

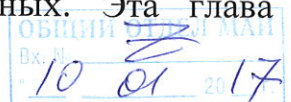
## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук, Алексеева Алексея Кирилловича на диссертационную работу Ненарокова Кирилла Алексеевича «Разработка методов дефектоскопии тепловой защиты надувных тормозных устройств спускаемых космических аппаратов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.03 – Прочность и тепловые режимы летальных аппаратов.

Диссертационная работа К. А. Ненарокова посвящена разработке экспериментальных и расчетных методов дефектоскопии тепловой защиты надувных тормозных устройств спускаемых космических аппаратов. Предлагаемый метод опирается на акустические измерения и их обработку, основанную на решении обратной коэффициентной задачи для гиперболического уравнения.

Работа объемом в 147 стр. состоит из введения и пяти глав. Список литературы включает 57 наименований. Введение содержит обоснование актуальности проведенных автором исследований и краткое изложение содержания диссертации. Первая глава диссертации содержит анализ возможностей неразрушающей дефектоскопии методами нелинейной акустики, описание экспериментальной установки, использующей взаимодействие двух акустических пучков, постановку обратной задачи.

Вторая глава описывает состояние методов моделирования и идентификации математических моделей, описываемых нелинейными гиперболическими уравнениями в частных производных. Эта глава



содержит постановку сопряженной задачи и вычисление градиента целевого функционала.

Третья глава посвящена выбору конечно-разностного алгоритма для решения прямой и сопряженной задач, аппроксимации граничных условий, решению полученной системы уравнений.

В четвертой главе представлен анализ эффективности используемых вычислительных алгоритмов на основе численных экспериментов с учетом погрешности исходных данных.

Последняя глава посвящена полному изложению двух методов дефектоскопии гибких теплозащитных материалов (основанных на нелинейной генерации гармоник и на решении обратной задачи) с описанием экспериментальной установки, экспериментов и их обработки.

Актуальность данной темы исследований обусловлена тем, что надувные теплозащитные экраны могут существенно снизить удельную нагрузку на мидель и, соответственно, повысить эффективность торможения при спуске с орбиты в сравнении с применяемыми в настоящее время жесткими теплозащитными экранами. В то же время гибкие тонкостенные конструкции теплозащитного экрана более уязвимы с точки зрения наличия незначительных дефектов. Поэтому, методы неразрушающего дистанционного контроля приобретают для таких конструкций особенное значение.

Практические приложения работы связаны с разработкой надувных теплозащитных экранов для перспективных возвращаемых аппаратов (таких, как “Демонстратор”, IRVE3), а также с разработкой методов неразрушающего контроля дефектов теплозащитных покрытий классического типа.

Научная новизна работы состоит в разработке алгоритма решения обратной задачи параметрической идентификации модели

распространения акустических волн с целью обнаружения скрытых дефектов.

К основным результатам работы относится создание методов и алгоритмов для неразрушающего контроля теплозащитных покрытий СА, основанных на параметрической идентификации модели распространения продольных волн, создание прототипа экспериментальной установки.

Достоверность полученных результатов подтверждена численными и лабораторными экспериментами.

По работе можно сделать следующие замечания:

- По тексту диссертации непонятно, почему пространственно неоднородный коэффициент  $\varepsilon(x)$  обозначен как "параметр нелинейности" (с. 53).
- По тексту диссертации неясно, как определять градиент акустического давления на поверхности образца.
- Практическая ценность рассматриваемого метода дефектоскопии существенно выросла бы в случае перехода к трехмерной постановке.

Работы автора широко обсуждались на конференциях и достаточно подробно освещены в публикациях автора, в том числе в трех изданиях из "Перечня российских рецензируемых научных журналов" (ВАК) и одном из Scopus.

Выводы в работе вполне отражают основные результаты исследований.

Автореферат правильно отражает содержание работы.

Несмотря на замечания, диссертация, выполнена на высоком научном уровне, отвечает требованиям "Положения о порядке присуждения ученых степеней", а ее автор, Ненарокомов К. А., достоин присуждения ему

ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.03 –  
Прочность и тепловые режимы летальных аппаратов.

Глав. Научн. сотр., д.ф-м.н.



Алексеев А.К.

Подпись официального оппонента главного научного сотрудника, доктора  
физико-математических наук Алексеева А.К. удостоверяю

Ученый секретарь, к.ф-м.н.



О.Н. Хатунцева