

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», доктор технических наук, профессор



Равикович Ю.А.

«26» февраля 2018 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Курдиной Светланы Павловны «Контактные задачи для тел с покрытиями при описании их неоднородности и формы поверхности быстро изменяющимися функциями», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 — механика деформируемого твердого тела

**Актуальность** представленных в диссертационной работе исследований и результатов определяется необходимостью совершенствования методов расчета деталей и узлов машин, механизмов и конструкций с учетом широкого многообразия условий контакта и свойств контактирующих тел, потребностью прогнозирования их ресурсной прочности, а также необходимостью разработки теоретических методов контроля за напряженно-деформированным состоянием оснований при возведении различных сооружений.

Описанные задачи актуальны как с теоретической точки зрения, так и с точки зрения практических приложений. Практическая значимость таких исследований связана с необходимостью учета неоднородности или форм поверхностей, так как подобные свойства приобретаются за счет, например, поверхностной обработки и особенностей изготовления контактирующих тел и могут вносить существенный вклад в характер поведения контактирующих тел. В теоретическом плане такие задачи интересны тем, что для их решения необходимо усовершенствовать старые и разрабатывать новые методы решения

систем смешанных интегральных уравнений (т.е. интегральных уравнений, содержащих как интегралы с постоянными пределами интегрирования, так и интегралы с переменными пределами интегрирования), в состав которых входят быстро изменяющиеся функции. Математическое моделирование контактного взаимодействия дает возможность проводить численные эксперименты для выбора необходимых материалов слоя с целью упрочнения основания либо для управления поведением штампов на слое.

**Общая характеристика работы.** Диссертационная работа состоит из введения, двух глав с выводами по каждой главе, заключения и списка литературы. Работа изложена на 121 странице печатного текста, включая 13 рисунков. Список цитируемой литературы включает 104 наименования.

Во введении обоснована актуальность темы исследований, приведен краткий обзор важнейших работ по механике контактного взаимодействия тел, сформулированы цели и задачи диссертационной работы, выписаны основные положения, выносимые на защиту. Приведены также известные решения двух основополагающих задач механики контактного взаимодействия и описание проекционного метода, на основании которых выписываются математические модели рассматриваемых в диссертации задач и строятся их аналитические решения.

В первой главе рассмотрены задачи плоской деформации при согласованном контакте регулярной системы жестких штампов с вязкоупругим основанием, когда поверхности штампов и покрытия совпадают в зонах контакта. При решении задач во всех вариантах постановки использован проекционный метод, позволяющий получить аналитические выражения для контактных давлений под штампами, для осадок и углов поворота штампов, для действующих сил и моментов их приложения. Проведены численные расчеты для случая, когда формы поверхностей описываются изменяющимися быстро функциями по синусоидальному закону. Исследовано перераспределение контактных давлений со временем. Установлено, что как приложенные нагрузки, так и формы покрытий и штампов могут приводить к наклону штампов. Управление какими-

либо параметрами позволяет добиться заранее заданного правила изменения других параметров.

Вторая глава диссертационной работы посвящена решению задач множественного контакта системы штампов и вязкоупругого стареющего слоя с тонким упругим неоднородным покрытием, контактная жесткость которого постоянна по толщине, но зависит от продольной координаты. Рассмотрены задачи плоской деформации, в которых область контакта не меняется с течением времени. Решения задачи во всех вариантах постановки получены в аналитическом виде. Представлены результаты численных расчетов характеристик контактного взаимодействия для оснований с покрытиями, контактная жесткость которых описывается разрывной функцией, что соответствует случаю, когда покрытие состоит из различных материалов. Исследовано перераспределение контактных давлений со временем.

Заключение содержит основные выводы и результаты диссертационной работы. Список цитируемой литературы содержит источники, удовлетворяющие всем вопросам диссертации.

Результаты диссертационного исследования прошли апробацию на российских и международных конференциях и опубликованы в научных публикациях, в том числе в изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации. Автореферат диссертации и опубликованные работы раскрывают ее содержание.

**Научная новизна** диссертации состоит в том, что в ней впервые рассмотрены задачи множественного контакта, учитывающих поверхностную неоднородность покрытий и согласованность контакта. Для построения аналитических решений поставленных задач развит обобщенный проекционный метод А.В. Манжирова. Исследованы механические эффекты, связанные с множественностью контакта, сильной неоднородностью покрытий и сложными формами контактирующих поверхностей. Основными результатами диссертационной работы являются следующие.

1. Решены плоские задачи множественного контакта регулярной системы жестких штампов и вязкоупругого стареющего основания с покрытием, форма которого согласована с формами оснований штампов и описывается изменяющейся быстро функцией. Для поставленной задачи рассмотрены все возможные варианты ее постановки. На основании проекционного метода получены аналитические формулы для контактных давлений под штампами и неизвестных характеристик на каждом штампе (углов поворота, осадок штампов, приложенных нагрузок, моментов приложения нагрузок).

2. Решены плоские контактные задачи для регулярной системы жестких штампов и вязкоупругого стареющего основания с покрытием, свойства которого зависят от продольной координаты и описываются быстро изменяющейся функцией. Для поставленной задачи рассмотрены все возможные варианты ее постановки. Для всех вариантов построено аналитическое решение для определения неизвестных характеристик контактного взаимодействия на каждом штампе.

3. Быстро изменяющиеся функции, описывающие формы контактирующих поверхностей и свойства покрытия, выделены в решении в явном виде отдельным сомножителем. Это позволяет производить эффективные расчеты прикладных задач с высокой точностью, в то время как использование других известных методов приводит к существенным вычислительным ошибкам.

**Научная значимость диссертационной работы.** Задачи, рассмотренные в диссертации, интересны тем, что для их решения необходимо усовершенствовать старые и разрабатывать новые методы решения систем смешанных интегральных уравнений (т.е. интегральных уравнений, содержащих как интегралы с постоянными пределами интегрирования, так и интегралы с переменными пределами интегрирования), в состав которых входят быстро изменяющиеся функции. Новые или усовершенствованные методы позволяют строить эффективные решения контактных задач в случае, когда поверхностные свойства тел и их формы описываются сложными, быстро изменяющимися функциями.

**Практическая значимость полученных результатов** связана с необходимостью учета неоднородности или форм поверхностей, так как подобные свойства приобретаются за счет, например, поверхностной обработки (травление, лазерная обработка, термическая обработка, ионная имплантация и т. д.) и особенностей изготовления контактирующих тел и могут вносить существенный вклад в характер поведения контактирующих тел. Такие задачи возникают, например, в случаях, когда в еще незатвердевший слой погружаются штампы, в результате чего форма покрытия в точности повторяет сложные формы штампов.

**Рекомендации по использованию результатов.** Результаты, полученные в диссертационной работе, могут быть полезны в различных областях машиностроения, строительства, электронной промышленности. Они могут быть также использованы в ИМАШ РАН (Москва), НИУ МГСУ (Москва), ИПМех РАН (Москва), КубГУ (Краснодар), ЮФУ (Ростов-на-Дону), ИМиМ ДВО РАН (Комсомольск-на-Амуре), ИПМаш РАН (Санкт-Петербург), а также в других научных организациях и университетах.

#### **Общие замечания и недостатки.**

1. В расчетах предполагалось, что старение материалов учитывается только в функции меры ползучести, в то время как упругие характеристики с течением времени не меняются. Очевидно, что если штамп погружается в затвердевающее основание с покрытием (в случае согласованного контакта), меняться должны все свойства. Поэтому в численных расчетах важно было бы учесть изменение с течением времени всех параметров.

2. При решении контактной задачи для слоя с поверхностно неоднородным покрытием предполагалось, что свойства покрытия не меняются по глубине. Однако для тонкого покрытия учет его неоднородности по глубине не должен вызывать затруднений при построении математической модели и получении решения.

3. Все расчеты выполнены для одного и того же набора параметров. Было бы интересно посмотреть, как влияет изменение других параметров на поведе-

ние штампов на слое и на напряженно-деформированное состояние слоя в областях контакта.

4. В тексте диссертации имеются опечатки.

Указанные замечания не являются принципиальный характер, не влияют на общую положительную оценку и не снижают научной и прикладной значимости выполненной диссертационной работы.

**Заключение.** Диссертационная работа «Контактные задачи для тел с покрытиями при описании их неоднородности и формы поверхности быстро изменяющимися функциями» является законченной научно-квалификационной работой на актуальную тему, а полученные в ходе ее выполнения результаты имеют важное значение для развития механики контактного взаимодействия и методов решения интегральных уравнений. Представленная диссертация соответствует п.9 положения «О порядке присуждения ученых степеней» №842 от 24 сентября 2013 года, а ее автор, Курдина Светлана Павловна, заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 — механика деформируемого твердого тела.

Отзыв на диссертацию «Контактные задачи для тел с покрытиями при описании их неоднородности и формы поверхности быстро изменяющимися функциями» обсужден и утвержден на заседании кафедры «Соппротивление материалов, динамика и прочность машин», протокол № 6 от 26.02.2018 г.

Заведующий кафедрой «Соппротивление материалов, динамика и прочность машин» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), д.ф.-м.н., профессор

Тарлаковский Д.В.

Адрес: 125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4.  
Тел.: +7(499) 158-43-33. Факс: +7(499) 158-29-77  
Официальный сайт: <http://mai.ru>  
e-mail: [mai@mai.ru](mailto:mai@mai.ru)

