

ОТЧЕТ ЗА 2013 ГОД ПО ПРОЕКТУ РФФИ 11-04-00234-а

Статус отчета: не подписан

Дата последнего изменения: 30.11.2013

Отчёт создал: Романенко Евгений Васильевич

Отчет распечатан: 02.12.2013

Форма 501. КРАТКИЙ НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ

1.1. *Номер проекта*
11-04-00234

1.2. *Руководитель проекта*
Романенко Евгений Васильевич

1.3. *Название проекта*
Теоретическая оценка эффективности работы хвостовой лопасти дельфина как движителя

1.4. *Вид конкурса*
а - Инициативные проекты

1.5. *Год представления отчета*
2014

1.6. *Вид отчета*
итоговый (2011-2013)

1.7. *Аннотация*

В 2011 году получены расчетные формулы для случая гармонических изменений линейных колебаний и угла атаки бесконечного крыла. С помощью полученных формул проведена оценка зависимости индуктивного сопротивления крыла от положения оси вращения, числа Струхала и угла атаки. Установлено, что при расположении оси вращения в центре крыла индуктивное сопротивление имеет минимальное значение и увеличивается при смещении оси к передней и задней кромкам. В 2012 году получены расчетные формулы для случая гармонических изменений угла наклона бесконечного крыла и угла атаки. С помощью полученных формул проведена оценка зависимости индуктивного сопротивления крыла от положения оси вращения, числа Струхала и углов наклона и атаки. Установлено, что при расположении оси вращения на передней кромке крыла индуктивное сопротивление имеет минимальное значение и увеличивается при смещении оси к задней кромке. В отчетном 2013 году получены расчетные формулы для оценки индуктивного сопротивления жестких крыльев треугольной и прямоугольной формы, моделирующих хвостовую лопасть дельфина, при гармоническом законе линейных колебаний и угле наклона крыла и при произвольном фазовом сдвиге между линейными и угловыми колебаниями. С помощью полученных формул произведена оценка индуктивного сопротивления жестких крыльев треугольной и прямоугольной формы, моделирующих хвостовую лопасть дельфина. Показано, что оптимальный фазовый сдвиг для треугольного крыла составляет угол, близкий к 100 градусам, а для прямоугольного – к 110 градусам (при постоянной скорости набегающего потока и расположении оси вращения крыла вблизи задней кромки). Оценки проведены при кинематических параметрах крыльев, близких к кинематическим параметрам хвостовой лопасти дельфина. Оптимальным здесь считается фазовый сдвиг, при котором индуктивное сопротивление крыла минимально. Проведены также оценки тяги и коэффициента полезного действия (КПД) крыльев. Показано, что тяга зависит от величины фазового угла и положения оси вращения крыла и составляет десятые доли Ньютона (при постоянной скорости набегающего потока, равной 4.3 м в сек.). Максимум КПД прямоугольного крыла слабо зависит от положения оси вращения. Максимумы КПД треугольного и прямоугольного крыльев оказываются при различных положениях оси вращения. Максимум КПД треугольного крыла достигается при положении оси вращения вблизи 0.25 хорды от передней кромки. Максимум КПД прямоугольного крыла – при положении оси вращения вблизи задней кромки. Значения максимумов КПД прямоугольного и треугольного крыльев практически одинаковы (около 70 процентов) и заметно ниже значений КПД, полученных для бесконечного крыла. Последнее условие исключительно ценно, так как позволяет изучить пропульсивные свойства жестких крыльев, моделирующих хвостовую лопасть дельфина, в широком диапазоне фазовых сдвигов. Интересные результаты получены при ускоренном движении крыла, когда ускорение составляет 2.6 м в сек. за секунду в момент достижения мгновенной скорости 1.5 м в сек.. При ускоренном движении тяга треугольного и прямоугольного крыльев на порядок больше, чем при движении с постоянной скоростью и может достигать 5-6 Ньютонов. При этом КПД несколько меньше (около 60 процентов и тоже одинаков для треугольного и прямоугольного крыльев).

1.8. *Полное название организации, где выполняется проект*

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук

"Исполнители проекта согласны с опубликованием (в печатной и электронной формах) научных отчетов и перечня публикаций по проекту"

Подпись руководителя проекта

Форма 503. РАЗВЕРНУТЫЙ НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ

3.1. *Номер проекта* 11-04-00234

3.2. *Название проекта* Теоретическая оценка эффективности работы хвостовой лопасти дельфина как движителя

3.3. *Коды классификатора, соответствующие содержанию фактически проделанной работы* 04-150

3.4. *Объявленные ранее (в исходной заявке) цели проекта на 2013 год* Изучить индуктивное сопротивление жесткого крыла, совершающего гармонические колебания большой амплитуды, при произвольном фазовом сдвиге между линейными и угловыми колебаниями. Без знания индуктивного сопротивления в широком интервале фазовых сдвигов невозможна корректная оценка гидродинамических сил, развиваемых хвостовой лопастью дельфина. Считается, что оптимальным углом фазового сдвига является угол, близкий к 90 градусам. Однако исследования показывают, что сила тяги, мощность и индуктивное сопротивление, развиваемые крылом, достигаются при заметно различающихся фазовых углах, хотя и достаточно близких.

3.5. *Степень выполнения поставленных в проекте задач* Все задачи выполнены

3.6. *Полученные за отчетный период важнейшие результаты* С использованием приближенных выражений для составляющих гидродинамических сил через коэффициенты аэродинамических производных первого порядка построена математическая модель работы плоского жесткого крыла различного удлинения и формы при больших амплитудах линейных и угловых колебаний, различных положениях оси вращения крыла и произвольном фазовом сдвиге между линейными и угловыми колебаниями. Получены расчетные формулы для оценки тяги, мощности, индуктивного сопротивления и коэффициента полезного действия (КПД) такого крыла. Существующие в настоящее время математические модели жестких крыльев основаны на применении исключительно численных методов оценки развиваемых ими гидродинамических сил. При этом получаемые результаты носят интегральный характер без разделения на компоненты, формируемые разными механизмами. После разработки нового метода [1-5], основанного на использовании коэффициентов аэродинамических (гидродинамических, вращательных) производных [6] появилась возможность оперативной оценки развиваемых крылом гидродинамических сил с помощью относительно простых расчетных формул. В этом случае для выполнения вычислений сил нет необходимости применять весьма трудоемкие численные методы и специальные компьютерные программы. Достаточно простого инженерного калькулятора. Кроме того появилась возможность выделить компоненты сил, формируемые разными механизмами, связанными с движением крыла относительно разных координатных осей связанной системы координат, и с влиянием вихревого следа крыла. Одной из таких компонент, представляющих существенную часть общей тяги крыла, является индуктивное сопротивление. Ранее [1-5] были получены расчетные формулы для оценки гидродинамических сил, развиваемых жестким крылом, колеблющимся в невязкой жидкости с произвольными амплитудами линейных и угловых колебаний, произвольным положением оси вращения и фазовым сдвигом между линейными и угловыми колебаниями, составляющем 90 градусов. В этих формулах составляющая гидродинамических сил, обусловленная индуктивным сопротивлением крыла, определялась оценкой «сверху», т. е. по максимуму. В этом случае неизвестной величиной является нормальная скорость крыла. Было показано, что оценка индуктивного сопротивления по максимуму является достаточным приближением при расчетах пропульсивных характеристик в случаях умеренных удлинений крыла или когда доля индуктивного сопротивления мала в общем балансе гидродинамических сил. Вместе с тем остаются вопросы погрешности используемой оценки в зависимости от формы крыла и кинематики движения. При определении рассматриваемой составляющей гидродинамических сил неизвестной величиной является скорость, индуцируемая вихревым следом крыла. В случае установившегося или квазистационарного движения крыла конечного размаха порождение вихревого следа определяется главным образом конечностью размаха крыла. Скорость, индуцируемая вихревым следом, по абсолютной величине меньше вертикальной скорости крыла. При этом для умеренных удлинений крыла оценка индуктивного сопротивления по максимуму дает очень неплохие результаты. В случае бесконечного удлинения крыла вихревой след порождается изменением циркуляции при наличии поперечных и угловых колебаний крыла. В данном случае значение скорости, индуцируемой вихревым следом, может быть как больше, так и меньше вертикальной скорости крыла, соответственно индуктивное сопротивление может быть как отрицательным, так и положительным. В работе [7] получены расчетные формулы для индуктивного сопротивления крыла при гармонических изменениях его линейных колебаний и угла наклона (при фазовом сдвиге 90 градусов). В 2011 году получены расчетные формулы для случая гармонических изменений линейных колебаний и угла атаки бесконечного крыла. С помощью полученных формул проведена оценка зависимости индуктивного сопротивления крыла от положения оси вращения, числа Струхала и угла атаки. Установлено, что при расположении оси вращения в центре крыла индуктивное сопротивление имеет минимальное значение и увеличивается при смещении оси к передней и задней кромкам. Однако это увеличение не превышает 20-30 процентов при следующих кинематических параметрах крыла, моделирующего хвостовую лопасть дельфина: амплитуда колебаний крыла составляет 0.25 хорды, число Струхала равно 1, угол атаки 0.1 радиан. Кинематические параметры хвостовой лопасти дельфина афалины (*Tursiops truncatus*) получены в результате собственных экспериментов, описанных и опубликованных в работах [1,2]. С изменением числа Струхала и угла атаки индуктивное сопротивление изменяется нелинейно [8]. В 2012 году получены расчетные формулы для случая гармонических изменений угла наклона бесконечного крыла и угла атаки. С помощью полученных формул проведена оценка зависимости индуктивного сопротивления крыла от положения оси вращения, числа Струхала и углов наклона и атаки. Установлено, что при расположении оси вращения на передней кромке крыла индуктивное сопротивление имеет минимальное значение и увеличивается при смещении оси к задней кромке. Однако это увеличение не превышает 20-30 процентов при следующих кинематических параметрах крыла: наибольшее значение вертикальных колебаний составляет 1.0 хорды, число Струхала изменяется в пределах от 0.4 до 2.0, амплитуда угла атаки составляет 0.1

радиан, угол наклона крыла изменяется в пределах 0.29 - 1.2 радиан. С изменением числа Струхалия, углов наклона крыла и угла атаки индуктивное сопротивление изменяется нелинейно. Полученные формулы позволяют оценить коэффициент полезного действия хвостовой лопасти дельфина, моделируемой бесконечным крылом. Он оказывается близок к 90%. Это объясняется главным образом двумя факторами. Прежде всего малостью угла атаки и числа Струхалия, в результате чего очень мало индуктивное сопротивление лопасти. Второй фактор - гибкость лопасти в направлении хорды, что приводит к значительному увеличению ее эффективности. Имеющиеся в литературе данные по оценкам эффективности хвостовой лопасти дельфина очень разнородны. Диапазон оценок от 50 до 90%. Получены такие оценки в результате наблюдений за плавающими в открытом море животными [9]. В отчетном 2013 году получены расчетные формулы для оценки индуктивного сопротивления жестких крыльев треугольной и прямоугольной формы, моделирующих хвостовую лопасть дельфина, при гармоническом законе линейных колебаний и угле наклона крыла и при произвольном фазовом сдвиге между линейными и угловыми колебаниями. Последнее условие исключительно ценно, так как позволяет изучить пропульсивные свойства жестких крыльев, моделирующих хвостовую лопасть дельфина, в широком диапазоне фазовых сдвигов. Вполне возможно, что при некоторых режимах плавания дельфина оптимальный сдвиг фазы между линейными и угловыми колебаниями хвостовой лопасти может отличаться от 90 градусов. С помощью полученных формул произведена оценка индуктивного сопротивления жестких крыльев треугольной и прямоугольной формы, моделирующих хвостовую лопасть дельфина. Показано, что оптимальный фазовый сдвиг для треугольного крыла составляет угол, близкий к 100 градусам, а для прямоугольного - к 110 градусам (при постоянной скорости набегающего потока и расположении оси вращения крыла вблизи задней кромки). Оценки проведены при кинематических параметрах крыльев, близких к кинематическим параметрам хвостовой лопасти дельфина. Оптимальным здесь считается фазовый сдвиг, при котором индуктивное сопротивление крыла минимально. Проведены также оценки тяги и коэффициента полезного действия (КПД) крыльев. Показано, что тяга зависит от величины фазового угла и положения оси вращения крыла и составляет десятые доли Ньютона (при постоянной скорости набегающего потока, равной 4.3 м в сек). Максимум КПД прямоугольного крыла слабо зависит от положения оси вращения. Максимумы КПД треугольного и прямоугольного крыльев оказываются при различных положениях оси вращения. Максимум КПД треугольного крыла достигается при положении оси вращения вблизи 0.25 хорды от передней кромки. Максимум КПД прямоугольного крыла - при положении оси вращения вблизи задней кромки. Значения максимумов КПД прямоугольного и треугольного крыльев практически одинаковы (около 70 процентов) и заметно ниже значений КПД, полученных для бесконечного крыла. Форма хвостовой лопасти дельфина близка скорее к треугольной, чем прямоугольной. Поэтому следует ожидать, что у хвостовой лопасти дельфина ось вращения должна находиться в передней части крыла (вблизи 0.25 хорды от передней кромки). Имеющиеся в литературе оценки [10-12] относят положение оси вращения бесконечного и прямоугольного крыльев, моделирующих хвостовую лопасть рыб, к задней кромке, распространяя этот вывод и на хвостовую лопасть дельфина. Эти оценки, справедливые для прямоугольных крыльев, для хвостовой лопасти дельфина нуждаются в уточнении. Интересные результаты получены при ускоренном движении крыла, когда ускорение составляет 2.6 м в сек. за секунду в момент достижения мгновенной скорости 1.5 м в сек.. При ускоренном движении тяга треугольного и прямоугольного крыльев на порядок больше, чем при движении с постоянной скоростью и может достигать 5-6 Ньютонов. При этом КПД несколько меньше (около 60 процентов и тоже одинаков для треугольного и прямоугольного крыльев). КПД прямоугольного крыла практически не зависит от положения оси вращения, тогда как у треугольного крыла наибольшие значения КПД достигаются при приближении оси вращения к передней кромке. Столь детальное теоретическое исследование пропульсивных характеристик треугольных и прямоугольных крыльев в двух режимах набегающего потока проведено впервые. Это стало возможным благодаря предложенному новому аналитическому методу оценки характеристик жестких крыльев с помощью относительно простых расчетных формул. Для оценки точности полученных формул разработан алгоритм численного решения исходных выражений. В настоящее время для численного интегрирования разработан целый ряд методов. Обычный метод численного интегрирования состоит в том, чтобы на рассматриваемом отрезке интегрирования подынтегральную функцию заменить функцией более простого вида таким образом, чтобы интеграл непосредственно вычислялся из полученного выражения. Однако при переходе от исходной функции к более простой неизбежно возникают ошибки, которые оцениваются с помощью остаточного члена. Вид квадратурной формулы и величина остаточного члена определяются методом численного интегрирования, а значение остаточного члена определяется величиной производных высших порядков. Квадратурная формула метода Симпсона использует для аппроксимации параболу, и для достаточно гладких функций она дает хорошие результаты. А сочетание точности с несложной квадратурной формулой обеспечивает методу широкую популярность. Однако, в нашем случае подынтегральные функции периодические, в связи с этим значения производных высокого порядка существенно не убывают, поэтому величины производной высокого порядка и погрешности имеют достаточно высокие значения. Выполненные по различным квадратурным формулам расчеты показывают, что в нашем случае наилучшие результаты обеспечивает квадратурная формула Ньютона-Котеса более высокого порядка. При интегрировании эта формула заменяет подынтегральную функцию интерполяционным полиномом Лагранжа. Квадратурная формула Ньютона-Котеса обычно использует степень интерполяционного полинома не более 8, так как при более высоких значениях алгоритмы вычислений коэффициентов Кортеса достаточно сложные. Для достижения необходимой точности на основе формулы Ньютона-Котеса была разработана адаптивная квадратурная программа. Ее алгоритм выглядит следующим образом: 1. Заданный диапазон интегрирования разбивается на достаточно большое количество интервалов - шагов интегрирования. 2. В каждом интервале интегрирования производятся вычисления по квадратурной формуле Ньютона-Котеса. 3. Шаг интегрирования делится пополам, и к нему снова применяется квадратурная формула Ньютона-Котеса. 4. Результаты расчетов пунктов 2 и 3 сравниваются. Если точность расчетов не достигнута, то за новый интервал интегрирования принимался половинный шаг, полученный в шаге 3, и производится переход к пункту

2, в противном случае осуществляется переход к следующему пункту. 5. Проводится проверка, было ли на данном этапе вычислений деление шага интегрирования в пункте 3 первым. Если не было, то осуществляется переход к следующему пункту, в противном случае идет переход к пункту 8. 6. Производится удвоение шага интегрирования, и к нему снова применяется квадратичная формула Ньютона-Котеса. 7. Результаты расчетов пунктов 2 и 6 сравниваются. Если точность расчетов не достигнута, то двойной интервал принимается за новый шаг интегрирования, и осуществляется переход к пункту 6, в противном случае идет переход к следующему пункту. 8. Производится суммирование полученных промежуточных значений интеграла и переход к следующему интервалу интегрирования. Осуществляется проверка, достигнут ли конец диапазона интегрирования. Если конец не достигнут, то осуществляется переход к пункту 2, в противном случае вычисления заканчиваются. Разработанный алгоритм позволил сравнить оценки, сделанные по формулам для конкретных кинематических параметров с результатом численного решения для тех же параметров. Сравнение показало, что расхождение оценок не превышает нескольких процентов. Список литературы. 1. С.Г. Пушков., Е.В. Романенко. 2000. 2. Е.В. Романенко. Гидродинамика рыб и дельфинов. Издательство КМК, Москва, 2001, 412 с. 3. Romanenko E.V. Fish and Dolphin Swimming. Pensoft. Sofia-Moscow. 2002. 430 p. 4. Е.В. Романенко, С.Г. Пушков, В.Н. Лопатин. Гидродинамические силы, развиваемые крылом, при различных положениях оси его вращения. Тяга, мощность и КПД при гармоническом законе угловых колебаний // Успехи современной биологии. 2009. том 129. №5. С. 469-480. 5. Е.В. Романенко, С.Г. Пушков. Об одном методе расчета гидродинамических характеристик крыла при нестационарном движении // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. Санкт-Петербургский научный центр Российской академии наук. Научный совет по проблемам фундаментальной и прикладной гидрофизики. 2011. Том 4. № 1. С. 69-80. 6. Белоцерковский СМ О коэффициентах вращательных производных. // Труды ЦАГИ. 1958. Вып. 725. С. 5-28. 7. С.Г. Пушков, Е.В. Романенко, В.Н. Лопатин. Индуктивное сопротивление жесткого крыла // Успехи современной биологии. 2009. том 129, № 1. С. 104-114. 8. Е.В. Романенко, С.Г. Пушков, В.Н. Лопатин. Гидродинамические силы, развиваемые крылом, при различных положениях оси его вращения. Тяга, мощность и КПД при гармоническом законе линейных колебаний и угла атаки // Успехи современной биологии. 2010. том 130, № 5, С. 514-524. 9. Е.В. Романенко, С.Г. Пушков., В.Н. Лопатин. Индуктивное сопротивление жесткого крыла при гармоническом изменении углов наклона и атаки // Успехи современной биологии. 2013. (в печати). 10. Lighthill M.S. Hydromechanics of aquatic animal propulsion // Annu. Re Fluid Mech. 1969. Vol 1 Palo Alto Calif. Annual Revs. P. 413-446. 11. Wu T. Y.-T. Hydromechanics of swimming propulsion. Pt 3. Swimmings and optimum movements of slender fish with side fins // J. Fluid Mech. 1971. Vol 46. Pt 3. P. 521-544. 12. Chopra M.G. Hydromechanics of lunatae-tail swimming // J. Fluid Mech. 1974. Vol. 64. Pt 2. P. 375-391.

- 3.7. *Степень новизны полученных результатов* В мировой научной литературе оценки индуктивного сопротивления жестких крыльев отсутствуют. Известны преимущественно малоамплитудные математические модели работы крыла с оценкой тяги и эффективности. Модели, учитывающие большие амплитуды колебаний крыла, крайне редки и относятся к разряду численных. Они не дают расчетных формул и не позволяют осуществлять оперативные оценки эффективности крыла. Предлагаемое решение представляет расчетные формулы, позволяющие проводить оперативные оценки гидродинамических сил вообще и индуктивного сопротивления в частности. В мировой научной литературе подобные решения отсутствуют.
- 3.8. *Сопоставление полученных результатов с мировым уровнем* Впервые разработана математическая модель крыла, аппроксимирующего хвостовую лопасть дельфина, совершающего колебания большой амплитуды при переменном положении оси вращения и произвольном фазовом сдвиге между линейными и угловыми колебаниями. Разработка математической модели завершена получением относительно простых расчетных формул, позволяющих проводить оперативную оценку гидродинамических сил, включая индуктивное сопротивление, и коэффициента полезного действия, развиваемых крылом. В мировой научной литературе нет ни одной работы подобного уровня. Причина этого заключается в том, что на протяжении многих лет подобные работы за рубежом практически не велись. Такая ситуация сложилась потому, что на Западе появилось несколько ошибочных работ, которые создали в научном сообществе неверное мнение о нецелесообразности изучения гидродинамики дельфинов и механизмов работы движительного комплекса этих животных. По этой причине финансирование этой проблемы практически было прекращено в середине семидесятых годов прошлого века. Нами был проведен тщательный анализ упомянутых работ и доказана их ошибочность, о чем было доложено на международных конференциях в Англии и США в присутствии авторов этих работ. Лишь в последние годы в англоязычной научной литературе пристальное внимание уделяется плавниковым движителям. Появилось несколько хороших экспериментальных работ, выполненных в Массачусетском Технологическом Институте в США. В этих работах исследуются жесткие крылья большого удлинения при одном фиксированном положении оси вращения и различных кинематических параметрах. Главным образом применяются два набора кинематических параметров: простое гармоническое движение крыла, когда линейные и угловые колебания крыла совершаются по гармоническому закону с большой амплитудой, и более сложное движение, когда по гармоническому закону изменяются угол наклона крыла и угол атаки, в то время, как линейные колебания (также с большой амплитудой) совершаются по более сложному закону. В одной из работ кроме того исследуется влияние гибкости крыла на его характеристики как движителя. В отечественной литературе известны лишь малоамплитудные экспериментальные работы. Однако вопросам теории крыла уделяется недостаточно внимания. В лучшем случае для сравнения с экспериментальными данными используются численные решения. Но иногда вообще никакого сравнения экспериментальных результатов с теорией не проводится. Тем актуальнее становится необходимость аналитического решения задачи о колебаниях жесткого крыла с большой амплитудой линейных и угловых колебаний при различных положениях оси его вращения и при произвольном значении фазового сдвига между линейными и угловыми колебаниями с получением расчетных формул для оперативной оценки развиваемых им гидродинамических сил. Особое внимание при этом

уделяется оценке индуктивного сопротивления, как важной составной части общей силы, действующей на крыло. Именно эта задача и была решена в рамках настоящего проекта РФФИ.

- 3.9. *Методы и подходы, использованные в ходе выполнения проекта* в ходе выполнения проекта были применены методы математического моделирования с использованием известных линейных решений в форме интегральных уравнений, содержащих сингулярные интегралы. Особенность методов и подходов, использованных в ходе выполнения проекта, состоит в том, что сингулярные интегралы, входящие в интегральные уравнения, представлены через гидродинамические (аэродинамические, вращательные) производные первого порядка [6].
- 3.10.1.1. *Количество научных работ, опубликованных в ходе выполнения проекта*
- 3.10.1.2. *Из них включенных в перечень ВАК*
- 3.10.1.3. *Из них включенных в системы цитирования (Web of science, Scopus, Web of Knowledge, Astrophysics, PubMed, Mathematics, Chemical Abstracts, Springer, Agris, GeoRef)*
- 3.10.2. *Количество научных работ, подготовленных в ходе выполнения проекта и принятых к печати в 2013 г.*
- 3.11. *Участие в научных мероприятиях по тематике проекта, которые проводились при финансовой поддержке Фонда*
- 3.12. *Участие в экспедициях по тематике проекта, проводимых при финансовой поддержке Фонда*
- 3.13. *Финансовые средства, полученные от РФФИ* 355000 руб.
- 3.14. *Адреса (полностью) ресурсов в Internet, подготовленных авторами по данному проекту*
- 3.15. *Библиографический список всех публикаций по проекту* 1. Е.В. Романенко, С.Г. Пушков, В.Н. Лопатин. Гидродинамические силы, развиваемые крылом, при различных положениях оси его вращения. Тяга, мощность и КПД при гармоническом законе изменения углов наклона и атаки // Успехи современной биологии, 2011, т. 131, №5, с. 514-522. 2. Е.В. Романенко, С.Г. Пушков. Об одном методе расчета гидродинамических характеристик крыла при нестационарном движении // Фундаментальная и прикладная гидрофизика, 2011, том 4, №1, с. 69-80. 3. Е.В. Романенко, С.Г. Пушков, В.Н. Лопатин. Индуктивное сопротивление жесткого крыла при гармонических линейных колебаниях и угле атаки // Успехи современной биологии, 2012, т. 132, №6, с. 611-624. 4. E.V. Romanenko, S.G. Pushkov, V.N. Lopatin. Inductive reactance of a rigid wing at harmonic linear oscillations and angle of attack // Biology Bulletin Reviews, 2013, V.3, #2, P. 176-185. 5. Е.В. Романенко, С.Г. Пушков. Гидродинамические силы, развиваемые крылом, при произвольном фазовом сдвиге между линейными и угловыми колебаниями // Фундаментальная и прикладная гидрофизика, 2013. (в печати). 6. Е.В. Романенко, С.Г. Пушков, В.Н. Лопатин. Моделирование хвостовой лопасти дельфина жестким крылом // Успехи современной биологии (сдана в печать).
- 3.16. *Приоритетное направление развития науки, технологий и техники РФ, в котором, по мнению исполнителей, могут быть использованы результаты данного проекта* транспортные и космические системы
- 3.17. *Критическая технология РФ, в которой, по мнению исполнителей, могут быть использованы результаты данного проекта* не очевидно
- 3.18. *Основное направление технологической модернизации экономики России, которому, по мнению исполнителей, соответствуют результаты данного проекта* не очевидно

Подпись руководителя проекта

Форма 506. ФИНАНСОВЫЙ ОТЧЕТ

- 6.1. Объем средств по проекту, полученный от РФФИ в 2013 г.355000
- 6.2. Заработная плата (211)154954
- 6.3. Прочие выплаты (212)0
- 6.4. Начисления на выплаты по оплате труда(213)46796
- 6.5. Услуги связи(221)0
- 6.6. Транспортные услуги(222)0
- 6.7. Арендная плата за пользование имуществом(224)0
- 6.8. Работы, услуги по содержанию имущества(225)0
- 6.9. Прочие работы, услуги(226)80000
- 6.10. Прочие расходы(290)0
- 6.11. Увеличение стоимости основных средств(310)0
- 6.12. Увеличение стоимости материальных запасов(340)20000
- 6.13. ИТОГО РАСХОДОВ(сумма пунктов 6.2-6.12)(900)0
- 6.14. Организационно-техническое сопровождение проектов (до 15 %)53250
- 6.15. Фактические расходы по проекту в 2013 г.355000
- 6.16. Остаток (если таковой имеется)0

II. Финансово-экономическое обоснование расходов по проекту (необходимо обосновать и расшифровать каждый использовавшийся показатель) Романенко Е.В. 114954 Лопатин В.Н. 15000 Сидорова Т.Н. 15000 Савинкин О.В. 10000 Оплата по Договору №05 гражданско-правового характера Пушкину С.Г. от 05.03.2013 на период с 05.03.13 по 05.06.13. Техническое задание: "Получение общего выражения для коэффициента мощности жесткого крыла, включающего в себя индуктивное сопротивление". Работа выполнена. 80000. Перечень материалов, приобретенных на средства проекта: картриджи к принтерам и ксероксу по счету №585 от 14.06.13 на общую сумму 17873.93, канцтовары по счету №1221 от 23.09.13 на общую сумму 2126.07 рублей. Картриджи к принтерам и ксероксу 20000

Подпись руководителя проекта

Подпись главного бухгалтера организации, заверенная печатью

Форма 509. ПУБЛИКАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОЕКТА

- 9.1. *Номер проекта*11-04-00234
- 9.2. *Первый автор*Е.В. Романенко
- 9.3. *Другие авторы*С.Г. ПушковВ.Н. Лопатин
- 9.4. *Название публикации*Гидродинамические силы, развиваемые крылом, при различных положениях оси его вращения. Тяга, мощность и КПД при гармоническом законе изменения углов наклона и атаки
- 9.5. *Язык публикации*русский
- 9.6.1. *Полное название издания*Успехи современной биологии
- 9.7. *Вид публикации*статья в журнале
- 9.8. *Завершенность публикации*опубликовано
- 9.9. *Год публикации*2011
- 9.10.1 *Том издания*131
- 9.10.2 *Номер издания*Б
- 9.11. *Страницы*518-526
- 9.12.1. *Полное название издательства*Наука
- 9.12.2. *Город, где расположено издательство*Москва
- 9.13. *Краткий реферат публикации*С использованием приближенных выражений для составляющих гидродинамических сил через коэффициенты аэродинамических производных первого порядка построена математическая модель гидродинамических характеристик плоского жесткого крыла различного удлинения при больших амплитудах линейных и угловых колебаний и различных положениях оси вращения крыла. Получены расчетные формулы для вычисления тяги, мощности и КПД в случае гармонических изменений углов наклона и атаки крыла. Показано хорошее совпадение результатов расчета по полученным формулам с известными экспериментальными данными.
- 9.14. *Общее число ссылок в списке использованной литературы*22

Подпись руководителя проекта

Форма 509. ПУБЛИКАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОЕКТА

- 9.1. *Номер проекта*11-04-00234
- 9.2. *Первый автор*Е. V. Romanenko
- 9.3. *Другие авторы* S. G. Pushkov V. N. Lopatin
- 9.4. *Название публикации* Inductive Reactance of a Rigid Wing at Harmonic Linear Oscillations and Angle of Attack
- 9.5. *Язык публикации* английский
- 9.6.1. *Полное название издания* Biology Bulletin Reviews
- 9.7. *Вид публикации* статья в журнале
- 9.8. *Завершенность публикации* опубликовано
- 9.9. *Год публикации* 2013
- 9.10.1 *Том издания* 3
- 9.10.2 *Номер издания* 2
- 9.11. *Страницы* 176-185
- 9.12.1. *Полное название издательства* Pleiades Publishing, Ltd.,
- 9.12.2. *Город, где расположено издательство*
- 9.13. *Краткий реферат публикации* The inductive reactance of a flat and rigid wing performing harmonic oscillations with a sufficiently large amplitude at an arbitrary position of the axis of rotation was estimated. In the plane problem, analytical expressions for the components of inductive reactance through the coefficients of hydrodynamic derivatives for harmonic variations in the angle of attack were obtained.
- 9.14. *Общее число ссылок в списке использованной литературы* 13

Подпись руководителя проекта

Форма 509. ПУБЛИКАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОЕКТА

- 9.1. *Номер проекта*11-04-00234
- 9.2. *Первый автор*Романенко Е.В.
- 9.3. *Другие авторы*Пушков С.Г.
- 9.4. *Название публикации*Об одном методе расчета гидродинамических характеристик крыла при нестационарном движении
- 9.5. *Язык публикации*русский
- 9.6.1. *Полное название издания*Фундаментальная и прикладная гидрофизика
- 9.7. *Вид публикации*статья в сборнике
- 9.8. *Завершенность публикации*опубликовано
- 9.9. *Год публикации*2011
- 9.10.1 *Том издания*А
- 9.10.2 *Номер издания*1
- 9.11. *Страницы*69-80
- 9.12.1. *Полное название издательства*Учреждение Российской Академии наук Санкт-Петербургский научный центр РАН Научный совет по проблемам фундаментальной и прикладной гидрофизики
- 9.12.2. *Город, где расположено издательство*Санкт-Петербург
- 9.13. *Краткий реферат публикации*С использованием приближенных выражений для составляющих гидродинамических сил через коэффициенты аэродинамических производных первого порядка и кинематических параметров движения построена математическая модель работы плоского жесткого крыла различного удлинения при больших амплитудах линейных и угловых колебаний и различных положениях оси вращения крыла. Получены формулы для вычисления тяги, мощности и КПД в случае гармонических колебаний крыла. Показано хорошее согласие результатов расчета по полученным формулам с соответствующими известными численными решениями.
- 9.14. *Общее число ссылок в списке использованной литературы*22

Подпись руководителя проекта

Форма 509. ПУБЛИКАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОЕКТА

- 9.1. *Номер проекта*11-04-00234
- 9.2. *Первый автор*Е.В. Романенко
- 9.3. *Другие авторы*С.Г. ПушковВ.Н. Лопатин
- 9.4. *Название публикации*Индуктивное сопротивление жесткого крыла при гармонических линейных колебаниях и угле атаки
- 9.5. *Язык публикации*русский
- 9.6.1. *Полное название издания*Успехи современной биологии
- 9.7. *Вид публикации*статья в журнале
- 9.8. *Завершенность публикации*опубликовано
- 9.9. *Год публикации*2012
- 9.10.1 *Том издания*132
- 9.10.2 *Номер издания*б
- 9.11. *Страницы*б11-624
- 9.12.1. *Полное название издательства*Наука
- 9.12.2. *Город, где расположено издательство*Москва
- 9.13. *Краткий реферат публикации*Выполнены оценки индуктивного сопротивления плоского и жесткого крыла, совершающего гармонические колебания достаточно большой амплитуды при произвольном положении оси вращения. В плоской задаче получены аналитические выражения для составляющих индуктивного сопротивления через коэффициенты гидродинамических производных при гармонических изменениях угла атаки.
- 9.14. *Общее число ссылок в списке использованной литературы*12

Подпись руководителя проекта

Форма 509. ПУБЛИКАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОЕКТА

- 9.1. *Номер проекта*11-04-00234
- 9.2. *Первый автор*Романенко Е.В.
- 9.3. *Другие авторы*Пушков С.Г.
- 9.4. *Название публикации*Гидродинамические силы, развиваемые крылом, при произвольном фазовом сдвиге между линейными и угловыми колебаниями
- 9.5. *Язык публикации*русский
- 9.6.1. *Полное название издания*Фундаментальная и прикладная гидрофизика
- 9.7. *Вид публикации*статья в сборнике
- 9.8. *Завершенность публикации*принято в печать
- 9.9. *Год публикации*2014
- 9.10.1 *Том издания*
- 9.10.2 *Номер издания*
- 9.11. *Страницы*
- 9.12.1. *Полное название издательства*Учреждение Российской Академии наук Санкт-Петербургский научный центр РАН Научный совет по проблемам фундаментальной и прикладной гидрофизики
- 9.12.2. *Город, где расположено издательство*Санкт-Петербург
- 9.13. *Краткий реферат публикации*Построена математическая модель плоского жесткого крыла различного удлинения при больших амплитудах линейных и угловых колебаний и различных положениях его оси вращения. При создании модели использованы приближенные выражения для составляющих гидродинамических сил через коэффициенты аэродинамических производных первого порядка. Получены расчетные формулы для вычисления тяги в случае гармонических линейных и угловых колебаний при произвольном фазовом сдвиге между ними. Показано хорошее согласие результатов расчета по полученным формулам с известными численными решениями.
- 9.14. *Общее число ссылок в списке использованной литературы*14

Подпись руководителя проекта

Форма 509. ПУБЛИКАЦИИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПРОЕКТА

- 9.1. *Номер проекта* 11-04-00234
- 9.2. *Первый автор* Е.В. Романенко
- 9.3. *Другие авторы* С.Г. Пушков В.Н. Лопатин
- 9.4. *Название публикации* Моделирование хвостовой лопасти дельфина жестким крылом
- 9.5. *Язык публикации* русский
- 9.6.1. *Полное название издания* Успехи современной биологии
- 9.7. *Вид публикации* статья в журнале
- 9.8. *Завершенность публикации* дано в печать
- 9.9. *Год публикации* 2014
- 9.10.1 *Том издания*
- 9.10.2 *Номер издания*
- 9.11. *Страницы*
- 9.12.1. *Полное название издательства* Наука
- 9.12.2. *Город, где расположено издательство* Москва
- 9.13. *Краткий реферат публикации* Выполнены оценки гидродинамических сил плоского жесткого крыла, моделирующего хвостовую лопасть дельфина, совершающего колебания достаточно большой амплитуды при произвольном положении оси вращения и произвольном фазовом сдвиге между линейными и угловыми колебаниями. Рассмотрены две модели: крыло треугольной и прямоугольной формы. Используются кинематические параметры, характерные для хвостовой лопасти дельфина, полученные в экспериментах с животными.
- 9.14. *Общее число ссылок в списке использованной литературы* 15

Подпись руководителя проекта

Форма 511. ВОЗМОЖНОСТИ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОЕКТА РФФИ

- 11.1.1. *Краткое назначение конечной продукции, технологии или услуг, которые будут производиться с применением полученных результатов* Плавниковые движители
- 11.1.2. *В какой форме результаты проекта могут быть доведены до практического использования* научно-техническая продукция
- 11.2.3. *Планируемый период проведения дополнительных НИОКР с целью разработки прототипов продукции (технологии) для демонстрации потенциальным инвесторам*
- 11.3.4. *Предполагаемые авторами пути дальнейшего продвижения проекта* другое
- 11.7. *Информация, связанная с интеллектуальной собственностью* патентование не требуется
- Подпись руководителя проекта*

Форма 512-И. Данные о физическом лице - члене коллектива, завершившем участие в выполнении проекта в 2013 г.

- 12.1.1. *Фамилия, Имя, Отчество* Лопатин Виктор Николаевич
12.1.2. *Фамилия, Имя, Отчество на английском языке* Lopatin Viktor Nikolaevich
12.2.1. *Дата рождения* 25.09.1937
12.2.2. *Пол* мужской
12.3.1. *Ученая степень* кандидат технических наук
12.3.2. *Год присуждения ученой степени* 1972
12.4.1. *Ученое звание* Доцент
12.4.2. *Год присвоения ученого звания* 1974
12.5.1. *Полное название организации - места работы* Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н.Северцова Российской академии наук
12.5.2. *Сокращенное название организации - места работы* ИПЭЭ РАН
12.6. *Должность* Старший научный сотрудник
12.7.1. *Область научных интересов - ключевые слова* вычислительная математика, общая биология, математическое моделирование популяций животных, растений и экосистем, общая экология, регуляция численности животных, устойчивость экосистем
12.7.2. *Область научных интересов - коды классификатора* 04-150
12.8. *Общее число публикаций* 57
12.9. *Телефон для связи* (495)1352164
12.10. *Электронный адрес* lopatin@sevin.ru
12.11. *Участие в проекте* исполнитель
12.13. *Год участия в проекте* 2013

Заявляю о своем согласии с тем, что в 2014 году я не принимаю участия в выполнении работ по Проекту _____ в качестве члена коллектива физических лиц, подавших Заявку на получение гранта РФФИ. Подпись _____ " ____ " _____ 201_ г.

Форма 512-Р. Данные о физическом лице - Руководителе проекта

- 12.1.1. *Фамилия, Имя, Отчество* Романенко Евгений Васильевич
12.1.2. *Фамилия, Имя, Отчество на английском языке* Romanenko Evgenyi Vasilievitch
12.2.1. *Дата рождения* 01.03.1933
12.2.2. *Пол* мужской
12.3.1. *Ученая степень* доктор биологических наук
12.3.2. *Год присуждения ученой степени* 1986
12.4.1. *Ученое звание* Профессор
12.4.2. *Год присвоения ученого звания* 1998
12.5.1. *Полное название организации - места работы* Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова Российской академии наук
12.5.2. *Сокращенное название организации - места работы* МПЭЭ РАН
12.6. *Должность* Главный научный сотрудник
12.7.1. *Область научных интересов - ключевые слова* моделирование, крыло, индуктивное сопротивление, дельфин, тяга, хвостовая лопасть, коэффициент полезного действия
12.7.2. *Область научных интересов - коды классификатора* 04-150
12.8. *Общее число публикаций* 133
12.9. *Телефон для связи* (499) 1357149
12.10. *Электронный адрес* evromanenko33@mail.ru
12.11. *Участие в проекте* руководитель
12.13. *Год участия в проекте* 2013

С условиями Конкурса и "Правилами организации и проведения работ по научным проектам, поддержанным федеральным государственным бюджетным учреждением "Российский фонд фундаментальных исследований", утвержденными Решением Бюро Совета фонда, Протокол № 2(130) от "05" марта 2013 г. ознакомлен, согласен выполнять. Согласен на использование моих персональных данных для информационного и финансового сопровождения Проекта. Согласен с опубликованием (в печатной и электронной формах) аннотаций научных отчетов и перечня публикаций по проекту. Подпись

_____ "___" _____ 201_ г.

Форма 512-И. Данные о физическом лице - члене коллектива, завершившем участие в выполнении проекта в 2013 г.

- 12.1.1. *Фамилия, Имя, Отчество*Пушков Сергей Георгиевич
12.1.2. *Фамилия, Имя, Отчество на английском языке*Pushkov Sergey Georgievich
12.2.1. *Дата рождения*31.01.1956
12.2.2. *Пол*мужской
12.3.1. *Ученая степень*доктор технических наук
12.3.2. *Год присуждения ученой степени*2012
12.4.1. *Ученое звание*Без ученого звания
12.4.2. *Год присвоения ученого звания*
12.5.1. *Полное название организации - места работы*Федеральное государственное унитарное предприятие Летно-исследовательский институт имени М.М.Громова
12.5.2. *Сокращенное название организации - места работы*ФГУП ЛИИ имени М.М.Громова
12.6. *Должность*Главный научный сотрудник
12.7.1. *Область научных интересов - ключевые слова*оценивание средств определения воздушных параметров, аэродинамика, летные испытания, обработка данных летных испытаний
12.7.2. *Область научных интересов - коды классификатора*04-150
12.8. *Общее число публикаций*40
12.9. *Телефон для связи*(096)5567197
12.10. *Электронный адрес*puschkoff.s@yandex.ru
12.11. *Участие в проекте*исполнитель
12.13. *Год участия в проекте*2013

Заявляю о своем согласии с тем, что в 2014 году я не принимаю участия в выполнении работ по Проекту _____ в качестве члена коллектива физических лиц, подавших Заявку на получение гранта РФФИ. Подпись _____ "___"_____201_ г.