



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИБМ СО РАН
член-корреспондент РАН

В.В. Шайдуров

«28» августа 2014 г.

О Т З Ы В

ведущей организации, Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения Российской академии наук, о диссертационной работе Константина Сергеевича Бормотина «Итерационные численные методы компьютерного моделирования оптимальной формовки и клепки тонкостенных панелей», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Диссертационная работа К.С. Бормотина посвящена разработке математических моделей и методов компьютерного моделирования процессов формообразования тонкостенных панелей, ориентированных на использование в авиастроении при проектировании и отработке технологий производства элементов конструкций для образцов новой техники. Актуальность данного направления исследований связана с необходимостью применения новых подходов при внедрении современных технологических процессов с повышенными требованиями к точности изготовления деталей и их эксплуатационному ресурсу. Научная новизна результатов диссертации определяется тем, что в работе развивается комплексный подход, предусматривающий совместное решение прямых и обратных задач формообразования, на основе теории нелинейного деформирования тонкостенных конструкций, современных методов вычислительной математики и программирования с использованием передовых инженерных CAD-CAE-CAM технологий. Практическая значимость работы связана с тем, что в результате ее выполнения созданы программные модули для решения производственных проблем. Отдельные разделы диссертации представлены в технических отчётах по хозяйственным договорам с филиалом ОАО Компании «Сухой» «Комсомольский-на-Амуре авиационный завод имени Ю.А. Гагарина».

Результаты, полученные в диссертации, могут быть использованы в Институте машиноведения им. А.А. Благоданова РАН, Институте проблем машиноведения РАН, Нижегородском филиале ИМАШ РАН, Институте механики сплошных сред УРО РАН, Институте гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН, Институте математики им. С.Л. Соболева СО РАН, Институте вычислительного моделирования СО РАН, Сибирском

федеральном университете, ОАО “Информационные спутниковые системы” имени академика М.Ф. Решетнева, и других научно-исследовательских и проектно-конструкторских организациях, основные научные направления которых связаны с анализом напряженно-деформированного состояния тонкостенных элементов конструкций.

Анализ содержания работы.

Первая глава посвящена обзору и анализу формулировок прямых и обратных задач механики деформируемого твердого тела и математической физики, численных методов, постановок задач оптимального управления для моделирования технологических процессов изготовления деталей и моделирования механических характеристик современных алюминиевых сплавов.

Во второй главе на основе квазистатической вариационной постановки прямых и обратных задач формообразования при ползучести и в условиях пластичности доказывается единственность решения общего класса геометрически и физически нелинейных задач, а также приводятся новые решения частных задач.

В третьей главе обратная задача формообразования формулируется в терминах вариационных неравенств, с помощью которых разрабатывается итерационный метод решения и доказывается его сходимость. Производится конечно-элементная аппроксимация итерационного метода и программная реализация в комплексе программ инженерного анализа. Рассматриваются различные варианты метода итерационной регуляризации. На примере кручения пластинки показано согласование метода с условиями сходимости при геометрической линейности и нелинейности, в условиях ползучести и пластичности.

Четвертая глава посвящена построению функционала обратной задачи оптимального деформирования при ползучести, с помощью которого находится численное решение задачи одноосного растяжения и чистого изгиба стержня с минимальными повреждениями, а также определяются законы изменения прогиба во времени при изгибе пластинки и мембраны с минимальным накоплением диссипируемой энергии. Предлагается алгоритм численного решения обратной задачи рационального формообразования панели.

В пятой главе рассматриваются задачи моделирования современных высокопрочных сплавов с учетом их механических свойств в системе MSC.Marc. Результаты расчета в MSC.Marc хорошо согласуются с имеющимися экспериментальными данными. Проводятся сравнительные расчеты задачи формовки пластинки в режиме ползучести в кинематической и контактной постановках. Рассматриваются расчеты обратной задачи технологического процесса формообразования крыльевой панели, которые апробированы путем сравнения с результатами специально проведенных опытно-промышленных испытаний.

В шестой главе рассматривается клепочная сборка обшивок. Для обеспечения необходимой геометрии обшивки при клепке используются упреждения ребер. Предлагается численный метод моделирования процесса клепки и определения соответствующих упреждений.

Заключение содержит краткий обзор основных результатов диссертации.

В приложениях приведены тексты программ и результаты опытно-промышленных испытаний.

По диссертации имеются следующие замечания:

1. В работе неверно трактуется понятие единственности решений физически нелинейных задач деформирования. Теоремы второй главы гарантируют лишь однозначность определения производных по времени через искомое решение. Доказав существование, можно только утверждать однозначную разрешимость относительно производных. Этап доказательства единственности решений (полей перемещений и напряжений) еще предстоит.
2. Теорема о разгрузке в формулировке на стр. 56, которая существенно используется в третьей и последующих главах, верна только при определенных ограничениях. В процессе разгрузки из пластического состояния могут возникать зоны повторной пластичности: под влиянием остаточных напряжений в конструкции появляются пластические деформации противоположного знака. Эффект повторной пластичности, нарушающий линейность задачи разгрузки для приращений, исследовался А.А. Бурениным и Л.В. Ковтанюк.
3. При переходе от ограничений – неравенств (4.3), (4.4) к ограничениям – равенствам (4.5), (4.6) в четвертой главе применяется метод преобразований, в котором вводятся новые неизвестные функции $\alpha_k(t)$ и $\beta_p(t)$. Производные этих функций равны нулю, если соответствующие им ограничения активны, и, вообще говоря, отличны от нуля, если нет. Чему равны производные в переходные моменты времени? Можно ли вообще дифференцировать эти функции?
4. В пятой главе отсутствует математически строгая формулировка условий контакта. Не описан алгоритм численной реализации этих условий. Фраза “... может быть выполнен методом множителей Лагранжа или методом штрафных функций” на стр. 184 плохо характеризует уровень сложности контактных задач с заранее неизвестной зоной контакта.

Несмотря на сделанные замечания, необходимо отметить, что диссертация представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, выполненную на актуальную тему, в которой получены новые научные результаты, имеющие существенное значение как для развития теории прямых и, в особенности, обратных задач формовки и клепки тонкостенных конструкций, так и для решения актуальных прикладных и производственных задач. Диссертация является научно-квалификационной

работой, отражающей теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение.

Основные результаты работы достоверны. Они подробно изложены в тексте диссертации и опубликованы в 55 научных работах, в том числе в 14 статьях в ведущих научных рецензируемых журналах, автореферат соответствует ее содержанию.

Диссертационная работа К.С. Бормотина “Итерационные численные методы компьютерного моделирования оптимальной формовки и клепки тонкостенных панелей” удовлетворяет требованиям Положения ВАК РФ о порядке присуждения научных степеней, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Заместитель директора ИВМ СО РАН,
заведующий отделом вычислительной
механики деформируемых сред
д.ф.-м.н., профессор



В.М. Садовский

Научный доклад соискателя по материалам диссертации на заседании семинара “Проблемы математического и численного моделирования” Института вычислительного моделирования СО РАН состоялся 14.09.2013 г. (<http://icm.krasn.ru/seminar.php?id=mathmod&year=2013>). Настоящий отзыв заслушан и одобрен на заседании семинара 28.08.2014 г., протокол № 7.

Ученый секретарь Института
к.ф.-м.н., доцент



Е.Д. Карпова