

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОПШОНЕНТА

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

Диссертация Игоря Александровича Яковлева посвящена развитию одного из перспективных подходов к численному решению сопряженных термомеханических задач для прогнозирования механического поведения твердых тел с нелинейными свойствами, подвергающихся воздействию высокотемпературных газов или жидкостей.

Тема диссертации И.А. Яковлева, несомненно, является *актуальной*. При разработке объектов новой техники в области энергетического и нефтегазового машиностроения остро востребованы универсальные модели и методы компьютерного моделирования сопряженных термомеханических процессов, позволяющие описывать процессы деформирования, повреждения, разрушения материалов для определения оптимальных параметров работы и получения прогнозов прочности, отказоустойчивости, работоспособности, долговечности ответственных узлов и элементов конструкций.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Научные результаты диссертационного исследования хорошо *обоснованы*, так как опираются на строгие математические методы, принципы и подходы, принятые в современной механике сплошных сред. Математические постановки задач подробно изложены. Сформулированные вычислительные алгоритмы основаны на апробированных численных методах, применяющихся для решения данного класса краевых задач механики деформируемого твердого тела. Представленные в работе результаты моделирования термомеханических процессов в типовых элементах конструкций энергетических установок не вызывают сомнений. Теоретические прогнозы напряжений, температур, перемещений и неупругих деформаций лежат адекватно отражают условия нагружения и варьируются в допустимых пределах.

Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Достоверность результатов обеспечивается математической корректностью постановок задач, применением апробированных методов решения, решением тестовых задач, результатами исследования сходимости представленных алгоритмов, сравнением результатов численного моделирования с известными теоретическими решениями, достоверными экспериментальными данными и результатами других исследователей.

К числу основных *научных результатов* диссертационной работы можно отнести:

– универсальный подход численного решения сопряженных задач термомеханики, позволяющего описывать механическое поведение твердых тел в сложных

неизотермических условиях нагружения в результате воздействия высокотемпературных потоков газов или жидкостей;

– физико-математическую модель, методику и итерационный алгоритм для моделирования нестационарных сопряженных процессов деформирования и тепломассопереноса, когда в явном виде учитывается влияние параметров и структуры течения с локальными источниками тепла на эволюцию теплового и напряженно-деформированного состояния механических систем;

– новые данные о закономерностях механического поведения хромоникелетитановых аустенитных сталей при их использовании в конструкциях реакторов фильтрационного горения в зависимости от толщины футеровочного теплозащитного слоя в диапазоне до 45 мм, когда температура газа в зоне горения достигает 1500 °С;

– закономерности формирования и эволюции напряженно-деформированного состояния элементов конструкций трубопроводных систем в результате воздействия газовых потоков с высокой температурой движущихся в турбулентном режиме;

– новые теоретические данные об интенсивности развития деформаций пластичности и ползучести в твердых телах в процессе их прогрева до 750 °С турбулентными потоками высокотемпературных газов;

– новые данные, устанавливающие связь между характером внешних тепловых воздействий и нелинейной динамикой развития напряженно-деформированного состояния системы в зависимости от скорости изменения теплового состояния.

Значимость для науки и практики полученных автором результатов

Разработанная в диссертационной работе Яковлева И.А. методика моделирования напряженно-деформированного состояния элементов конструкций в сложных неизотермических условиях нагружения имеет *существенное значение* для развития специальности, так как расширяет возможности применения аппарата механики деформируемого твердого тела для численного исследования сопряженных процессов деформирования и тепломассопереноса в механических системах с нелинейными свойствами, элементы которых подвергаются тепловому и механическому воздействию со стороны газов или жидкостей с локальными источниками тепла в условиях значительного разогрева.

При решении научно-практических задач, результаты исследования могут *широко применяться* в процессе проектирования объектов новой техники в сферах энергетического и нефтегазового машиностроения. Предложенный подход может применяться на этапе инженерного анализа для более достоверного прогнозирования длительной прочности и работоспособности деталей и узлов широкого спектра энергетических машин, в процессе работы которых достигаются температуры до 1500 °С. Явный учет связанности процессов деформации и тепломассопереноса позволяет исследовать связи между характером внешних воздействий со стороны рабочих сред и формирующимся при этом напряженно-деформированного состояние элементов конструкций, что позволяет эффективно определять оптимальные и рациональные режимы работы различных устройств без риска возникновения недопустимых деформаций и разрушения.

Разработанные модели и методики использовались при выполнении фундаментальных исследований в рамках проектов ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг., 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».

Из материалов диссертации видно, что сформулированная методика и полученные данные могут быть использованы при разработке технологий, входящих в перечень критических технологий, 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.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Научное и практическое значение работы связано с необходимостью получения достоверных результатов моделирования напряженно-деформированного состояния различных по конфигурации элементов конструкций, эксплуатирующийся в условиях воздействия неизотермических рабочих сред для корректного прогнозирования параметров долговечности, надежности, прочности и отказоустойчивости ответственных узлов разнообразных устройств и установок. В частности, разработанная методика может найти широкое применение при проведении научно-технических и проектных работ, связанных с созданием различных видов реакторов, двигателей внутреннего сгорания, турбомашин, горелочных аппаратов, авиационной техники и т.д., а также при проведении научно-поисковых исследований в области создания новых материалов, предназначенных для использования в энергетике и нефтегазовом машиностроении.

Оценка содержания диссертации, ее завершенности

Диссертация состоит из введения, пяти разделов и заключения, а также содержит список литературы из 172 наименований.

В первом разделе работы обсуждаются проблемы решения задач вычислительной термомеханики. Представлен новый универсальный подход к моделированию процессов деформирования твердых тел в сложных неизотермических условиях нагружения при воздействии жидких или газообразных сред с локальными источниками тепла, который основан на интеграции в рамках единой вычислительной модели идейно близких численных методов решения краевых задач механики деформируемого твердого тела и механики жидкости и газа со специальным алгоритмом сопряжения.

Во втором разделе диссертации представлена обобщенная физико-математическая постановка сопряженных термомеханических задач с начальными и граничными условиями. Предложенная физико-математическая модель позволяет описывать механическое поведение твердых тел в условиях изменяющегося теплового состояния системы с учетом возможности возникновения в материалах деформаций пластичности и ползучести.

В третьем разделе обсуждаются вопросы построения итерационного алгоритма численного решения сопряженных термомеханических задач, который позволяет описывать сопряженные процессы эволюции теплового и напряженно-деформированного состояния сложных механических систем с учетом возможности возникновения необратимых деформаций и зависимости физико-механических свойств материалов от температуры.

В четвертом разделе представлены результаты решения серии тестовых задач. Показано, что использование разработанных моделей и методик приводит к корректным результатам моделирования, не противоречащим современным положениям механики деформируемого твердого тела. Результаты численного решения согласуются с имеющимися в литературе данными физических экспериментов и известными аналитическими решениями. Расхождение результатов составляет не более 5,5 %.

Пятый раздел диссертации посвящен численному моделированию процессов формирования и развития теплового и напряженно-деформированного состояния в механических системах энергетического и нефтегазового машиностроения в сложных неизотермических условиях нагружения. Приведены результаты моделирования термомеханических процессов в типовых элементах конструкций реакторов фильтрационного горения при различных мерах тепловой защиты и в элементах конструкций трубопроводных систем в различных условиях эксплуатации.

Диссертация Игоря Александровича Яковлева является законченной научной квалификационной работой, которая обладает внутренней целостностью, где последовательно излагаются основные этапы построения новой модели и методики решения сопряженных задач термомеханики, а также приводятся результаты численного исследования процессов эволюции напряженно-деформированного состояния типовых элементов конструкций энергетических устройств. Текст диссертации и автореферата написаны в научном стиле, в достаточной мере снабжены иллюстрациями и необходимыми пояснениями. Содержание автореферата в полной мере соответствует содержанию диссертации.

Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации

Материалы диссертации свидетельствуют о том, что Яковлевым И.А. решена задача, имеющая важное значение для 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 и 8 паспорта специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Вместе с тем, по диссертации И. А. Яковлева следует сделать ряд замечаний:

1. В названии диссертационной работы используется аббревиатура НДС. Следовало бы использовать несокращенное написание термина (напряженно-деформированное состояние).

2. Значительная часть литературных источников была опубликована раньше, чем за последние 10-15 лет. Следовало бы использовать более новые работы.

3. При формулировке методики следовало бы более подробно указать границы применимости предлагаемой методики по видам и диапазонам внешних воздействий и условиям неизотермического нагружения, а также выделить классы термомеханических задач, для которых применение разработанного подхода было бы наиболее эффективно.

Сформулированные замечания, носят рекомендательный характер и не снижают общую положительную оценку диссертационной работы И. А. Яковлева.

Материалы диссертационного исследования хорошо опубликованы и известны специалистам. 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**

Таким образом, диссертация Яковлева Игоря Александровича «Моделирование НДС механических систем с нелинейными свойствами в сложных условиях нагружения» на соискание ученой степени кандидата наук является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи создания универсальной методики моделирования напряженно-деформированного состояния твердых тел с нелинейными свойствами в сложных неизотермических условиях нагружения в трехмерной постановке и исследования закономерностей механического поведения типовых элементов конструкций энергетического оборудования под действием высокотемпературных рабочих сред, имеющей существенное значение для механики деформируемого твердого тела, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», а ее автор Яковлев Игорь Александрович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Официальный оппонент
заведующий кафедрой прикладной математики
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Томский государственный
архитектурно-строительный университет»
634003, Томская обл., г. Томск,
пл. Соляная, д. 2,
+7 (3822) 65-39-67,
rector@tsuab.ru,
<http://www.tsuab.ru>

доктор физико-математических наук, профессор



подпись

Колупаева
Светлана Николаевна

«02» декабря 2015 г.

Я, Колупаева Светлана Николаевна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Яковлева Игоря Александровича, и их дальнейшей обработкой.

Подпись С. Н. Колупаевой удостоверяю
Проректор по научной работе Томского
государственного архитектурно-строительного
университета



В.А. Клименов