

## Отзыв

председателя диссертационного совета на диссертацию Шмигирилова Родиона Васильевича на тему «Моделирование галопирования плохо обтекаемых тел с концевыми шайбами», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы.

Под действием ветра плохо обтекаемые элементы строительных конструкций могут совершать колебания. Такими элементами являются, например, пролеты мостов, высотные здания. Одним из типов колебаний является галопирование, вызванное специфической зависимостью аэродинамических сил и моментов плохо обтекаемых тел от углов, определяющих ориентацию, и от их производных по времени. Исследованию галопирования посвящена диссертация Р.В. Шмигирилова. Необходимость прогнозировать колебания еще на стадии проектирования строительных конструкций обуславливает **актуальность выбранной темы**. Основное внимание в диссертации уделяется вращательным и поступательным колебаниям длинных плохообтекаемых тел. Тела ограничены с торцов концевыми шайбами, препятствующими перетеканию воздуха через торцы. Этот прием позволяет моделировать в аэродинамических трубах колебания относительно коротких участков тел. До недавнего времени исследователей интересовала в первую очередь критическая скорость ветрового потока, при превышении которой возникают колебания тел. В данной диссертации исследуются, кроме того, амплитуды колебаний в закритической области и закономерности смены разных режимов колебаний. Эксперимент в аэродинамической трубе является основным методом исследования. Эксперимент удачно дополняет построение математических моделей колебаний.

**Основные результаты.** В первой главе приведен обзор литературных источников, на основании которого делается вывод, что основным методом исследования колебаний плохо обтекаемых тел в воздушном потоке является эксперимент. Мало разработанной проблемой является физическое моделирование колебаний тел с несколькими степенями свободы и разработка математических моделей для описания колебаний.

Во второй главе рассмотрено влияние концевых шайб на неподвижно закрепленные пластины, ориентированные перпендикулярно вектору скорости набегающего потока. В эксперименте изменялись удлинение пластин, диаметр концевых шайб. Измерялись донное давление, размер рециркуляционной зоны и лобовое сопротивление.

Третья глава посвящена влиянию удлинения и концевых шайб на вращательные колебания упруго закрепленных толстых пластин в воздушном потоке. Результаты экспериментов сравниваются с предсказаниями математической модели, предложенной ранее для описания колебаний круглого цилиндра, отношение длины которого к диаметру равно двум. Получено, что математическая модель дает хорошее описание вращательных колебаний, если удлинение пластины равно или больше пяти.

33-06-1318 от 28.11.2022

Четвертая глава содержит самые интересные результаты. В ней рассматриваются колебания сегмента длинного плохо обтекаемого тела с двумя степенями свободы. Сегмент ограничен с торцов концевыми шайбами. За основу математического моделирования поступательных колебаний была взята известная квазистационарная модель галопирования, в которой принимается, что аэродинамический коэффициент нормальной силы зависит только от мгновенного угла атаки и может быть определен с помощью аэродинамических весов с моделью, неподвижно закрепленной в рабочей части аэродинамической трубы. При моделировании вращательных колебаний за основу взята модель колебаний толстых пластин, разработанная в предыдущей главе. Решение связанных уравнений поступательных и вращательных колебаний методом Крылова-Боголюбова привело к хорошо известной системе дифференциальных уравнений Лотки-Вольтерры. Коэффициенты уравнений зависят от скорости набегающего потока. Предсказания модели были проверены на примере испытаний в аэродинамической трубе модели пешеходного моста. Качественно результаты математического моделирования правильно описывают результаты эксперимента.

Результаты, полученные в главах 2-4 диссертации являются **новыми**. Обоснованность научных положений, выводов не вызывает сомнений. **Достоверность** полученных результатов подтверждается корректным проведением эксперимента, использованием современных измерительных систем, качественным согласием экспериментальных результатов с предсказанием математических моделей. **Теоретическое значение** состоит в создании математической модели, описывающей конкуренцию режимов колебаний плохо обтекаемых тел, и в экспериментальном подтверждении существования конкуренции. **Практическая ценность** заключается в создании надежной методики обработки результатов эксперимента, в разработке рекомендаций по проведению экспериментов с плохо обтекаемыми телами в присутствии концевых шайб.

По диссертации имеются следующие **замечания**.

1. В обзоре литературы уделяется большое внимание концевым шайбам и законцовкам крыльев. Эта тема лежит несколько в стороне от темы диссертации, ее можно было сократить. При этом в обзоре нет упоминания о численном моделировании галопирования. Означает ли это, что никто не решал численно аналогичные задачи? Можно ли провести моделирование в пакетах, какие есть сложности? Отсутствие в работе сравнения с численными расчетами вызывает вопросы.
2. В описании Рис. 2.5. сказано, что немонотонное поведение коэффициента  $C_D$  вызвано ошибкой эксперимента, однако затем отмечается, что  $w/l_0$  имеет минимум при соответствующем значении  $\lambda$ , а  $d/l_1$  – максимум. Из текста и анализа не ясно, все-таки наличие максимума  $C_D$  – это ошибка или закономерность?
3. Методики измерений описаны слишком кратко. Отсутствует обсуждение возможных источников погрешности измерений, методы определения погрешности.

4. В тексте нет оценок числа Рейнольдса, обсуждения аэродинамического подобия, анализа возможности перенесения экспериментальных результатов на натуру.
5. Не обоснованы предположения, использованные при выводе уравнения (3.7). Почему в модели одни члены отбрасываются, а другие удерживаются? Также отсутствуют оценки параметра  $\mu$  в (3.8). Откуда можно сделать вывод, что это малый параметр?
6. В п. 4.4. использована аппроксимация коэффициента  $c_y$  полиномом 7-го порядка в промежутке  $[-0.2; 0.2]$ . Не указаны пределы применимости аппроксимации. Возможна ли экстраполяция за пределы промежутка? При наличии 7 корней полином может себя вести существенно немонотонно.
7. В Заключение отсутствуют какие-либо рекомендации по результатам исследования. Что делать на практике для снижения нагрузок на плохо обтекаемые конструкции?
8. Замечания редакционного плана: а) На странице 31 мостик Уитстона ошибочно назван мостиком Уинстона; б) в формуле на странице 32 присутствуют нерасшифрованные обозначения  $\nu$  и  $\mu$ ; в) в последней строчке на странице 39 в выражении для числа Струхала период колебаний вместо знаменателя оказался в числителе; г) имеются опечатки и погрешности пунктуации.

Сделанные замечания не снижают ценности диссертационной работы в целом. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, содержит новые результаты в области аэродинамики плохо обтекаемых тел. Результаты представляют научный и практический интерес. Результаты диссертационной работы опубликованы в 12 работах. Из них пять публикаций вышли в изданиях, индексируемых в базах данных Scopus или Web of Science Core Collection. Результаты прошли апробацию на 8 всероссийских и международных конференциях.

Диссертация Шмигирилова Родиона Васильевича на тему: «Моделирование галопирования плохо обтекаемых тел с концевыми шайбами» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Шмигирилов Родион Васильевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.1.9. Механика жидкости, газа и плазмы. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не установлены.

Председатель диссертационного совета

Доктор физико-математических наук, профессор,  
заведующая кафедрой гидроаэромеханики СПбГУ

24.11.2022

Кустова Е.В.

Подпись руки	
<b>УДОСТОВЕРЯЮ</b>	
Специалист по кадровой работе	
« 24 »	2022 г.

Нестерова Л.И.