

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Ле Ван Ха
«Метод снижения лобового сопротивления цилиндра при наличии пластин
вблизи его поверхности», представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и
плазмы

Поперечное обтекание кругового цилиндра представляет собой не только классическую фундаментальную задачу изучения отрыва потока, но и является конфигурацией течения, часто встречающейся в различных технических приложениях: обтекание элементов теплообменного оборудования, трубопроводных систем, опорных стоек морских платформ и опор мостов, мачт ветроустановок, крыльевых подкосов летательных аппаратов и др. Несмотря на то, что исследования поперечного обтекания цилиндра насчитывают более, чем столетнюю историю, интерес к изучению этой конфигурации течения не ослабевает. Об этом свидетельствует обширная библиография публикаций в научной литературе за последние десятилетия, посвященных этой проблеме. Одно из важных направлений исследования поперечно обтекаемого кругового цилиндра связано с эффектом резкого снижения его лобового сопротивления при достижении критического значения числа Рейнольдса. Этот эффект получил название «кризис сопротивления» и впервые был обнаружен при обтекании шара Леонардом Эйфелем в 1912 году. Позднее аналогичный эффект был получен при поперечном обтекании цилиндра. Физический механизм этого явления известен: он связан со значительным смещением точки отрыва потока на поверхности тела вследствие турбулизации пограничного слоя перед отрывом. Снижение сопротивления плохообтекаемого тела при числах Рейнольдса, ниже критического, всегда привлекало внимание исследователей. Интерес к изучению кризиса сопротивления и широкое распространение цилиндрических конструкций в технике послужило стимулом для разработки различных методов воздействия на обтекание цилиндра, способствующих уменьшению его сопротивления. Таким образом, актуальность темы диссертационной работы Ле Ван Ха не вызывает сомнений.

Диссертация имеет классическое построение и состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, содержащего 87 наименований, и двух приложений.

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, сформулированы цель диссертационной работы и задачи исследования, научная новизна работы, ее теоретическая и практическая значимость. Представлены положения, выносимые на защиту, обоснована достоверность результатов, даны сведения об апробации работы и информация о публикациях автора.

Первая глава посвящена аналитическому обзору методов снижения лобового сопротивления тел. Приведена классификация тел с точки зрения их обтекаемости, рассмотрены активные и пассивные методы снижения сопротивления плохообтекаемых тел, которые сопровождаются примерами практического применения. Проанализированы пассивные методы, связанные с

Входящий № 217-1659
Дата 04 МАР 2025
Самарский университет

использованием комбинации плохообтекаемого тела с различными объектами: гибкими и жесткими пластинами, цилиндрическими телами, а также с установленным перед цилиндром затупленным телом. Выполнено сравнение эффективности различных пассивных и активных методов.

Вторая глава в значительной степени носит методический характер. Представленные в ней материалы призваны обосновать возможность моделирования поперечного обтекания цилиндра (пока изолированного) на основе решения *стационарных* осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса в двумерной постановке. В начале главы сформулирована математическая постановка задачи и записаны основные уравнения. Часть раздела 2.1 главы посвящена описанию закономерностей обтекания цилиндра в различных диапазонах изменения числа Рейнольдса, освещению некоторых классических аспектов отрыва потока, описанию физических механизмов «кризиса сопротивления» цилиндра при достижении критического числа Рейнольдса. Эти вопросы, на мой взгляд, уместнее было рассмотреть в первой обзорной главе диссертации.

Далее представлена постановка задачи численного моделирования обтекания цилиндра на основе решения осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса в пакете Ansys Fluent. Подробно описаны параметры расчетной области и расчетной сетки. Приведены результаты решения двумерной *стационарной* задачи: поля скорости и давления при $Re = 10^5$. Показано изменение коэффициента подъемной силы и сопротивления по числу итераций. Представлены соображения по выбору модели турбулентности. Приведены расчетные данные по изменению углового положения точки отрыва потока в области критических значений числа Рейнольдса. ($Re = 2.73 \times 10^5 \dots 9.58 \times 10^5$).

В завершении главы приводятся результаты численного моделирования двумерного обтекания цилиндра в стационарной ($Re = 10 \dots 10^5$) и нестационарной ($Re = 10^5$) постановке и сравнение полученных значений коэффициента лобового сопротивления цилиндра для этих двух случаев при $Re = 10^5$. Кроме того, результаты расчетов сопоставляются с литературными данными. На основании проведенных исследований соискатель делает вывод, что для определения коэффициента лобового сопротивления при $Re = 10^5$ достаточно решать стационарную задачу.

В третьей главе решается основная задача исследований – снижение лобового сопротивления цилиндра путем расположения пластин вблизи его поверхности. Рассматриваются следующие конфигурации:

- плоская пластина расположена за цилиндром по направлению набегающего потока. Варьируется хорда пластины;
- плоская пластина устанавливается перед цилиндром также по направлению набегающего потока. Изменяется хорда пластины;
- система цилиндр и две пластины, одна из которых устанавливается перед цилиндром, другая – за цилиндром. Обе пластины расположены по направлению набегающего потока и имеют одинаковую хорду;
- система цилиндр с задней разделительной пластиной и одним или двумя передними дефлекторами.

Кроме того, в главе рассматривается трехмерное стационарное обтекание изолированного поперечного кругового цилиндра при варьировании удлинения цилиндра в диапазоне $\lambda = L/D = 1.5 \dots 10$.

В результате проведенных параметрических расчетов определена величина минимального коэффициента лобового сопротивления каждой комбинации цилиндр-пластина. Предпринята попытка объяснения механизма полученных эффектов. Кроме того, получена зависимость коэффициента сопротивления изолированного цилиндра от его удлинения и показано удовлетворительное согласование результатов трехмерных расчетов с опубликованными экспериментальными данными.

Четвертая глава содержит результаты экспериментальных исследований лобового сопротивления комбинации цилиндра с пластинами и дефлекторами в аэродинамической трубе Т-3 Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева. Приведены характеристики аэродинамической трубы, описание конструкции экспериментальной модели и ее элементов, подробно описана методика проведения экспериментов.

Представлены результаты измерения лобового сопротивления изолированного цилиндра и комбинации цилиндр – задняя пластина и цилиндр – задняя пластина – передние дефлекторы. В первом случае варьировалась длина (хорда) задней пластины, во втором – длина задней пластины при четырех вариантах угла установки дефлекторов. Получены аппроксимирующие зависимости изменения коэффициента лобового сопротивления исследуемых объектов в зависимости от хорды задней пластины. Получена зависимость коэффициента лобового сопротивления от меридиональных углов установки дефлекторов. Отдельный раздел главы посвящен оценке погрешности результатов эксперимента.

В пятой главе выполнена оценка эффективности предлагаемого метода снижения лобового сопротивления поперечно обтекаемого цилиндра в авиационных приложениях. С этой целью проведено численное моделирование обтекания самолета Cessna-172 в пакете Ansys Fluent. В первом варианте расчетов цилиндры, которые использованы в подкосах крыла и элементах шасси самолета, заменены цилиндрами с круглым поперечным сечением. Затем эти цилиндры оснащались системой пластин и дефлекторов. В результате, по утверждению автора, получено снижение коэффициента лобового сопротивления всего летательного аппарата приблизительно на 2.6%.

В приложении А представлены протоколы испытаний модели цилиндра в АДТ, а **в приложении Б** – Акт использования результатов диссертации в учебном процессе на кафедре конструкции и проектирования ЛА Самарского национального исследовательского университета им. академика С.П.Королева.

Заключение в целом отражает основные результаты, полученные соискателем. Диссертация прошла необходимую апробацию как по части научных публикаций (9 публикаций, в том числе одна – в издании, входящем в базу данных Scopus и три в журналах, рекомендованных ВАК РФ для публикации основных результатов диссертаций), так и по участию соискателя в научных семинарах и конференциях различного уровня.

Автореферат соответствует содержанию диссертации. Отмечу, что автореферат содержит важный раздел – личный вклад автора, который отсутствует в диссертации.

В качестве несомненного достоинства работы следует отметить комплексный характер выполненного исследования, сочетающий численное моделирование и эксперимент. Использование такого подхода свидетельствует о квалификации соискателя, его разносторонней подготовке. Считаю, что диссертация удовлетворяет требованиям ВАК, является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития гидродинамики – снижение сопротивления плохообтекаемых тел.

Замечания по диссертационной работе:

1. Выбор двумерной постановки задачи для численного исследования возможности снижения лобового сопротивления поперечно обтекаемого цилиндра с пластинами и дефлекторами вполне оправдан. Однако неясно, почему соискатель остановился на решении стационарной задачи? Очевидно, что незатухающие высокоамплитудные колебания коэффициента сопротивления и подъемной силы изолированного цилиндра, наблюдаемые при увеличении количества итераций (рис.34 и 35), свидетельствуют о нестационарном процессе его обтекания и отсутствии сходимости стационарного решения. В диссертации решение использовать стационарную постановку обусловлено желанием сэкономить расчетные ресурсы и время вычисления. Однако никакой сравнительной количественной оценки этих параметров при решении стационарной и нестационарной задач, подтверждающей это решение, не приводится.

2. Стационарная постановка задачи исключает получение важной информации о влиянии установки пластин и дефлекторов на частоту вихреобразования при обтекании рассматриваемых конфигураций. Между тем эта информация важна для оценки риска возникновения резонансных явлений, когда частота срыва вихрей становится близкой к собственной частоте колебаний конструкции.

3. Неясно, почему установка дополнительных элементов (пластин, дефлекторов) выгоднее, чем изменение формы поперечного сечения цилиндра на более удобообтекаемое (например, эллиптическое). В диссертации подобные сравнения отсутствуют. Вместе с тем в авиационных приложениях сечения подкосов и других элементов крыла в форме кругового цилиндра не используются.

4. Отсутствует проверка сеточной независимости решения при численном моделировании обтекания различных комбинаций цилиндра, а также при расчете обтекания самолетной компоновки (Cessna-172).

5. Масштаб большинства рисунков, на которых приведены поля скорости и давления при установке дефлекторов, выбран неудачно. Невозможно рассмотреть и проанализировать характер течения вблизи дефлекторов, определить положение точки отрыва потока. Так, при выборе должного масштаба появление и местоположение локальных максимумов на зависимости

касательного напряжения от угловой координаты (рис.64) можно было бы обосновать более убедительно.

6. По результатам расчетов получено, что коэффициент сопротивления цилиндра с одним дефлектором и задней пластиной ниже, чем в случае установки двух симметричных дефлекторов. Информация о положении точек отрыва потока для этих двух случаев, которая могла бы объяснить этот эффект, отсутствует.

7. Использование муфт для крепления дефлекторов на экспериментальной модели цилиндра, на мой взгляд, не самое удачное решение. Можно было бы вместо муфт использовать концевые шайбы, которые широко используются в экспериментальной аэродинамике. Установка таких шайб позволила бы увеличить эффективное удлинение цилиндра, упростить крепление дефлекторов и снизить влияние узлов их крепления на результаты измерений.

8. Метод оценка *погрешности* результатов эксперимента, используемый в разделе 4.5, в значительной степени ошибочен. Во-первых, он не соответствует ГОСТ 54500.1-2011 «Неопределенность измерения. Часть I». Согласно этому документу вместо информации о случайной и систематической погрешности рекомендуется результат измерения выражать через наилучшую оценку измеряемой величины вместе с неопределенностью результатов измерений. Во-вторых, величины, входящие в формулу измерений коэффициента лобового сопротивления цилиндра (сила сопротивления, плотность газа, скорость потока и размеры цилиндра) являются независимыми (некоррелированными) величинами. В этой ситуации неопределенность результатов измерений коэффициента сопротивления определяется как корень квадратный из суммы неопределенностей измерений указанных выше величин с соответствующими весовыми коэффициентами (см. например, Радциг А.Н. Экспериментальная гидроаэромеханика. М.: Изд-во МАИ. 2004. 296 с., а также цитируемый соискателем учебник Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. Л.: Энергоатомиздат, 1985. 248 с. – см. стр.79).

9. В работе имеется ряд недостатков оформительского характера:

– фотографии настроек пакета Ansys Fluent включать в диссертацию, на мой взгляд, не стоило. Достаточно ограничиться параметрами численного моделирования, которые присутствуют в работе;

– на странице 61 автор указывает, что более подробный анализ течений и сравнение результатов можно найти в работах [66-69] автора данной диссертации. Такая ссылка некорректна. Все подробности должны быть включены в диссертационную работу;

– рис.70 полностью скопирован с источника [47], в том числе номер и название рисунка. Никакого сравнения с данными автора он не содержит;

– фотография штангенциркуля, используемого для измерения диаметра цилиндра, равно как и чертеж сечения державки, на мой взгляд, в диссертации неуместны.

Сделанные замечания не отражаются на общем положительном впечатлении о выполненной *квалификационной* работе. Считаю, что диссертация является законченным научным исследованием, полностью соответствует

паспорту специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы и содержит все компоненты, позволяющие классифицировать ее как соответствующую требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

На основании изложенного считаю, что автор диссертации Ле Ван Ха заслуживает присуждение ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

Официальный оппонент
ведущий научный сотрудник
лаборатории гидродинамики и теплообмена
Института энергетики и перспективных технологий
ФГБУН «Федеральный исследовательский центр
«Казанский научный центр
Российской академии наук»
доктор технических наук

В.М.Молочников

Молочников Валерий Михайлович, доктор технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник лаборатории гидродинамики и теплообмена Института энергетики и перспективных технологий Федерального государственного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук»».

Адрес: 420111, Казань, ул.Лобачевского, д.2/31, а/я 261
+7(905)316-44-91; vmolochnikov@mail.ru

