

**ОТЗЫВ официального оппонента**  
**на диссертацию на соискание ученой степени**  
**кандидата физико-математических наук**  
**Абдухакимова Фарруха Адхамовича**  
**на тему: «Новые задачи флаттера авиационных конструкций»**  
**по специальности 1.1.9 Механика жидкости газа и плазмы**

Диссертация Абдухакимова Фарруха Адхамовича посвящена изучению флаттера различных авиационных конструкций. Выбранная тема исследования является актуальной, так как в работе рассмотрены различные типы флаттера для определенных элементов летательных аппаратов. Результаты диссертационной работы обладают научной новизной: исследовано влияние на границы неустойчивости изменения угла скольжения и геометрической формы панели обшивки, параметров конструкции компрессоров и течения газа внутри компрессора, упругого взаимодействия лопастей вертолета.

Практическая значимость работы состоит в том, что ее результаты могут быть использованы для построения эффективных методов исследования и подавления флаттера с целью совершенствования конструкций летательных аппаратов.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложения. Полный объем диссертации составляет 152 страницы, включая 72 рисунка и 5 таблиц. Список литературы содержит 171 наименование.

Во **введении** отмечается актуальность темы диссертационного исследования. Поставлены цель и задачи работы, отмечена научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** диссертации содержится исследование устойчивости серии прямоугольных пластин при различных углах скольжения.

В **разделе 1.1** представлен обзор основных работ по панельному флаттеру. Постановка задачи дана в **разделе 1.2**. В линейной постановке исследуется устойчивость бесконечной серии тонких упругих прямоугольных пластин, шарнирно опертых по всем кромкам. Пластины обтекаются с одной стороны потоком невязкого совершенного газа. Используется линейная теория пластин Кирхгофа. В **разделе 1.3** представлен вывод уравнений движения газа и пластины в рамках рассматриваемой постановки задачи. В **разделе 1.4** выводится распределение возмущения давления из общего решения для потенциала возмущения скорости течения газа. В **разделе 1.5** описывается численный метод. **Раздел 1.6** посвящен исследованию сходимости по параметрам численного метода. Определены значения численных параметров, достаточные для получения точных результатов. В **разделе 1.7** исследованы границы неустойчивости при ненулевых углах скольжения и проанализированы механизмы возникновения флаттера, их схожесть и отличия от случая нулевого угла скольжения.

Установлено, что изменение угла скольжения приводит к нерегулярности границ флаттера и образованию дополнительных изолированных областей неустойчивости и устойчивости; обоснована важность расчета панельного флаттера летательного аппарата при ненулевых углах скольжения, так как флаттер в таком случае может возникать при параметрах, на которых панель устойчива при нулевом угле.

Во **второй главе** с помощью энергетического метода изучается устойчивость пластин различной формы. В линейном приближении исследована устойчивость тонкой упругой пластины, одна сторона которой обтекается однородным сверхзвуковым потоком идеального совершенного газа. В **разделах 2.2–2.4** описан энергетический метод исследования флаттера, дается вывод уравнения изменения энергии для общего случая линейно упругого тела и в случае тонкой упругой пластины; дано описание расчета собственных частот и форм. В **разделе 2.6** приведены результаты



численного расчета границы одномодового флаттера для пластин в форме прямоугольника, трапеции и параллелограмма.

В диссертационном исследовании выявлено, что границы одномодового флаттера трапециевидных панелей незначительно меняются при изменении угла скоса. Установлено, что придание панелям обшивок летательного аппарата формы параллелограмма может быть эффективным методом подавления одномодового флаттера.

В **третьей главе** исследовано влияние параметров конструкции и течения газа на прогнозирование флаттера лопаток компрессоров газотурбинных двигателей с помощью энергетического метода. В **разделе 3.1** представлен обзор основных работ по флаттеру лопаток компрессоров газотурбинных двигателей. В **разделе 3.2** изучена устойчивость лопаток рабочего колеса компрессора. В **разделе 3.3** описан метод прогнозирования флаттера, учитывающий изменение формы колебания лопатки при движении волны по диску. В **разделе 3.4** определены собственные частоты и формы колебания лопаток рассматриваемой ступени компрессора. В **разделе 3.5** представлено описание аэродинамического расчета. В **разделе 3.6** определены границы флаттера при различных конфигурациях.

Отмечено, что величина монтажного натяга существенно влияет на результат расчёта флаттера из-за изменения формы колебаний лопаток, в то время как величина радиального зазора, угол прикрытия/открытия входного направляющего аппарата и радиальная неравномерность потока незначительно влияют на границы флаттера.

В **четвертой главе** представлено исследование флаттера лопастей несущей системы вертолета с учетом их упругого взаимодействия через систему тяг и валов. В **разделе 4.1** дан обзор основных работ по флаттеру лопасти несущей системы вертолета. В **разделе 4.2** приведена постановка задачи. В **разделе 4.3** описан метод расчета флаттера лопастей в трехмерной постановке. В **разделе 4.4** приведены результаты численных расчетов.

В результате исследования установлены параметры, при которых возникает неустойчивость лопастей несущей системы или наблюдается их устойчивость; выявлено, что взаимодействие лопастей через упругие валы и систему тяг оказывает существенное влияние при аэроупругом анализе несущей системы вертолета. Приведены рекомендации по подавлению флаттера.

К диссертации имеется ряд замечаний:

1. В системах уравнений на странице 24 и 25 второе выражение дано для точек пластины? Значение производной потенциала возмущения скорости для точек вне пластины не указано.
2. В разделе 1.7 приводятся результаты для первой и второй формы колебаний. Выделяются области одномодового флаттера и дополнительные области флаттера, обусловленные взаимодействием нескольких мод колебаний. Для лучшего понимания было бы необходимо привести формы колебаний пластин в потоке для каждого типа неустойчивости по первой и второй форме.
3. В разделе 3.5 не приводятся результаты исследования по параметрам численного расчета (числу периодов, временном шагу).
4. В разделе 4.3 присутствует различное обозначение векторных величин.

Указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.1.9 «Механика жидкости, газа и плазмы» (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. Диссертация оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.



Таким образом, соискатель Абдухакимов Фаррух Адхамович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9. «Механика жидкости газа и плазмы».

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, профессор кафедры вычислительной механики и математики ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»

Лавит Игорь Михайлович

Контактные данные:

тел.: 7(487)225-46-22, e-mail:

06.12.23

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 01.02.04 «Механика деформируемого твердого тела».

Адрес места работы: 300012, г. Тула, проспект Ленина, д. 92, ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет».

Подпись Лавита Игоря Михайловича удостоверяю:

