

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА  
24.2.316.03 НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КОМСОМОЛЬСКИЙ-НА-АМУРЕ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» ПО  
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

Аттестационное дело № \_\_\_\_\_

Решение диссертационного совета от 17 декабря 2025 года № 18

**О присуждении** Прокудину Александру Николаевичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Задачи механики деформируемого твердого тела при наличии центробежных сил» по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твёрдого тела» принята к защите 10 сентября 2025 г., протокол № 6, диссертационным советом 24.2.316.03 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет», 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, д. 27, приказ Минобрнауки России 24 июня 2016 г. № 787/нк. и приказ Минобрнауки России от 20 октября 2017 г. № 1017/нк.

Соискатель Прокудин Александр Николаевич, 1985 года рождения, в 2008 году закончил ГОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет» с присуждением квалификации «Математик, системный программист» по специальности «Прикладная математика и информатика»; в 2011 г. защитил кандидатскую диссертацию по специальности 01.02.04 – «Механика деформируемого твердого тела» с присуждением ученой степени кандидата технических наук; с 2008 года работал в должностях младшего научного сотрудника, научного сотрудника, заведующего лабораторией ФГБУН Институт машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Комсомольск-на-Амуре; с 2016 года работает в должности ведущего научного сотрудника Института машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения Российской академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Комсомольск-на-Амуре.

Диссертация выполнена в Институте машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения Российской академии наук Федерального государственного

бюджетного учреждения науки Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Комсомольск-на-Амуре.

**Научный консультант** – Буренин Анатолий Александрович, доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник Института машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения Российской академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровский Федеральный исследовательский центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Комсомольск-на-Амуре.

**Официальные оппоненты:**

Георгиевский Дмитрий Владимирович – доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, заведующий кафедрой «Теория упругости» ФГБОУ ВО «МГУ имени М.В. Ломоносова», г. Москва;

Садовский Владимир Михайлович – доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, заведующий отделом «Вычислительная механика деформируемых сред» Института вычислительного моделирования — обособленного подразделения ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», г. Красноярск;

Артемов Михаил Анатольевич – доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры «Программное обеспечение и администрирование информационных систем» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г. Воронеж, **дали положительные отзывы на диссертацию.**

**Ведущая организация** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук», г. Новосибирск – в своем положительном заключении, подписанном Кургузовым Владимиром Дмитриевичем, доктором физико-математических наук, доцентом, главным научным сотрудником лаборатории механики композитов, и утвержденном врио директора Ерманюком Евгением Валерьевичем, указала, что диссертационная работа А.Н. Прокудина содержит ряд новых аналитических решений задач о деформировании вращающихся цилиндров из идеального упругопластического материала на стадиях нагрузки и разгрузки, включая повторное пластическое течение; универсальное аналитическое решение упругопластической задачи о вращающемся линейно-упрочняемом цилиндре; точные аналитические решения для линейно-экспоненциального закона упрочнения, а также для некоторых частных случаев степенного закона упрочнения; новые решения, учитывающие вязкие эффекты (ползучесть и

вязкопластичность) в материале диска при наличии центробежных сил; численные схемы расчета необратимых деформаций во вращающемся диске с граничными условиями различного вида (полый диск и диск с жестким включением) с учетом углового ускорения.

Практическая значимость работы, по мнению ведущей организации, состоит в возможности использования результатов при проектировании машин и механизмов, элементы которых находятся под действием центробежных сил. Данные упругопластического анализа могут найти применение для расчета предельно допустимой скорости вращения в осесимметричных деталях. Найденные решения упругопластических задач могут использоваться в технологиях упрочнения цилиндрических деталей методом ротационного автофретирования. Аналитические решения для цилиндра и диска равной прочности безусловно найдут применение в задачах оптимального проектирования маховичных накопителей энергии.

Ведущая организация отмечает, что, исходя из высокого научного уровня, строгой обоснованности полученных решений, актуальности и ценности результатов, как с теоретической, так и практической точки зрения, диссертационная работа на тему «Задачи механики деформируемого твердого тела при наличии центробежных сил» отвечает всем требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемых к докторским диссертациям (постановление Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. N 842 (ред. от 16.10.2024) «Положение о присуждении ученых степеней»), а ее автор Прокудин Александр Николаевич заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.8. – «Механика деформируемого твердого тела».

Соискатель имеет 57 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 26 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 23 работы. В диссертации отсутствует заимствованный материал без ссылок на авторов или источники заимствования, отсутствует использование результатов научных работ, выполненных соискателем ученой степени в соавторстве, без ссылок на соавторов. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации.

**Наиболее значимые научные работы по теме диссертации, в полной мере отражающие существенные положения и выводы диссертации:**

1. Prokudin A. N. Exact elastoplastic analysis of a rotating cylinder with a rigid inclusion under mechanical loading and unloading // ZAMM. 2020. Vol. 100, no. 3. e201900213. doi:10.1002/zamm.201900213

2. Begun A. S., Burenin A. A., Kovtanyuk L. V., Prokudin A. N. Irreversible deformation of a rotating disk having angular acceleration // Acta Mech. 2021. Vol. 232, no. 5. P. 1917–1931. doi:10.1007/s00707-021-02942-5

3. Прокудин А.Н. Влияние переменного модуля Юнга на остаточные напряжения, вызванные ротационным автофретированием полого цилиндра с закрепленными торцами // Вестник ПНИПУ. Механика. 2023. № 6. С. 91-103. doi: 10.15593/perm.mech/2023.6.09

4. Прокудин А.Н. Расчет профиля равнопрочного вращающегося диска переменной толщины с учетом анизотропии и разной прочности при растяжении и сжатии // Вестник СамГТУ. Серия «Физико-математические науки» 2024. Т. 28. № 4. С. 701–720. doi:10.14498/vsgtu2108

5. Prokudin A. N. Elastoplastic analysis of linearly hardening rotating hollow and solid cylinders with respect to unified yield criterion // Iran. J. Sci. Technol. - Trans. Mech. Eng. 2025. doi:10.1007/s40997-025-00919-6

**На диссертацию и автореферат поступили отзывы (все положительные):**

**1. Отзыв на диссертацию ведущей организации** Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева Сибирского отделения Российской академии наук» имеет замечания и вопросы:

1. Глава 1. Нет строгого обоснования применимости деформационной теории пластичности к рассматриваемым в работе процессам деформирования.

2. Материал идеально пластический, однако безразмерные напряжения, нормированные пределом текучести, на рис. 1.5-1.10 больше единицы.

3. Глава 2. Не указаны материалы, поведение которых описывает общее кусочно-линейное условие пластичности (см. рис. 2.1в).

4. Глава 3. Функция напряжений Эйри в теории упругости применяется, когда массовыми силами можно пренебречь. Во вращающихся дисках действуют инерционные силы, поэтому использование представлений (3.50) требует обоснования.

5. Не ясен физический смысл условия эллиптичности функции в левой части неравенства (4.10)

**2. Отзыв на диссертацию официального оппонента Георгиевского Д.В.** имеет замечания и вопросы:

1. Для полноты выводов было бы интересно хотя бы в нескольких исследованных задачах в качестве критерия пластичности выбрать еще и критерий Мизеса-Генки и сравнить результаты с имеющимися. На с. 16 автор пишет, что это условие нелинейно и

труднодоступно для аналитических построений, но в простейших случаях, когда бесконечно по  $z$  тело имеет осесимметричную форму и фактическими переменными являются только  $r$  и  $t$ , аналитические решения возможны.

2. Могут ли реальный вертикально расположенный вращающийся цилиндр либо диск, находясь в поле силы тяжести, потерять в результате совместного действия массовой силы и перегрузок осесимметричность формы? Насколько чувствительны полученные в диссертации результаты по НДС к несовершенствам формы и возможному эксцентриситету внутреннего жёсткого включения (нежелательные резонансы, биения и т.д.)?

3. В работе ничего не говорится о возможности при моделировании и аналитических расчетах использовать температурно-временную аналогию, хотя в разделе 2.3 речь идет о термоупругопластическом деформировании, а вся глава 3 посвящена проблемам ползучести.

4. В тексте автореферата содержатся неточности и опечатки. Так, из сравнения предложений, описывающих содержимое разделов 1.2 (с. 9) и 1.4 (с. 14), можно сделать вывод, что они посвящены одной и той же задаче. На с. 3 следует поправить инициалы у А.М. Локощенко и Б.Е. Победри.

**3. Отзыв на диссертацию официального оппонента Садовского В.М.** имеет замечания и вопросы:

1. Для более полного решения задачи о вращающемся цилиндре (толстостенной трубе) в состоянии плоской деформации необходимо исследовать краевые эффекты, обусловленные закреплением (жесткой заделкой) торцов. Граничные условия с равными нулю осевым перемещением и касательными напряжениями на торцах реализовать невозможно, поскольку необходимо исключить поперечное сжатие, если только цилиндр не изготовлен из ауксетического материала, расширяющегося в поперечном направлении. Это снижает практическую ценность полученного решения.

2. Если материал в разделе 1.2 несжимаемый ( $\nu \rightarrow 0.5$ ), то во вращающемся диске реализуется гидростатическое напряженное состояние. Поэтому в пластичность он не переходит и сохраняет свою прочность при сколь угодно большой угловой скорости. Чем объяснить такое поведение, на первый взгляд противоречащее здравому смыслу?

3. Строго говоря, поля напряжений и приращений перемещений в зонах пластической деформации должны удовлетворять условию диссипативности:

$$\sigma_{rr} d\varepsilon_{rr}^p + \sigma_{\theta\theta} d\varepsilon_{\theta\theta}^p + \sigma_{zz} d\varepsilon_{zz}^p \geq 0,$$

что равносильно двум неравенствам:  $d\lambda_1 \geq 0$  и  $d\lambda_2 \geq 0$  в определяющем уравнений (1.9).

Проверялось ли это условие?

4. Некоторые формулы при построении точных решений не приводятся в диссертации из-за их громоздкости. В этих условиях целесообразно было бы разработать компьютерные программы для инженерных расчетов на основе полученных решений, и зарегистрировать их в Роспатенте.

5. В тексте диссертации и в автореферате встречаются опечатки, которые, впрочем, не препятствуют адекватному восприятию сути работы. Иногда используется терминология, которая не является общепринятой. Торцы цилиндра называются концами, функции текучести — пластическими потенциалами, упрочняющийся материал — упрочняемым (так он назывался бы, если бы не упрочнялся самостоятельно по своей природе).

**4. Отзыв на диссертацию официального оппонента Артемова М.А. имеет замечания и вопросы:**

1. На стр. 18 приведено уравнение (1.5) «Единственное нетривиальное уравнение равновесия в цилиндре». Несмотря на то, что это общеизвестное уравнение, представляется нужным дать библиографическую ссылку. Например, в книги В.В. Соколовского «Теория пластичности» 1969 года используется термин уравнение равновесия, подразумевается собственная (неинерциальная) система отсчета. Другие авторы используют термин уравнение движения, поскольку подразумевается инерциальная система отсчета, например U. Gamer (ZAMP. Vol. 35. 1984).

2. На стр. 19 «Скорость вращения  $\Omega$  цилиндра монотонно возрастает от 0 до  $\Omega_{\max}$ , а затем также монотонно убывает вплоть до полной остановки цилиндра (разгрузка)» Ранее была определена безразмерная величина  $\Omega$ , которая здесь представлена как угловая скорость. И только на с. 242 говорится, что «Параметр  $\Omega$  для удобства называется скоростью вращения». В работе также используется правильный термин для  $\Omega$  — параметр нагрузки. Термин разгрузка увязывается с уменьшением угловой скорости. Это правильно, если при уменьшении  $\Omega$  в упругой области не происходит увеличения эквивалентного напряжения и возможного появления повторного пластического деформирования, о чем автор в дальнейшем и говорит. Замечание вызвано неудачной фразой.

3. При рассмотрении решения (1.13) используется термин «константы интегрирования». Это устоявшийся термин. В общем случае — это неизвестные величины (функции задаваемых параметров модели).

4. К формуле (1.77) дан правильный комментарий, поскольку ранее указан выбор предела пластичности. При ином выборе предела пластичности может быть иной вывод.

5. Отмечается, что в процессе дальнейшего нагружения, если вектор напряжения для некоторой точки трубы попадает на режим ребра поверхности Треска или Ишлинского-Ивлева, одновременно зарождаются две зоны пластичности. В ходе дальнейшего изложения работы все понятно. Но до решения задачи желательно указывать причину одновременного зарождения нескольких зон. Обоснование этого несложно изложить.

6. На с. 79 «материал цилиндров принимался идеальным». Лучше полностью: идеально упругопластическим.

7. Желательно привести рисунки численных расчетов для разных значений внутреннего радиуса трубы.

8. На с. 95 сказано: «предположим, что напряжения являются линейной комбинацией полных деформаций». Эту фразу можно заменить на фразу «далее покажем». Из линейной связи напряжений и упругих деформаций, линейной связи компонент тензора пластической деформации и эквивалентной деформации, входящей в первой степени в кусочно-линейное условие пластичности — следует указанное предположение.

**5. Отзыв на автореферат** Александрова Сергея Евгеньевича, доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника лаборатории механики новых материалов и технологий Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук содержит следующие замечания:

1. Название работы слишком общее. Рассматриваются только вращающиеся цилиндры и диски в условиях осевой симметрии?

2. Постановка задач в разделах 1.2-1.4 требует пояснения. В 1.2 рассматривается цилиндр с жестким включением. В 1.3 рассматривается сплошной цилиндр и постановку задачи этот раздел отправляет смотреть в 1.2. В 1.4 опять (как и в 1.2) рассматривается цилиндр с жестким включением. При этом, постановку задачи нужно смотреть в разделе 1.3, который отправляет смотреть постановку задачи в разделе 1.2

3. Известно, что при определенных условиях нагружения возможно возникновение локализации деформации и, как следствие, возникает такая ситуация, когда предположение о плосконапряженном состоянии неприемлемо. Простейший случай описан в книге Р.

Хилла «Математическая теория пластичности». Из автореферата неясно, учитывалась ли возможность такой локализации деформации в конкретных решениях.

4. Угловое ускорение учитывалось при применении наиболее общей из рассмотренных моделей материала. Причем, отмечается, что угловое ускорение может оказывать заметное влияние на напряженно-деформированное состояние. Почему в таком случае это ускорение не учитывалось при применении более простых моделей?

5. В разделе 2.2 применение кусочно-линейных условий пластичности обосновывается тем, что соответствующие решения могут быть альтернативой трудоемким решениям, основанным на условии Мизеса. Это утверждение представляется спорным. Действительно, для заданного режима деформирования решение с использованием кусочно-линейных условий пластичности является достаточно простым. Однако если требуется сшить решения в заранее неизвестных 24 областях, как отмечено после уравнения (10), то задача представляется весьма трудоемкой.

**6. Отзыв на автореферат** Бережного Дмитрия Валерьевича, доктора физико-математических наук, доцента, профессора кафедры теоретической механики Института математики и механики им. Н.И. Лобачевского ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» содержит замечания:

1. Имеют ли практическое значение задачи с жестким включением внутри цилиндра (например, задачи из разделов 1.2 и 1.4)?

2. В работе нумерация зон пластического деформирования проводится к зависимости от того, какой части поверхности текучести соответствует пластическое течение. А можно ли эти зоны идентифицировать характером распределения деформаций, например, пластических, внутри них?

3. В автореферате отсутствует заключение.

**7. Отзыв на автореферат** Ерофеева Владимира Ивановича, доктора физико-математических наук, директора Института проблем машиностроения РАН — филиала ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук» (ИПМ РАН) замечаний не имеет.

**8. Отзыв на автореферат** Захарова Игоря Николаевича, доктора технических наук, доцента, заведующего кафедрой сопротивления материалов Волгоградского государственного технического университета замечаний не имеет.

**9. Отзыв на автореферат** Ковалева Алексея Викторовича, доктора физико-математических наук, профессора, заведующего кафедрой механики и компьютерной



моделирования Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет» имеет замечание:

1. Автореферат следовало бы дополнить заключением, содержащим основные результаты и вывод по диссертационному исследованию.

**10. Отзыв на автореферат** Козлова Владимира Анатольевича, доктора физико-математических наук, доцента, заведующего кафедрой строительной механики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный технический университет» содержит замечание:

1. В тексте автореферата не представлен сравнительный анализ полученных автором новых решений с известными подходами других авторов, нет сравнения численных расчетов по ним, позволяющего верифицировать полученные автором результаты.

**11. Отзыв на автореферат** Люкшина Бориса Александровича, доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой механики и графики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, и Панина Сергея Викторовича, доктора технических наук, профессора, член-корреспондента РАН, заведующего лабораторией механики полимерных композиционных материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики прочности и материаловедения СО РАН содержит замечания:

1. При прочтении автореферата создается ощущение, что текст обрывается неожиданно «на полуслове». Нет заключения, в котором обычно подводятся итоги исследования и обсуждаются наиболее значимые результаты.

**12. Отзыв на автореферат** Мыльников Владимира Викторовича, доктора физико-математических наук, профессора кафедры «Технологии строительства», главного научного сотрудника Нижегородского государственного архитектурно-строительного университета, заведующего лабораторией прочности и пластичности функциональных материалов содержит следующие замечания:

1. Не совсем ясно учитывалась ли скорость нарастания и убывания напряжений и их закон распределения на каждой стадии нагрузки и разгрузки.

2. Нет выводов или заключения по работе в автореферате.

**13. Отзыв на автореферат** Пенькова Виктора Борисовича, доктора физико-математических наук, профессора кафедры общей механики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет» и Иванычева Дмитрия Алексеевича, кандидата физико-математических наук, доцента кафедры общей механики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет» содержит следующие замечания и вопросы:

1. В разделе автореферата 1.2 говорится, что полные деформации являются малыми. Можно ли это утверждать при наличии пластических составляющих?
2. Не возникает ли в результате пластических деформаций изменение физико-механических свойств материала, в частности модулей упругости, которое необходимо учитывать при повторных этапах нагружения?
3. Термин «обобщенная плоская деформация» (с. 4 а/р) не является широко используемым и требует пояснения. Под этим понимается средний по толщине пластины уровень деформаций, или нечто иное?
4. «Точное решение» (с. 4 а/р) предполагает строгое аналитическое решение или численное, но полученное с гарантированно высокой точностью?
5. «Вращающийся ... цилиндр с закрепленными концами» предполагает, что торцевые поверхности цилиндра спаяны с жесткими поверхностями, вращающимися вместе с цилиндром?
6. В главе 4, посвященной построению равнопрочных цилиндра и диска за счет варьирования геометрических и физических параметров объектов, неплохо было бы подчеркнуть, что такого рода конструирование деталей машин существенно снижает эксплуатационные затраты, обусловленные их весом при значительных пространственных перемещениях.

**14. Отзыв на автореферат** Радченко Владимира Павловича, доктора физико-математических наук, профессора, заведующий кафедрой «Прикладная математика и информатика» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет» имеет следующие замечания:

1. Диски и толстостенные цилиндры — классические математические объекты для апробации вновь разработанных методов решения задач МДТТ, исследований в этом направлении необозримое количество. Поэтому в научной новизне желательно было бы

использовать следующий оборот: «Разработан метод решения ..., позволяющий в отличие от существующих... получить следующие новые результаты...».

2. Рецензенту не ясен пункт 2.5, где утверждается о влиянии предварительного пластического деформирования на модуль Юнга и предел текучести. Каков механизм этого эффекта: это «деформационное старение», «фазовые переходы» под нагрузкой или другое? Обладают ли этими свойствами использованные в расчетах материалы AA6022, DP980 или это просто модельные расчеты, и что это за материалы (металлы, пластики...?).

3. К сожалению, в автореферате отсутствует пункт «Заключение», в котором отражаются основные полученные результаты.

4. На стр. 37 имеется ссылка на формулу (31), которой нет в тексте автореферата.

**15. Отзыв на автореферат** Савостьяновой Ирины Леонидовны, доктора физико-математических наук, доцента, зам. директора по учебной работе Научно-образовательного центра «Институт космических исследований и высоких технологий» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева» имеет замечание:

1. Следует отметить опечатки и пунктуационные ошибки, встречающиеся по тексту автореферата; так же отсутствует указание на наличие выводов по последней главе и не представлено содержание заключения диссертационного исследования.

**16. Отзыв на автореферат** Трусова Петра Валентиновича, доктора физико-математических наук, профессора, заслуженного деятеля науки РФ, заведующего кафедрой математического моделирования систем и процессов Пермского национального исследовательского политехнического университета содержит следующие замечания:

1. Название диссертации представляется излишне общим, неконкретным. Рассматриваются ограниченные классы как материалов, так и конфигураций исследуемых тел.

2. Стр. 4, «Научная новизна», п. 2. В каком смысле следует понимать универсальность полученного аналитического решения, в каких предположениях оно получено? Как понимать содержание предложения «Построено... решение... во вращающемся цилиндре»? Вероятно, имелось в виду построение решения задачи об исследовании напряженно-деформированного состояния (НДС) вращающегося цилиндра?

3. Формулировка пункта «Достоверность полученных результатов требует корректировки. Установленные корректности постановок задач относится к компетенциям экспертного сообщества (прежде всего — оппонентов), а не автора работы. Само по себе

сравнение результатов не может быть свидетельством достоверности, для этого необходимо удовлетворительное соответствие авторских результатов данным, полученными другими исследователями.

4. Общее замечание. Из каких материалов изготовлены рассматриваемые детали, какова технология их создания? Вопросы возникают в связи с необходимостью обоснования предложений об однородности и изотропии свойств, осевой симметрии начального напряженно-деформированного состояния (как правило, в реальных изделиях имеет место неоднородность свойств по объему, имеются остаточные напряжения, поля которых могут не обладать осевой симметрией). В связи с этим представляет интерес исследование устойчивости полученных решений по отношению к неосесимметричным возмущениям (свойств материала, начального НДС).

**17. Отзыв на автореферат** Чернышова Александра Даниловича, доктора физико-математических наук, профессора кафедры высшей математики федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет инженерных технологий» содержит замечания:

1. В автореферате приводится ссылка на уравнение (31), которое не записано.
2. В вычислительной части диссертации используется старинный метод конечных разностей, тогда как существует современный метод быстрых разложений, имеющий следующие преимущества:
  - метод аналитический;
  - значительно менее трудоемкий;
  - точность на несколько порядков выше;
  - ничтожно малая погрешность не накапливается и распределена равномерно по всей рассматриваемой области;
  - погрешность меньше погрешности в задании входных данных рассматриваемой задачи.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации** обосновывается тем, что официальные оппоненты являются компетентными специалистами в исследуемой области, а ведущая организация широко известна достижениями работающих в ней специалистов в области науки, соответствующей тематике диссертации.

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

**разработаны** новые подходы к постановке и решению задач механики деформируемого твердого тела с учетом центробежных сил, которые позволили выявить закономерности влияния эффектов изотропного упрочнения, промежуточного главного напряжения, последовательного накопления необратимых деформаций ползучести и пластичности, а также падения модуля Юнга после предварительного пластического деформирования на напряженно-деформированное состояние во вращающихся цилиндрах и дисках;

**предложены** новые аналитические решения краевых задач теории упругости, пластичности и упругопластичности для тел с цилиндрической симметрией, находящихся под действием центробежных сил;

**предложен** способ согласования потенциалов пластичности и ползучести и численный алгоритм расчета напряженно-деформированного состояния в задачах о необратимом деформировании переменного вращающегося дисков с учетом углового ускорения;

**предложены** новые постановки и решения задач теории упругости о построении равнопрочного вращающегося диска переменной толщины и равнопрочного вращающегося цилиндра из неоднородного материала;

**доказана** связь напряженно-деформированного состояния вращающихся дисков и цилиндров и критической скорости их вращения с эффектом промежуточного главного напряжения;

**доказана** необходимость учета углового ускорения в расчетах упруговязкопластических деформаций в дисках, находящихся под действием переменной центробежной нагрузки;

**указана** зависимость профиля равнопрочного вращающегося диска от анизотропии и разной прочности материала при растяжении и сжатии;

новые понятия не вводились.

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

**доказана** возможность получения точных аналитических решений задач об упругопластическом деформировании вращающихся цилиндров и дисков с различными типами граничных условий при использовании кусочно-линейных условий пластичности и модели изотропно упрочняющегося упругопластического материала, в том числе для материалов со степенным и линейно-экспоненциальным законом упрочнения;

**изучены** закономерности зарождения и развития областей пластического деформирования в телах цилиндрической симметрии, находящихся под действием центробежных сил, в условиях активного нагружения и разгрузки, а также закономерности формирования остаточных напряжений в теле после его предварительного вращения с заданной угловой скоростью;

**изложены** качественные и количественные различия в эволюции упругопластического деформирования вращающегося цилиндра с жестким включением в изотермической постановке и с учетом стационарного температурного градиента между внутренней и внешней поверхностью цилиндра;

**проведена** модернизация существующих математических моделей процесса ротационного автофретирования, позволившая включить в расчет разгрузки и остаточных напряжений эффект падения модуля Юнга в результате предварительной пластической деформации, и **изучено** влияние этого эффекта на распределение и величину остаточных напряжений в цилиндрической трубе после ее упрочнения с помощью ротационного автофретирования;

**изложены** качественные и количественные различия в развитии упругопластического течения во вращающемся диске с учетом и без учета вязкого сопротивления пластическому течению материала;

**применительно к проблематике диссертации результативно использован** метод конечных разностей для решения начально-краевых задач теории малых упруговязкопластических деформаций;

**применительно к проблематике диссертации результативно использованы известные** математические методы и строгие доказательства соотношений математических моделей, следующих из классических подходов механики деформируемых тел применительно к решаемым задачам.

**проведена модернизация** существующих численных алгоритмов на основе метода конечных разностей для определения напряжённо-деформированного состояния в задачах о расчете деформаций ползучести и пластичности во вращающихся дисках;

**изложен** принцип построения равнопрочного вращающегося диска переменного профиля с заданными нагрузками на внутреннем и внешнем контуре в соответствии с произвольным эллиптическим условием прочности материала;

**изложен** принцип построения вращающегося цилиндра из неоднородного материала с заданным напряженным состоянием (постоянное тангенциальное напряжение,

постоянная разность между тангенциальным и радиальным напряжением, постоянная линейная комбинация тангенциального и радиального напряжений).

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

**созданы** расчетные методики определения напряженно-деформированного состояния вращающихся цилиндров и дисков различного вида (сплошные, полые, с жестким включением) из идеальных и изотропно упрочняющихся упругопластических материалов;

**созданы** методики расчета остаточных напряжений, вызванных ротационным автофретированием полых цилиндрических заготовок из нелинейно упрочняющихся материалов;

**созданы** расчетные методики определения необратимых деформаций ползучести и пластичности с учетом вязких свойств материала;

**представлены** предложения по оптимальному проектированию вращающихся дисков и цилиндров, например, маховичных накопителей энергии, с учетом анизотропии и асимметрии прочностных свойств материала;

**представлены** предложения по использованию полученных точных аналитических решений для верификации алгоритмов и программ расчётов, основанных на численных методах, например МКЭ.

**Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**теория построена** с использованием классических подходов механики деформируемого твердого тела, а все результаты подтверждаются корректными математическими выводами и имеют корректную физическую интерпретацию;

**использовано** сравнение результатов, полученных в диссертации, с решениями, найденными ранее другими авторами для схожих задач, но в более простой постановке, которое показало, что все представленные точные аналитические решения в частных случаях совпадают с известными зависимостями;

**установлено** качественное и количественное совпадение точных аналитических решений, найденных в диссертации, с результатами численных расчетов других исследователей;

для проведения численных расчетов **использовались** классические численные методы, такие как метод конечных разностей и метод Рунге-Кутты;

экспериментальных исследований не проводилось.

**Личный вклад соискателя состоит в**

в постановке и решении всех задач в главах 1, 2 и 4 диссертации и анализе полученных результатов;

в непосредственном участии в постановке и решении задач, и анализе полученных результатов в главе 3 диссертации;

**подготовке** основных публикаций, отражающих результаты исследований.

**В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.**

Соискатель Прокудин А.Н. ответил на заданные в ходе заседания вопросы, к замечаниям не критического характера привел собственные аргументы, с частью замечаний согласился и высказал возможность их учета в своих дальнейших исследованиях.

**Заключение:**

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу и отвечает требованиям, установленным пунктом 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к докторским диссертациям.

На заседании 17 декабря 2025 г. диссертационный совет 24.2.316.03 принял решение за постановку и решения новых краевых задач механики деформируемого твердого тела об определении напряженно-деформированного состояния во вращающихся цилиндрах и дисках, включая расчет полей остаточных напряжений и критических скоростей вращения, присудить Прокудину А. Н. учёную степень доктора физико-математических наук по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твёрдого тела».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 7 докторов наук по профилю рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 16, против 0.

Председатель  
диссертационного совета

Учёный секретарь  
диссертационного совета

17.12.2025 года



Дмитриев Эдуард Анатольевич

Григорьева Анна Леонидовна