, академик РАН  
Матвеев Валерий Павлович

 / Матвеев В.П.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 004.036.01  
д.ф.-м.н., доцент  
Зуев Андрей Леонидович

 / Зуев А.Л.

  
М.П.

29 мая 2026 г.