

О Т З Ы В

официального оппонента,
доктора физико-математических наук, доцента
Марчевского Ильи Константиновича
на диссертацию Иванова Олега Олеговича на тему:
«Резонансное взаимодействие упругих тел с потоком жидкости и газа»,
представленную на соискание учёной степени
кандидата физико-математических наук по специальности
1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы

Актуальность. Несмотря на многолетнюю историю исследований, наличие богатого экспериментального материала и появившихся в последнее время многочисленных результатов вычислительных экспериментов, выполнявшихся многими авторами, задачи аэрогидродинамики, постановки которым можно отнести к классическим, не утратили своей актуальности и вполне заслуженно привлекают внимание многих исследователей, как в нашей стране, так и за рубежом. К таким задачам, несомненно, относится изучение взаимодействия упругих тел с потоком среды или, говоря более общо, сопряженные задачи аэрогидроупругости, в которых движение тела происходит под действием аэрогидродинамических нагрузок, а режим обтекания, в свою очередь, определяется характером движения.

Значимость исследований в области взаимодействия элементов конструкций разнообразных технических систем с потоком среды сложно переоценить. Примеры неверно спроектированных сооружений (таких, как Такомский мост) и летательных аппаратов, подверженных флаттеру, восходящие к 30-м годам XX века, стали на сегодня хрестоматийными и, по-видимому, еще долго будут напоминать ученым и инженерам о недопустимости «пренебрежительного» отношения к аэрогидродинамическим нагрузкам. Умение правильно и достаточно точно рассчитывать подобные нагрузки еще на этапе проектирования конструкций, а также глубокое понимание происходящих при этом гидродинамических процессов являются

в известном смысле залогом их габаритно-массового совершенства и энергетической эффективности, если речь идет, к примеру, о волновых энергетических установках и колебательных двигателях или, наоборот, о способах снижения сопротивления, системах гашения колебаний и т.п.

Несмотря на бурное развитие методов математического моделирования, связанное прежде всего с колоссальным ростом производительности вычислительных машин, едва ли можно предположить, что в перспективе, хотя бы даже отдаленной, натурный эксперимент в аэрогидродинамике потеряет свое значение. Вычислительный и натурный эксперименты должны не «конкурировать» между собой, а взаимно дополнять друг друга; проведение качественного исследования в аэрогидродинамике сегодня предполагает их сбалансированное сочетание.

Наблюдаемый в последнее время «крен» многих исследователей в область методов математического моделирования, хотя и является вполне объяснимым в силу целого ряда причин, лишь повышает ценность и значимость экспериментальных исследований, к которым в полной мере можно отнести рассматриваемую диссертацию.

Таким образом, исследования, направленные на изучение и оптимизацию режимов обтекания, при этом имеющие на первый взгляд совершенно противоположные цели – к примеру, увеличить амплитуду колебаний цилиндра и повысить таким путем эффективность возможных ветрогенераторов, а, с другой стороны, исследовать методы снижения трения с целью снижения сопротивления, – являются глубоко связанными между собой. В этой связи можно уверенно утверждать, что диссертационная работа Иванова О.О. является чрезвычайно актуальной.

Обзор литературы, отражающей современное состояние исследований по выбранному диссертантом направлению, представленный в работе, также рассеивает любые сомнения относительно актуальности и важности исследований данных вопросов.

Научная новизна работы. В диссертации рассмотрена новая постановка задачи о влиянии пластины конечной длины на колебания упругого шнура (цилиндра) и получен новый результат: усиление колебаний при определенном взаимном расположении цилиндра и пластины. Проведено исследование влияния податливых вязкоупругих покрытий на структуру турбулентного пограничного слоя и связанное с этим изменение сопротивления трения. Результаты исследования позволили экспериментально подтвердить положения теории В.М. Кулика.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит, главным образом, в расширении степени понимания процессов, происходящих при взаимодействии упругих элементов конструкций с потоком. Более точные оценки нагрузок, действующих со стороны потока, позволят проектировать конструкции, характеризуемые более высоким габаритно-массовым совершенством и большей эффективностью, если говорить о ветро- или гидроэнергетических установках, преобразующих энергию потока в энергию колебаний, а уже ее – в электрическую энергию.

Предложена и апробирована методика экспериментального исследования влияния податливых покрытий, что в совокупности с получившимися подтверждениями положениями теории В.М. Кулика позволяет предсказывать и оценивать режимы обтекания, при которых влияние покрытия наиболее существенно. Развитие исследований в данном направлении, вероятно, позволит классифицировать возможные покрытия по степени и «направлению» влияния на сопротивление трения.

Достоверность работы обеспечивается использованием классических методов исследования в аэрогидродинамическом эксперименте; использованием откалиброванных и настроенных измерительных приборов и применением проверенных экспериментальных техник; согласием

результатов экспериментов, полученных автором, с известными данными; согласием результатов натурального и вычислительного эксперимента.

Основные результаты диссертационной работы представлены в 4 работах, в том числе 3 статьях, опубликованных в рецензируемых научных журналах, индексируемых международными наукометрическими базами Web of Science и/или Scopus и рекомендованных для защит в диссертационном совете МГУ по специальности 1.1.9 – Механика жидкости, газа и плазмы. Работа прошла обстоятельную апробацию в докладах автора, представленных на большом количестве профильных научных конференций и семинаров, как российских, так и зарубежных.

Общее содержание работы

Диссертация Иванова О.О. имеет объем 109 страниц, состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы, содержащего 153 наименования источников. В работе имеется 40 рисунков и 1 таблица.

Во введении кратко обоснована актуальность работы, обозначены предмет и объект исследования, сформулированы цель и задачи диссертационной работы; представлены сведения о методах проведения исследований. Указан перечень позиций, определяющих научную новизну полученных диссертантом результатов, их теоретическую и практическую значимость; выделен вклад автора, сформулированы положения, выносимые на защиту, и другие формальные пункты, относящиеся к общей характеристике представленной диссертации.

В первой главе диссертации дан обзор работ, связанных с двумя задачами, рассматриваемыми в диссертации: резонансными колебаниями упругого цилиндра в потоке жидкости или газа и взаимодействию турбулентного пограничного слоя с вязкоупругими покрытиями.

Во второй главе рассмотрены вопросы, связанные с техникой проведения эксперимента и измерения профилей скорости в пограничном слое и трения. Описанные методики используются для обработки

экспериментальных данных, полученных далее в главе 4. Описана реализация метода определения коэффициента локального трения на основе осредненных профилей продольной скорости в турбулентном пограничном слое. Приведены результаты, относящиеся к вопросу проектирования внутренних весов модели, выполнена серия вычислительных экспериментов по моделированию течения около плавающего элемента весов с целью анализа возможных ошибок и неточностей, возникающих в натурном эксперименте. Исследование показало существенность влияния неточностей установки тестовой пластины относительно окружающего корпуса модели («незаподлицо»).

В третьей главе рассмотрена задача о резонансных колебаниях упругого шнура круглого сечения в потоке воздуха и исследовано на эти колебания конечной в направлении потока пластины, располагаемой рядом с цилиндром. Данное исследование является экспериментальным и произведено в аэродинамической трубе при низких скоростях потока (менее 1 м/с) с использованием современного и весьма точного оборудования: для измерения амплитуды колебаний использован триангуляционный лазерный датчик, для измерения частоты схода вихрей за цилиндром – термоанемометрическая система DISA, анализ вихревой дорожки производился путем дымовой визуализации при помощи лазерного ножа. Результаты, полученные для одиночного цилиндра, согласуются с известными ранее: существует сравнительно небольшой диапазон скоростей – диапазон синхронизации, – в котором наблюдаются резонансные колебания, и частота схода вихрей становится равной первой собственной частоте колебаний цилиндра. Далее рассмотрены аэроупругие колебания цилиндра при постановке рядом с ним обтекаемой пластины длиной около 6 диаметров и толщиной в треть диаметра цилиндра. В зависимости их взаимного расположения можно четко различить два режима колебаний: первый реализуется, когда продольная (по потоку) координата центра цилиндра была заметно меньше координаты задней кромки пластины. В этом случае

колебания аналогичны колебаниям вблизи бесконечной плоскости: уменьшение зазора между цилиндром и пластиной приводит к уменьшению амплитуды колебаний цилиндра, а диапазон резонансных колебаний смещается в сторону больших скоростей. Второй режим реализуется при расположении цилиндра вблизи задней кромки пластины и ниже ее и противоположен первому: при уменьшении зазора амплитуда колебаний увеличивается, а диапазон синхронизации расширяется и смещается в сторону больших скоростей. Также исследовано влияние пластины на частоту схода вихрей с цилиндра: кривая частоты смещается в сторону больших скоростей.

В четвертой части экспериментально исследовано взаимодействие вязкоупругого покрытия с турбулентным пограничным слоем. Для этого использована модель в виде большого симметричного («двумерного») крыла, которая устанавливалась в плоскую рабочую часть гидродинамической трубы. Центральная часть модели является плоской, ее поверхность состоит из двух пластин, в качестве которых использовались металлические (для эталонных измерений) и тестовые пластины со однородным слоем кремнийорганической резины толщиной от 4 до 10 мм, вязкоупругие свойства покрытий предварительно были тщательно задокументированы. Эксперименты были проведены в два этапа. На первом этапе производились измерения общей силы сопротивления модели, а вычислялось соответствующее изменение в трении. Для этого предварительно было произведено численное моделирование обтекания модели, и было установлено, что для интересующего диапазона скоростей доля трения в сопротивлении тестовых пластинах составляет около 20 %. В результате обработки экспериментов было получено, что покрытия приводят к увеличению сопротивления до 6.5 %. На втором этапе измерялись профили осредненной продольной скорости в турбулентном пограничном слое. Используя методику, изложенную в главе 2, были получены коэффициенты трения на поверхности металлических и тестовых пластин с покрытием. Здесь также было зафиксировано увеличение трения до 4 %.

Полученные результаты, таким образом, показали согласованные результаты в плане изменения трения, что также коррелирует с предсказаниями теории, предложенной В.М. Куликом. Соискатель подчеркивает, что она направлена на предсказание диапазона скоростей, где будет наблюдаться наиболее интенсивное взаимодействие между турбулентным пограничным слоем и податливым покрытием, однако не может дать ответ на вопрос, каким будет «направление» этого взаимодействия: в сторону снижения или увеличения сопротивления.

В заключении представлены основные результаты работы.

В целом, давая общую оценку содержания работы, следует отметить, что работа написана ясным грамотным языком, материал хорошо структурирован, логично выстроен. Диссертация обладает внутренним единством; все ее части служат достижению сформулированных целей и решению поставленных задач.

Все исследования выполнены на исключительно высоком научном и методическом уровне; используемые автором экспериментальные (главным образом), а также аналитические и численные методы органично дополняют друг друга и позволяют надежно подтвердить правильность полученных результатов, справедливость сделанных предположений и обоснованность принятых допущений.

Автореферат диссертации верно и достаточно полно отражает ее содержание и включает все основные положения.

Замечания по диссертации

1. Материал главы 2, касающийся вопросов техники эксперимента, был бы проще для восприятия, если бы он сопровождался соответствующими иллюстрациями, поясняющими схемы проведения экспериментов. Отчасти указанное замечание компенсируется обстоятельным описанием проведенных автором исследований, имеющимся в последующих главах.

2. Представляет интерес влияние длины цилиндра (резинового шнура) на характеристики его резонансных колебаний вблизи пластины: представляется, что при возбуждении первой формы колебаний разные сечения будут находиться (в крайних положениях) на существенно разном расстоянии от пластины. Представленная в работе упрощенная математическая модель в виде уравнения (3.1) учесть это не позволяет. Из текста работы не ясно, насколько этот эффект существенен и для какого диапазона удлинений установленные в диссертации зависимости будут справедливыми (количественно или качественно).

3. С учетом того, что для случая колебаний цилиндра рассматриваются течения, характеризуемые низкими значениями числа Рейнольдса, было бы интересно сопоставить результаты экспериментальных исследований в исследованных автором режимах с результатами вычислительного эксперимента с учетом того, что в этих ситуациях, как представляется, можно ограничиться моделированием плоских течений и «прямым» решением уравнений Навье – Стокса (не прибегая к использованию моделей турбулентности).

4. При исследовании влияния покрытия можно ожидать, что влияние стенок гидродинамической трубы будет весьма существенным. Представляет интерес, насколько велико это влияние (по-видимому, это можно оценить путем выполнения соответствующей серии вычислительных экспериментов).

Сделанные замечания не являются принципиальными; они ни в какой мере не умаляют значимости диссертационного исследования и исключительно высокой оценки выполненной работы.

Заключение. Диссертация Иванова О.О. 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), 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.

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

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, доцент,
профессор кафедры «Прикладная математика»
Научно-учебного комплекса «Фундаментальные науки»
ФГБОУ ВО «Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана (национальный
исследовательский университет)».



6.12.2023

Марчевский Илья Константинович



Контактные данные:

тел.: [REDACTED], e-mail: [REDACTED]



Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:
1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

Адрес места работы:

105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, к. 1
ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)»
Научно-учебный комплекс «Фундаментальные науки»
тел.: [REDACTED], e-mail: [REDACTED]