

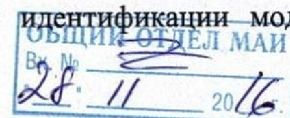
## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Леонова Сергея Сергеевича на тему «Математическое моделирование задач механики деформируемого твердого тела и численные методы их решения», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

В диссертационной работе Леонова С. С. исследуются вопросы, связанные с численным решением жестких систем обыкновенных дифференциальных уравнений (СОДУ), правые части которых могут терять смысл и проводится построение моделей, описываемых жесткими СОДУ.

**Актуальность темы исследования.** Жесткие задачи Коши для СОДУ и методы их решения начали активно исследоваться с 50-х годов прошлого века. При этом, на сегодняшний день не существует не только общих методов решения жестких задач, но и общепринятого определения жесткости. Потребность же в новых более эффективных методах решения жестких задач ощущается все больше, так как значительное число практических задач являются жесткими, например задачи химической кинетики, электродинамики и т. д. Тем более это относится к системам уравнений, правые части которых могут принимать большие значения и даже становиться неограниченными, т. е. к плохо обусловленным задачам. К подобным задачам относятся уравнения с малым параметром при старшей производной, задачи с пограничным слоем, ряд задач эволюции популяций и т. д. На данный момент отсутствуют универсальные методы решения плохо обусловленных задач. Явные методы в большинстве случаев не применимы к указанным задачам, а неявные, например формулы дифференцирования назад или методы Гира, обладают достаточным запасом устойчивости, но имеют ряд трудностей в реализации, так как сводятся к решению систем нелинейных уравнений. В диссертационной работе продолжены исследования, посвященные использованию наиболее общего на сегодняшний день подхода к решению плохо обусловленных задач – метода продолжения решения по параметру и наилучшей параметризации. Этот метод позволяет преобразовать плохо обусловленную задачу путем замены исходного аргумента задачи на наилучший аргумент, отсчитываемый вдоль интегральной кривой задачи, так, что уравнения параметризованной им задачи имеют ограниченные правые части, а сама параметризованная задача – наилучшую обусловленность.

Помимо разработки и исследования методов решения плохо обусловленных задач Коши, в диссертационной работе рассмотрена также задача идентификации моделей, описываемых начальными задачами для СОДУ со скалярными параметрами. Подобные задачи относятся к коэффициентным обратным задачам и находят широкое применение при моделировании процессов, исследуемых в механике, машиностроении, гидроаэродинамике и т. д. Обратные задачи являются некорректными и требуют для своего решения специализированных методов. Несмотря на то, что обратные задачи исследуются уже более века, все же существует потребность в новых, более общих методах их решения. В диссертации для решения задачи идентификации моделей,





возникающих при расчете деформирования металлических конструкций в условиях ползучести при постоянных напряжениях, применяется подход, использующий искусственные нейронные сети. Нейросетевое моделирование с использованием искусственных нейронных сетей активно развивается начиная с 40-х годов прошлого века. Увеличение производительности современных ЭВМ позволило нейросетевому моделированию найти применение в таких задачах как распознавание образов, обработке больших массивов данных, решении задач математической физики со сложной геометрией и т. д. Методы нейросетевого моделирования позволяют регуляризовать решаемую задачу идентификации и получить решение в виде разложения по нейросетевому базису. Полученные в диссертации результаты позволяют судить о применимости нейросетевого подхода к решению подобных задач и находятся в русле современных направлений исследования в области искусственных нейронных сетей.

Все вышесказанное определяет актуальность темы исследования.

**Научная новизна полученных результатов.** В диссертации наилучшая параметризация применяется к новому классу задач расчета деформации и длительной прочности металлических конструкций в условиях ползучести, описываемых плохо обусловленными задачами Коши для СОДУ с двумя предельными особыми точками. Показанные преимущества наилучшей параметризации позволяют судить об эффективности данного подхода при решении задач данного класса. Помимо наилучшей параметризации в диссертации рассмотрено продолжение решения по новому аргументу, который назван модифицированным наилучшим и получен путем преобразования наилучшего аргумента. Обусловленность задач преобразованных модифицированным наилучшим аргументом ниже наилучшей, но она имеет более простой вид, что дает возможность проводить вычисления быстрее. В диссертации предложен и обоснован подход к оценке обусловленности задач преобразованных модифицированным наилучшим аргументом, основанный на сопоставлении с наилучшей обусловленностью. Доказано, что среди всех модифицированных аргументов продолжения специального вида только наилучший аргумент доставляет исходной задаче Коши наилучшую обусловленность.

В задачах идентификации моделей ползучести используется нейросетевой подход, разрабатываемый в работах Д. А. Тархова и А. Н. Васильева, заключающийся в разложении искомым функций по нейросетевому базису, в качестве которого используются однослойные перцептроны различного типа. Поиск решения и параметров модели осуществляются одновременно путем минимизации функционала ошибки равного сумме взвешенных невязок. С использованием экспериментальных данных получены модели для ряда задач ползучести и вычислены относительные погрешности результатов моделирования по отношению к эксперименту. Для снижения времени обучения нейронной сети предложена комбинация алгоритмов нейросетевого моделирования и параметризации. Этот подход дал возможность сократить время обучения в разы при сохранении точности моделирования.

Методы нейросетевого моделирования показали свою эффективность также при решении некорректной задачи определения установившегося напряженного состояния во вращающемся диске, сводящейся к граничной задаче с частично заданными граничными условиями. Метод нейронных сетей позволяет регуляризовать данную задачу и



получить ее решение. При этом традиционные методы решения граничных задач требуют наличия дополнительной информации о протекании процесса деформирования.

**Практическая значимость результатов диссертации.** Все исследуемые и разработанные в диссертации методы могут быть использованы для решения практических задач. Создан комплекс программ, реализующий метод наилучшей параметризации решения плохо обусловленных задач Коши.

**Достоверность полученных результатов** обуславливается использованием апробированных и экспериментально подтвержденных определяющих соотношений ползучести и корректных численных методов решения, соответствующих особенностям рассматриваемых в диссертации задач. Все полученные результаты сопоставляются с экспериментом, расчетными данными, полученными в работах других исследователей, и имеющимися аналитическими решениями рассматриваемых задач.

Также достоверность полученных результатов подтверждается вычислением относительной погрешности полученных приближенных решений и сравнением между собой результатов решения, полученных различными методами.

**Обоснованность полученных результатов.** Все теоретические результаты, полученные в диссертации, снабжены подробными доказательствами. Выводы, положения и рекомендации, которые даются в тексте работы, подтверждены результатами решения достаточного числа тестовых задач. Это говорит о том, что результаты диссертационной работы в достаточной степени обоснованы.

#### **Замечания:**

1. При использовании метода нейронных сетей не пояснен выбор функционала ошибки в квадратичном виде, а также выбор базисных функций для конкретной задачи.
2. Идентификация моделей ползучести проводится лишь для постоянных напряжений и температур. Стоило бы также рассмотреть идентификацию моделей для переменных напряжений и температур, так как именно такие процессы чаще всего встречаются в реальности, тем более, что в диссертации описана возможность реализации подобных задач.
3. В диссертации недостаточно ясно сформулирован алгоритм выбора формы модифицированного наилучшего аргумента применительно к конкретной задаче.
4. В диссертации присутствует ряд неизбежных грамматических и пунктуационных ошибок.

Сделанные замечания не уменьшают общего хорошего впечатления от работы, нося скорее рекомендательный характер для дальнейших исследований.

**Заключение.** Диссертационная работа Леонова Сергея Сергеевича соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» и является законченным научным исследованием на актуальную тему, содержащим новые теоретические результаты и имеющим практическое значение. Все представленные в



диссертационной работе результаты опубликованы в 29 научных изданиях, из них 6 в журналах, включенных в перечень ВАК.

Диссертация соответствует паспорту специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», так как содержит новые результаты в области численных методов, математического моделирования, а также по результатам исследований разработан комплекс программ, ориентированный на решение преобразованных задач Коши для СОДУ.

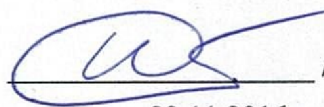
Автореферат правильно отражает содержание диссертационной работы.

Из вышесказанного можно заключить, что диссертационная работа Леонова Сергея Сергеевича «Математическое моделирование задач механики деформируемого твердого тела и численные методы их решения» соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, Леонов Сергей Сергеевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ».

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук,  
научный сотрудник лаборатории теории  
механизмов и структуры машин отдела  
«Механика машин и управление машинами»  
ФГБУН «Институт машиноведения им. А. А.  
Благонравова Российской академии наук»

Адрес: 101990, Москва, Малый  
Харитоньевский переулок, д. 4,  
тел.: 8(499)250-79-27  
e-mail: i.orlov@imash.ru, i.orlov@keldysh.ru.

 /Орлов И. А./  
23.11.2016 г.

Подпись и данные удостоверяю:  
Зам. начальника отдела кадров

 Демидова С.И./  
