



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАШИНОВЕДЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИПМаш РАН)**



В.О., Большой проспект, д. 61, Санкт-Петербург, 199178
Тел.: (812)-321-4778; факс: (812)-321-4771; www.ipme.ru

ОГРН 1037800003560, ИНН/КПП 7801037069/780101001



УТВЕРЖДАЮ

ВРИО Директора ИПМаш РАН
проф.

А.К. Беляев

7 сентября 2015 г.

Отзыв ведущей организации

на диссертационную работу Устинова Константина Борисовича
«Механика упругого деформирования систем с покрытиями
и промежуточными слоями»,
представленную на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук по специальности
01.02.04 – механика деформируемого твердого тела

Тонкие покрытия, промежуточные слои, отличающиеся от основного материала модулями упругости и/или собственными деформациями различной природы (температурными, деформациями фазовых или химических превращений, деформациями роста) самопроизвольно возникают или специально создаются в конструктивных элементах различных устройств, а также распространены в природе. Время жизни таких устройств часто определяются напряженно-деформированным состоянием, разрушением (отслоением) и явлениями потери устойчивости, связанными с такими слоями, причем миниатюризация конструктивных элементов, характерная для современной техники, ужесточает требования к точности расчета напряжений. Это, в свою очередь, требует

разработки соответствующих моделей и подходов к расчету напряжений, учитывающих специфику тонкого слоя. В диссертации разработаны методы таких расчетов. Этим обусловлены **актуальность** и **практическая значимость** работы.

Несмотря на то что различные аспекты, связанные с механикой покрытий и тонких слоев, рассматривались многим учеными, ряд вопросов и задач остался неохваченным или нерешенным из-за принципиальных математических сложностей. Кроме того, обсуждаемым остается вопрос о том, являются ли тонкие слои объектами, для описания которых следует использовать так называемую поверхностную диффузию, или следует так или иначе учитывать толщину слоя. В диссертации разработан конструктивный и мотивированный подход к решению задач о телах с покрытиями и тонкими слоями и решены задачи механики материалов с покрытиями и промежуточными слоями, которые как проясняют существенные детали постановок, так и имеют самостоятельное значение. Эти определяются **научная новизна** и **научная значимость** работы.

Структурно диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, приложений и списка литературы из 234 наименований. Общий объем рукописи – 344 страницы в формате машинописного текста.

Главными достижениями автора являются

- описание собственно деформирования тонких покрытий и слоев (без отслоений);
- постановка, разработка аналитически-численного метода и решение задач описания отслоений поверхностных слоев, исследование процессов на границе покрытия и подложки;
- сравнение решений, получаемых в постановке поверхностной теории упругости и развиваемой автором постановки со слоем конечной толщины с переходом на новую формулировку поверхностной упругости.

Основными являются следующие результаты.

- Развита постановка к решению задач об отслоении покрытий. Показано, что в подобных задачах представляет интерес не только асимптотика поведения решения вблизи вершины трещины, но и противоположная асимптотика – вдали от вершины.
- Дано описание свойств эффективной упругой заделки для пластины, моделирующей отслоение, с помощью расширенной (3x3) матрицы упругих коэффициентов
- Исследована задача о потере устойчивости отслоившегося от подложки покрытия вследствие наличия в нем собственных деформаций сжатия
- исследовано совместное влияние кривизны и податливости подложки на параметры отслоения покрытий
- Развита новая постановка к рассмотрению поверхностных явлений, заключающийся в анализе влияния всех компонент напряжений на процесс деформирования внутренней либо внешней поверхности. В результате получена более общая чем

ранее замкнутая система уравнений поверхностной (интерфейсной) теории упругости, учитывающая в том числе, наличие собственных деформаций.

- Дано обобщение решения задачи Эшелби о деформации внутри и вне шарового включения в упругой среде, при учете поверхностных остаточных напряжений

Достоверность полученных результатов обоснована математической корректностью постановок задач и использованных методов их анализа, так и сравнением отдельных решений с решениями, имеющимися в литературе.

Результаты, полученные в диссертации, **могут быть использованы** в исследованиях, проводимых в Институте проблем механики РАН (Москва), Институте прикладной механики РАН (Москва), Институте проблем машиноведения РАН (Санкт-Петербург), в Санкт-Петербургском государственном университете, Московском государственном университете, Институте механики сплошных сред УрО РАН (Пермь), в Санкт-Петербургском государственном политехническом университете, в Южном федеральном университете, Институте проблем машиностроения РАН (Нижний Новгород), Научно-исследовательском институте механики при ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Институте автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения РАН и других учреждениях, сталкивающихся или занимающихся решением задач механики тел с покрытиями и слоями.

По работе имеются замечания:

1. В четвертой главе рассмотрены два способа вычисления скорости высвобождения энергии при росте трещины (формулы 4.3.52 и 4.3.53). Использование данных способов (для более простых случаев) восходит к работам Дж. Хатчинсона, цитируемых в диссертации, в которых, в частности, было указано на недостаток одного из них. Целесообразность использования в диссертации данного, заведомо менее точного, способа, наряду с более точным, вызывает вопросы.
2. Во второй и третьей главах коэффициенты матрицы жесткости, рассчитанные для полубесконечных отслоений, сравниваются с численными результатами, полученными для отслоений конечной длины. Остается неясным, насколько корректно данное сопоставление.
3. Представляется интересным вопрос о влиянии толщины основания на параметры эффективной упругой заделки. Насколько данное влияние может быть существенно?

Текст не свободен от стилистических огрехов и неаккуратностей формулировок (одновременно используются термины «голоморфный», «регулярный», «аналитический» во второй и третьей главах, термины «стержень» и «стрингер» в третьей и четвертой главах), но это не мешает пониманию работы.

Сделанные замечания не влияют на общую высокую положительную оценку диссертационной работы. Автореферат правильно и достаточно полно отражает содержание диссертации, давая ясное представление о постановке исследования и

основных результатах. Основные результаты своевременно опубликованы в ведущих российских журналах (Изв. РАН МГТ, Физ. мезомеханика и др.), авторитетных международных журналах и трудах международных конференциях.

Считаем, что диссертация К.Б.Устинова «Механика упругого деформирования систем с покрытиями и промежуточными слоями» представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком научном уровне, означающим существенное продвижение в механике материалов тел с покрытиями и слоями, и удовлетворяет всем требованиям ВАК России, предъявляемым к докторским диссертациям по специальности 01.02.04 – механика деформируемого твердого тела. Константин Борисович Устинов заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по этой специальности.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсужден на заседании научного семинара отдела математических методов механики материалов и конструкций Института проблем машиноведения РАН 03.09.2015, протокол № 09/15.

Заведующий отделом математических
методов механики материалов и конструкций
ИПМаш РАН, д. ф.-м. н.



А.Б. Фрейдин