

Утверждаю
Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Институт механики Уральского отделения
Российской академии наук,
доктор технических наук,

В.Б. Дементьев

« 23 »

2015 г.



ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт механики Уральского отделения Российской академии наук
на диссертационную работу Яковлева Игоря Александровича
«Моделирование НДС механических систем с нелинейными свойствами
в сложных условиях нагружения»,
представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твёрдого тела

Актуальность избранной темы

Создание современных образцов новой техники в области энергетического и нефтегазового машиностроения тесно связано с применением методов компьютерного моделирования процессов деформирования, повреждения, разрушения материалов в элементах конструкций для определения оптимальных параметров работы и получения прогнозов прочности, работоспособности и долговечности ответственных деталей и узлов. В этой области востребованы эффективные и универсальные подходы и методики, позволяющие корректно описывать термомеханические процессы в твердых телах с нелинейными свойствами, подвергающихся сложному неизотермическому нагружению в результате воздействия высокотемпературных газообразных или жидких рабочих сред.

Диссертация И.А. Яковлева посвящена актуальным проблемам развития перспективных подходов и методов численного моделирования нестационарных сопряженных процессов деформирования и тепломассопереноса в механических системах с нелинейными свойствами для прогнозирования НДС элементов конструкций при критических температурах и давлениях рабочих сред.

Связь работы с планами соответствующих отраслей науки и народного хозяйства

Работа имеет важное значение для развития перспективных научных исследований, связанных с постановкой и решением краевых задач для тел различной конфигурации и структуры при механических и тепловых воздействиях, в том числе применительно к объектам новой техники, а также для исследований, направленных на разработку и развитие математических моделей и численных методов анализа применительно к

задачам, не допускающим прямого аналитического исследования, что соответствует пунктам 7, 8 паспорта специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Сформулированные в работе методики и полученные результаты имеют широкие перспективы использования при решении широкого круга прикладных задач связанных с развитием и модернизацией отечественного энергетического и нефтегазового машиностроения при создании новых образцов техники с высокими эксплуатационными характеристиками (надежностью, долговечностью, отказоустойчивостью и т.д.).

Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

В рамках диссертационных исследований сформулирован новый подход к численному решению сопряженных задач термомеханики для прогнозирования НДС механических систем, где твердые тела с нелинейными свойствами подвергаются сложному нагружению в условиях воздействия высокотемпературных потоков газов или жидкостей с локальными источниками тепла.

Разработан новый итерационный вычислительный алгоритм решения сопряженных термомеханических задач и сформулирована обобщенная физико-математическая модель, описывающая нестационарные сопряженные процессы деформирования и тепломассообмена в системах, где твердые тела подвергаются термосиловому воздействию неизотермических потоков газов или жидкостей с учетом возможности возникновения деформаций пластичности и ползучести и зависимости физико-механических параметров материалов от температуры.

С использованием разработанных моделей и алгоритмов были проведены численные исследования, в результате которых были расширены представления о закономерностях эволюции теплового и напряженно-деформированного состояния типовых элементов конструкций энергетических устройств, изготавливаемых из хромоникелетитановых сталей аустенитного класса, в процессе эксплуатации которых наблюдается значительный разогрев. Получены новые данные о зависимостях напряжений и деформаций, формирующихся в типовых элементах конструкций реакторов фильтрационного горения при различных мерах тепловой защиты в условиях достижения температур сгорания топлива 1500 °С. Получены новые теоретические данные, устанавливающие закономерности эволюции теплового и напряженно-деформированного состояния упруговязкопластических твердых тел под действием высокотемпературных турбулентных потоков газов в зависимости от скорости их движения. Впервые были получены закономерности эволюции деформаций пластичности и ползучести в материале элементов конструкций трубопроводных систем в процессе их прогрева протекающим высокотемпературным газом от температуры окружающей среды до 750 °С в зависимости от скорости изменения теплового состояния системы и скорости течения рабочих сред.

Значимость для науки и производства (практики) полученных автором диссертации результатов

Разработанный новый подход, физико-математическая модель и вычислительный алгоритм расширяют возможности численного исследования нелинейных сопряженных процессов деформирования и тепломассообмена в механических системах. Применение

разработанной методики при решении научных поисковых задач обеспечит более полное понимание закономерностей эволюции сопряженных термомеханических процессов в системах, где твердые тела с нелинейными свойствами подвергаются воздействию высокотемпературных потоков жидкостей или газов.

При проектировании объектов новой техники в сферах энергетического и нефтегазового машиностроения, предложенный подход может применяться на этапе инженерного анализа для более достоверного прогнозирования прочности и долговечности деталей и узлов различных конфигураций, эксплуатация которых сопровождается значительным разогревом. Учет связанности процессов деформации и тепломассопереноса в явном виде позволяет исследовать связи между характером внешних воздействий со стороны рабочих сред и деформационным поведением элементов конструкций, что позволяет эффективно определять оптимальные режимы работы различных устройств без риска возникновения недопустимых деформаций и разрушения.

Постановка и решение прикладных краевых сопряженных задач термомеханики для определения теплового и напряженно-деформированного состояний механических систем представляет интерес для внедрения в инженерную практику. Данные об НДС элементов конструкции реактора фильтрационного горения в зависимости от толщины слоя футеровки реакционной камеры, могут быть использованы при разработке мер тепловой защиты энергетических устройств подобного класса.

Разработанные модели и методики использовались при выполнении фундаментальных исследований в рамках проектов ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы, соглашение от 06 августа 2012 г. № 14.В37.21.0441, а также при выполнении НИОКР по проекту Фонда содействия инновациям по теме «Разработка пилотного образца реакторного блока GTL-комплекса по утилизации ПНГ путем переработки в синтетическое моторное топливо».

Разработанная методика и полученные данные могут быть использованы при разработке технологий, входящих в перечень критических, утвержденных Указом Президента РФ от 7 июля 2011 года № 899 в области энергоэффективного производства и преобразования энергии на органическом топливе, ракетно-космической и транспортной техники нового поколения, при создании высокоскоростных транспортных средств.

Результаты, представленные в диссертации И.А. Яковлева, могут быть рекомендованы для расширенного использования в организациях, осуществляющих научные исследования в области моделирования сопряженных термомеханических процессов: Институт проблем машиноведения РАН (г. Санкт-Петербург), РФЯЦ ВНИИЭФ (г. Саров), РФЯЦ-ВНИИТФ (г. Снежинск), Сибирский государственный аэрокосмический университет имени акад. М.Ф. Решетнева (г. Красноярск), МГТУ имени Н.Э. Баумана (г. Москва), Институт проблем химической физики РАН (г. Черноголовка), Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского (г. Нижний Новгород), и др., а также могут применяться для прогнозирования прочности, долговечности и работоспособности ответственных деталей и узлов при создании объектов новой техники в области энергетического, химического и нефтегазового машиностроения в ряде российских и зарубежных организаций, таких как АО «Объединённая двигателестроительная корпорация», ОАО «ВНИПИнефть», ПАО «СИБУР Холдинг», ОАО «Машиностроительная корпорация «Уралмаш» и других.

Материалы диссертации свидетельствуют о том, что результаты, полученные автором диссертации, имеют важное значение для науки и имеют широкие перспективы для практического применения.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и заключений

Представленные в работе физико-математические модели основываются на базовых положениях классических теорий механики сплошных сред, что обеспечивает корректность математических постановок задач. Исследовалась сходимость построенных вычислительных алгоритмов, в основе которых лежат апробированные численные методы решения. В диссертации представлены результаты решения тестовых задач, проводилось сравнение результатов численного моделирования с известными теоретическими решениями, достоверными экспериментальными данными и результатами других исследователей. Сравнение значений напряжений, перемещений, температур, пластических деформаций и деформаций ползучести показало, что погрешность численных решений составляет не более 5,5 %.

Таким образом, выносимые за защиту научные положения, выводы и заключения являются обоснованными и достоверными и не противоречат современным положениям механики деформируемого твердого тела.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом, замечания по оформлению

Работа посвящена созданию нового универсального подхода численного решения сопряженных задач термомеханики в трехмерной постановке. Не вызывает сомнения, что разработанная модель, методика и итерационный алгоритм позволяют получать достоверные прогнозы НДС сложных механических систем, где происходит тепловое и механическое взаимодействие твердых тел с газообразными или жидкими средами при наличии локальных источников тепла с учетом нелинейных поведения материалов и зависимости их физико-механических свойств от температуры.

С использованием разработанной методики численно исследовались процессы эволюции НДС типовых элементов конструкций энергетических устройств. В частности исследовалось механическое поведение хромоникелетитановых аустенитных сталей при их использовании в конструкциях реакционных камер реакторов фильтрационного горения в зависимости от толщины футеровочного теплозащитного слоя в диапазоне до 45 мм, когда температура газа в зоне горения достигает 1500 °С. Установлены закономерности формирования и эволюции НДС элементов конструкций трубопроводных систем в результате воздействия газовых потоков с высокой температурой движущихся в турбулентном режиме. Получены новые теоретические данные об интенсивности развития деформаций пластичности и ползучести в твердых телах в процессе их прогрева до 750 °С турбулентными потоками высокотемпературных газов. Показано, что на временном интервале до 50 мин. процесс прогрева элементов конструкций энергетических устройств в сложных условиях нагружения сопровождается эффектом релаксации напряжений и активным ростом необратимых деформаций. Полученные результаты численного моделирования подробно обсуждены и хорошо обоснованы.

Оценивая содержание диссертации в целом, можно заключить, что она представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную в рамках актуального научного направления, содержащую новые научные результаты и имеющую практическое значение. Диссертационная работа написана грамотным научным языком и хорошо оформлена.

При этом по содержанию и изложению работы имеются некоторые **замечания**:

1. В работе следовало бы большее внимание уделить вопросу выбора и использования моделей упругопластического поведения материалов с упрочнением при численном моделировании механических процессов в твердых телах в условиях, когда температура изменяется в широких пределах и достигает $0,6 \cdot T_{пл}$.

2. Следовало бы более подробно изложить методику построения конечно-элементных гексаэдрических блочно-структурированных сеток в расчетных областях со сложной топологией. Следовало рассмотреть вопрос о требованиях к размерам конечных элементов в области формирования значительных температурных градиентов для минимизации влияния численных эффектов на результаты прогнозирования НДС.

3. В работе следовало бы более подробно остановиться на используемых компьютерных платформах, операционных системах и используемых программных средствах, а также на времени счета, что позволило бы более адекватно оценить универсальность предложенной методики и возможность ее применения для внедрения в инженерную практику для прогнозирования прочности и долговечности ответственных деталей и узлов энергетических машин.

Сделанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы И.А. Яковлева.

Автореферат в полной мере соответствует основным положениям диссертации.

Подтверждения опубликованных основных результатов диссертации в научной печати

Основные научные результаты, содержащиеся в диссертации, изложены в 10 опубликованных работах, в том числе 5 статей в журналах, включенных в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

Диссертация И.А. Яковлева посвящена разработке новой методики численного решения нелинейных сопряженных задач термомеханики и ее использованию для исследования закономерностей эволюции НДС типовых элементов конструкций в сложных неизотермических условиях нагружения. Диссертация соответствует отрасли «физико-математические науки», а содержательная часть и полученные результаты соответствуют специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Диссертация представляет собой специально подготовленную рукопись, содержит совокупность новых научных результатов и имеет внутреннее единство. Личный вклад автора в решение поставленных проблем не вызывает сомнений. Оформление диссертации в целом отвечает требованиям, установленным ВАК Министерства образования науки Российской Федерации.

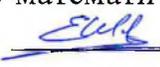
Таким образом, диссертация «Моделирование НДС механических систем с нелинейными свойствами в сложных условиях нагружения» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи о разработке универсальной методики моделирования сопряженных термомеханических процессов в сложных механических системах для прогнозирования НДС твердых тел в сложных

неизотермических условиях нагружения, имеющей существенное значение для развития механики деформируемого твердого тела, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Яковлев Игорь Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Отзыв заслушан и одобрен на совместном заседании научно-технического семинара лаборатории информационно-измерительных систем и базовой кафедры «Нанотехнологии и микросистемная техника», протокол № 8 от 23.11.2015.

Заведующий базовой кафедрой
«Нанотехнологии и микросистемная техника»
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт механики Уральского отделения Российской академии наук
доктор физико-математических наук,
профессор  Вахрушев Александр Васильевич

426067, г. Ижевск, ул. Т. Барамзиной, 34
+7 (3412) 50-82-00, +79124668029
e-mail: ipm@udman.ru
vakhrushev-a@yandex.ru

Заведующий лабораторией
информационно-измерительных систем
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт механики Уральского отделения Российской академии наук
доктор физико-математических наук,
профессор  Шелковников Евгений Юрьевич

426067, г. Ижевск, ул. Т. Барамзиной, 34
+7 (3412) 50-82-00, +79124668029
e-mail: ipm@udman.ru
evshelk@mail.ru
<http://www.udman.ru/iam/ru>

Подписи А.В. Вахрушева и
Е.Ю Шелковникова заверяю
Ученый секретарь, к.ф.м.н.





Северюхин А.В