

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
Иванова Олега Олеговича
на тему: «Резонансное взаимодействие упругих тел с потоком жидкости и
газа»
по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы»

Диссертационная работа О.О. Иванова посвящена актуальной задаче: исследованию взаимодействия упругих тел с потоком жидкости и газа, в том числе резонансного характера.

Эта задача важна для решения проблем, связанных с определением амплитуд колебаний упругих элементов конструкций, снижением данных амплитуд в случае их нежелательного характера, или их увеличением в случае, когда оказывается возможным преобразование энергии колебаний упругих элементов для совершения полезной работы. Также данная задача важна с точки зрения проблемы снижения сопротивления движущихся тел в жидкой или воздушной среде.

Работа О.О. Иванова посвящена совокупному исследованию этих проблем. Работа состоит из двух связанных частей, каждая из которых представлена в двух главах. Главы 1 и 2 представляют собой подготовительную часть в виде обзора и анализа существующей литературы и возможных экспериментальных методов исследований характеристик течения около обтекаемых тел и сил, действующих на эти тела.

Главы 3 и 4 посвящены детальному экспериментальному исследованию двух модельных задач, в которых подробно исследуется взаимодействие упругих тел с потоком газа и жидкости: задаче о собственных колебаниях упругого цилиндра вблизи пластины с конечной хордой и задаче о влиянии вязкоупругого покрытия с известными характеристиками на величину силы трения, действующей на обтекаемое тело.

В главе 1 производится обзор литературы, посвящённой колебаниям упругого подвешенного цилиндра в потоке жидкости и газа, а также влиянию податливых покрытий на пограничный слой. Особо выделяется при этом детализированный анализ существующих работ на тему динамики вихреобразования за упруго подвешенным цилиндром для различных конфигураций свободного цилиндра и цилиндра вблизи жесткой безграничной поверхности, а также подробный анализ существующих методов снижения сопротивления трения тела.

В качестве замечания по данной части необходимо отметить не вполне обоснованное подразделение силы сопротивления тела в основном на сопротивление формы и трения (стр. 5), которое предполагает дополнительные пояснения. В тексте далее упоминаются и другие виды сопротивлений, таких как волновое сопротивление и индуктивное, однако их относят к видам сопротивления специфического типа. Если обратиться к работе J. Reneaux et al «Overview on drag reduction technologies for civil transport aircraft» (2004) для представителей дозвуковой гражданской авиации основными типами сопротивления являются сопротивление трения (половина общей силы сопротивления) и индуктивное сопротивление (треть от общей силы сопротивления). Одновременно с этим, для гидродинамики кораблей в спокойной воде определяющий вклад в силу сопротивления может вносить волновое сопротивление.

В главе 2 приведены проблемы описания течения в различных областях около обтекаемого тела от вязкого подслоя до внешней части, представлены характеристики используемой оптической системы измерения средней и пульсационной составляющей поля скорости, описаны методы прямого и косвенного измерения трения с акцентом на использование плавающего элемента. Особое место в главе выделено для описания процедуры создания собственных внутренних весов.

В качестве замечаний по данной главе стоит отметить следующие:

Не всем представленным обозначениям дано описание (например, δ^ и θ).*

При столь большой ошибке измерения локального трения по отношению к незначительной ошибке установки плавающего элемента заподлицо к поверхности модели не указан способ регулировки столь точного расположения элемента.

Глава 3 посвящена исследованию резонансных колебаний цилиндра в потоке воздуха. Достаточно детально описана конфигурация измерительного оборудования и самого эксперимента, а также процесс подготовки к его проведению с оценкой основных параметров, влияющих на динамику исследуемого процесса. Рассматривается изначально режим колебаний одиночного цилиндра, для которого продемонстрирована максимальная амплитуда колебаний и дано подробное объяснение невозможности ее увеличения в реализуемых условиях. В явном виде продемонстрированы эффект синхронизации частоты собственных колебаний цилиндра и частоты схода вихрей в дорожке Кармана и идентичность структуры течения за колеблющимся и неподвижным цилиндрами. Проведено подробное исследование влияния наличия пластины с конечной хордой вблизи колеблющегося цилиндра на эффект синхронизации частот и величину максимальной амплитуды колебаний. В явном виде продемонстрировано, что расположение цилиндра вблизи задней кромки пластины может привести к заметному увеличению максимальной амплитуды колебаний. Приведены результаты дымовой визуализации течения за цилиндром и пластиной при их различном относительном положении для случаев наличия колебаний (область синхронизации) и их отсутствия (скорость потока соответствовала частоте схода вихрей меньшей, чем частота собственных колебаний цилиндра). Дана классификация различным наблюдаемым сценариям вихреобразований за системой пластина + цилиндр. Показано, что смещение области синхронизации в область больших скоростей связано с уменьшением частоты схода вихрей.

В качестве замечаний по данной части работы стоит отметить следующие:

В главе не дано определение для одной из основных величин V_r .

Не приведены рассуждения о том насколько изменилась бы картина оптимального расположения шнура в случае больших амплитуд собственных колебаний изолированного цилиндра A_0 (или меньших значений параметра Скопа-Гриффина).

Отсутствует рассмотрение расположения цилиндра строго за и перед пластиной (на линии её продолжения). Если это технически сложно, то требуются пояснения.

Не уделено достаточного внимания асимметричной форме изменения амплитуды колебаний цилиндра с ростом скорости набегающего потока (резкое увеличение амплитуды в начале процесса синхронизации и дальнейшее её постепенное колоколообразное спадание).

Для более четкого понимания причины появления сдвиговой неустойчивости Кельвина-Гельмгольца в случае наличия цилиндра вблизи задней кромки пластины не приведена картина поля средней продольной скорости для исследуемой конфигурации.

В главе 4 дано описание экспериментальной установки, измерительной системы и базовой тестовой модели. Уделено внимание процедуре достижения безградиентного течения около центральной части модели. Приведено описание способа отлива вязко-упругого покрытия и измерения его основных характеристик. При помощи измерения общего сопротивления модели вместе с известным из численного расчета относительным вкладом трения (19%) продемонстрировано увеличение сопротивления трения при использовании податливых покрытий различной толщины. Схожий результат в виде увеличения трения был получен при помощи анализа характеристик поля скорости вблизи поверхности.

В качестве замечаний по данной части работы стоит отметить следующие:

Не дано ясного объяснения почему при толщине покрытия именно 6 мм не произошло изменения сопротивления трения. Также не достаточно подробно описано наблюдаемое «расщепление» (гистерезисный характер) результатов

экспериментальных измерений (например, на рисунке 4.11а,г красные треугольники при скорости $V < 12$ м/с и на рисунке 4.11в синие квадраты при скорости $V < 14$ м/с).

Не уделено внимание отсутствию более заметного эффекта увеличения силы трения с ростом скорости набегающего потока при толщине покрытия 10 мм. Из рисунка 4.9 следует, что с увеличением толщины покрытия широкополосное взаимодействие должно наступать при скоростях набегающего потока схожих со случаем толщин покрытия 8 мм и 10 мм. Однако на рисунке 4.11 для случая толщины покрытия 10 мм (в отличие от случая толщины 8 мм) не прослеживается характерного повышенного изменения сопротивления трения.

Из приведенных в работе результатов можно сделать вывод о частичном подтверждении теории В.М. Кулика: эффект наблюдался для определенного материала при его определенных толщинах, при этом не был экспериментально продемонстрирован собственно резонансный характер взаимодействия податливой поверхности и пограничного слоя из-за ограничений по скорости набегающего потока.

По представленной в диссертации совокупности результатов можно отметить уникальность и подробность проведённых диссертантом экспериментальных исследований характера взаимодействия упругих тел с потоком жидкости или газа.

Диссертация О.О. Иванова, несмотря на отдельные недостатки, является исследованием, содержащим актуальные результаты экспериментальных исследований, связанных с взаимодействием упругих тел или поверхностей с потоком жидкости или газа.

Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности электрогенерирующих установок с упругими рабочими элементами, а также топливной экономичности воздушных и морских судов.

Достоверность полученных результатов и выносимых на защиту положений подтверждается использованием апробированных и хорошо известных методов экспериментального исследования течений около обтекаемых тел, большим объемом (в статистическом смысле) полученных результатов и их самосогласованностью, а также согласованностью с теоретическими изысканиями. **Физические интерпретации полученных решений** в должной степени обоснованы и согласуются с работами по данной тематике. **Новизна полученных результатов** обуславливается рассмотрением новой задачи о колебании упругого цилиндра вблизи пластины с конечной хордой и использованием нескольких подходов измерения силы сопротивления которые позволили в одинаковой степени подтвердить теоретические предсказание о влиянии однослойного покрытия на трение в турбулентном пограничном слое.

Уровень и тематика работы соответствуют кандидатской диссертации.

Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту 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, а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Считаю, что О.О. Иванов проявил себя как исследователь, владеющий техникой теоретического и экспериментального исследования по механике жидкости и газа.

Таким образом, соискатель Иванов Олег Олегович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.1.9 – «Механика жидкости, газа и плазмы».

Официальный оппонент:

кандидат физико-технических наук,
старший научный сотрудник НИО-9
Федеральное автономное учреждение «Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского»

Бычков Олег Павлович



«06» 12 2023

г.

Контактные данные:

тел.: [REDACTED], e-mail: [REDACTED]

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы

Адрес места работы:

105005, г. Москва, ул. Радио, д. 17

ЦАГИ, отделение аэроакустики и экологии летательных аппаратов (НИО-9)

тел.: 8 (495) 916-90-91 доб. 45-05, e-mail: [REDACTED]

Подпись сотрудника Центрального аэрогидродинамического института имени профессора Н.Е. Жуковского
О.П. Бычкова удостоверяю:

Начальник Московского комплекса



/А.В. Беляков/

«6» декабря 2023 г.