

## **О Т З Ы В**

официального оппонента на диссертационную работу Вин Аунг  
«Вычислительный комплекс моделирования и оптимизации процессов  
формообразования тонкостенных конструкций», представленную на  
соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные  
методы и комплексы программ»

### **1. Актуальность темы.**

Актуальность темы обусловлена возрастающими требованиями к качеству изготовления крупногабаритных металлических обводообразующих деталей, а также к повышению производительности оборудования, в том числе за счет исключения ручных доводочных работ. Для получения высокой точности размеров формуемых деталей важным является прогнозирование разгрузки для разработки штампов. В последние годы конечно-элементный анализ считается эффективным инструментом для моделирования процесса деформирования металла и прогнозирования упругого возврата. Для эффективного использования программного обеспечения конечно-элементного анализа формование листового металла и упругое восстановление должно рассматриваться как сложное физическое явление, учитывающее неупругие свойства материала, геометрическую и контактную нелинейность. Данная диссертация посвящена решению этой проблемы - моделируются технологии формообразования тонкостенных конструкций с помощью стержневой оснастки и обтяжного оборудования, разработан численный метод оптимизации процессов деформирования. Построен параллельный алгоритм, за счет которого увеличивается скорость расчетов.

### **2. Степень обоснованности научных положений сформулированных в диссертации, выводов, рекомендаций и их достоверность.**

В работе сделан обзор известных достижений и теоретических положений отечественных и зарубежных авторов по некоторым областям, непосредственно относящимся к теме исследования - теория пластичности и ползучести, методы оптимизации, технологии формовки. Все утверждения подтверждены ссылками на источники. В работе применяются апробированные методы вычислительной механики, используются современные комплексы программ инженерного анализа. О достоверности результатов диссертации свидетельствует сопоставление численных решений с известными аналитическими решениями в качественном и количественном отношении, а также приведенные результаты по исследованию сходимости разработанного метода.

Основные результаты диссертации опубликованы в 17 научных работах (полный список указан в автореферате), в т.ч. в профильном журнале "Вычислительные методы и программирование". Результаты достаточно обсуждались на международных, всероссийских и региональных конференциях (полный список указан в автореферате), в т.ч. XII Всероссийском съезде по фундаментальным проблемам теоретической и прикладной механики.

### **3. Научная новизна результатов исследований.**

Основные полученные в работе результаты соответствуют трем областям: математическому моделированию, численным методам и комплексам программ.

В области математического моделирования: формулируются задачи деформирования конструкций в процессах их изготовления, определяются критерии оптимизации в технологических процессах. Автором путем компьютерного эксперимента показана возможность управления качеством конечной детали путём подбора параметров процесса формообразования.

В области численных методов: предлагается развитие численных методов оптимального управления в задачах механики деформирования твердых тел (на основе метода динамического программирования). Получена оптимальная траектория движения управляющих органов в реконфигурируемом устройстве и обтяжном оборудовании. Предложен численный метод расчета, который уменьшает объем вычислений по сравнению с простым перебором всевозможных путей деформирования за счет сведения исходной задачи к последовательности вспомогательных (более простых) задач минимизации.

В области комплексов программ: создана программная реализация разработанных алгоритмов, которая включает пользовательские программы для MSC.Patran, MSC.Marc (на языках PCL, Fortran) и управляющую программу (на языке C++ с использованием объектно-ориентированного программирования - архитектуры COM и DCOM). Проверена работоспособность и эффективность алгоритмов в последовательном и параллельном режиме. Получено свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

### **4. Практическая значимость.**

Результатом работы является метод оценки оптимальных параметров формообразования тонкостенных конструкций и его реализация. Этот результат может быть применен на практике для нужд машиностроительных предприятий с целью оптимизации траектории деформирования и формы оснастки.

## **5. Замечания.**

По диссертации имеются следующие замечания.

1) Неудачно сформулирована часть положений, выносимых на защиту, и цель работы: "моделирование" это средство, но не цель и не результат;

2) Автор проводит развернутый обзор методов формообразования деталей в авиапромышленности, а также методов оптимизации (включая современные метаэвристики типа GA, ACO). Однако обзор методов моделирования рассматриваемых задач МДТТ (в том числе реализованных в коммерческих пакетах программ) краток и практически ограничивается только отечественной литературой. Обработка листовых деталей в режиме ползучести на стержневом пуансоне и на обтяжном оборудовании - известные технологии, используются на крупных авиационных производствах - их, без сомнения, моделировали и до автора.

3) Раздел 1.2 "Основные соотношения..." по большей части реферативен, из него тяжело понять, какие именно модели среды использует автор в своих расчетах. В частности, неясно, какой именно критерий пластического течения использовался в расчетах (вероятно, Мизеса с изотропным упрочнением, но предположить это можно только по представленным в последней главе материальным константам). Система определяющих соотношений разбросана по тексту работы. Понять, что в законе ползучести учтена разносопротивляемость материала, можно только по данным в разделе с результатами расчетов. Постановка задач геометрически нелинейная (с рядом упрощений), стоило бы сделать хотя бы краткий обзор по этой теме, включая определяющие физические соотношения в скоростной форме. Часть обозначений в тексте пропущена, о том, какой именно тензор конечных деформаций используется в работе вскользь упомянуто на стр. 47.

4) Вязкие эффекты на стадии пластического течения могут существенно изменить картину мощности пластического рассеяния, в тексте не приведены разумные основания пренебрегать ими, равно как и стадией неустановившейся ползучести.

5) Заявлено, что "во второй главе предлагается математическая формулировка задачи оптимального управления в технологических процессах", это же положение вынесено на защиту. Чем отличается математическая формулировка от приведенной в докторской диссертации научного руководителя Бормотина К.С.?

6) Результаты расчетов показывают сильную неоднородность полей напряжений и деформаций - насколько уместно использовать критерий, осредненный по объему деформирования в целом, типа (2.4)? Почему в качестве критерия выступает "поврежденность в пластичности" (стр. 43), хотя далее в тексте работы упомянута некая

комбинация поврежденности в пластичности и ползучести?

7) Описывая результаты расчетов (с. 69), автор отмечает наличие вмятин и больших деформаций в месте контакта оснастки и деформируемого материала. На с. 85 отмечает 20-процентное утонение листа. Как всё это соотносится с используемой теорией, учитывающей только конечные повороты, но не деформации?

8) При снятии нагрузки с неоднородно деформированной заготовки может произойти повторное пластическое течение, что приведет к изменению поврежденности материала. По всей видимости, используемая модель не в состоянии учесть это.

9) Графическое отображение некоторых результатов расчетов не содержит подписей, из которых можно было бы однозначно понять, эпюра какой именно величины приведена.

## **6. Заключение.**

Указанные недостатки не являются критичными, хотя и несколько снижают общее впечатление от работы, большинство из них относятся к изложению и компоновке материала. Исследование «Вычислительный комплекс моделирования и оптимизации процессов формообразования тонкостенных конструкций» является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей важное значение для развития теории и практики математического моделирования, вычислительного метода оценивания параметров технологических процессов в машиностроительной отрасли.

Диссертация соответствует заявленной теме и паспорту специальности 05.13.18 – «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ», а именно пунктам:

1. Разработка, обоснование и тестирование эффективных вычислительных методов с применением современных компьютерных технологий.
2. Реализация эффективных численных методов и алгоритмов в виде комплексов проблемно-ориентированных программ для проведения вычислительного эксперимента.
3. Комплексные исследования научных и технических проблем с применением современной технологии математического моделирования и вычислительного эксперимента.

Автореферат и публикации автора, четыре из которых представлены в ведущих рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, соответствуют основному содержанию диссертации.

Таким образом, диссертационная работа «Вычислительный комплекс моделирования и оптимизации процессов формообразования тонкостенных конструкций» удовлетворяет требованиям Положения

ВАК РФ о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.18 – математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ**

старший научный сотрудник Лаборатории проблем создания и обработки материалов и изделий обособленного подразделения Институт машиноведения и металлургии Дальневосточного отделения Российской академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Хабаровского Федерального исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук, кандидат физико-математических наук

---

Севастьянов Георгий Мамиевич

Почтовый адрес: 681005, Россия, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре,  
ул. Металлургов дом 1  
тел./факс +7 (4217) 54-95-39,  
e-mail: mail@imim.ru,  
<http://www.imim.ru>

Подпись Севастьянова Г. М. заверяю

Врио директора ИМиМ ДВО РАН ХФИЦ ДВО РАН

Комаров О. Н.