

УДК 629.7.015

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ ВИНТА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЧИСЛЕННЫХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ МЕТОДОВ

© 2018 Д. В. Назаров, А. В. Кондрякова

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева

Статья поступила в редакцию 09.06.2018

В работе представлены результаты исследования аэродинамических характеристик реального винта. Целью работы является выбор методики моделирования течения вокруг винта при отсутствии набегающего потока. Используется экспериментальный и численный методы исследования. Экспериментальные характеристики потока вокруг винта получены в аэродинамической трубе. В качестве численного метода применено компьютерное моделирование в программном комплексе ANSYS CFX. В результате получена картина обтекания, согласующаяся с известными исследованиями. Полученные значения тяги винта, рассчитанные в процессе численного моделирования сопоставимы с экспериментальными данными. Результаты работы подтверждают возможность использования CFD метода для определения характеристик обтекания винта, с учетом его геометрических параметров.

Ключевые слова: воздушный винт, CFD-моделирование, тяга винта, экспериментальное исследование, поле скоростей.

В связи с широким применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) вновь становится актуальным вопрос, связанный с определением характеристик воздушного винта и его влияния на другие части самолета. Известные методы проектирования воздушных винтов [1] позволяют получить лишь приближенную и недостаточно полную информацию. Современное развитие вычислительной техники дает возможность решать эту задачу численными методами и получать не только основные характеристики самого винта, но и анализировать течение, которое образуется за винтом.

Целью работы является выбор методики моделирования течения вокруг винта при отсутствии набегающего потока, которая позволит получить хорошее согласование результатов расчета с экспериментальными данными.

Картина обтекания винта в значительной степени зависит от его геометрических параметров. В качестве объекта исследования был выбран реальный винт БПЛА диаметром $D=300$ мм, с шагом $H=112,5$ мм.

Экспериментальный отсек, состоящий из корпуса, винта, бесколлекторного электродвигателя и обтекателя, представлен на рис. 1.

Определение характеристик винта проводилось в рабочей части аэродинамической трубы АДТ Т-3 Самарского университета с использованием автоматизированной инфор-

мационно-измерительной системы (АИИС) [2], посредством которой измерялись поля давлений, а также аэродинамические силы и моменты.

Для выполнения исследования была создана экспериментальная установка, показанная на рис. 2, которая состояла из экспериментального отсека, регулятора оборотов, аккумулятора, приемника и передатчика, а также измерительной аппаратуры, позволяющей определять частоту вращения винта. Корпус, изготовленный из полимерного материала методом 3D-печати, обеспечивал крепление экспериментального отсека на тензометрических весах аэродинамической трубы. Штанга тензометрических весов была закреплена в штатном α - β -механизме, позволяющем изменять угол установки оси винта относительно набегающего потока. Для измерения полей давлений в струе за винтом использовался 32-канальный датчик давления (гребенка). Датчик устанавливался в вертикальной плоскости симметрии корпуса над его поверхностью так, что нижний приемник находился на расстоянии 2 мм от поверхности корпуса, что соответствовало безразмерному радиусу

$$\bar{r} = \frac{2r}{D} = 0,19$$
 при этом верхний приемник гребенки находился на расстоянии $\bar{r} = 0,99$. Таким образом, датчик измерял поле давлений сразу по всему свободному сечению струи винта. Расстояние датчика от плоскости вращения винта x/D варьировалось в пределах от 0,6 до 1,5. Гребенка в рабочем положении показана на рис. 3.

В экспериментальном исследовании применялась следующая методика. Запускался электродвигатель и выводился на заданную частоту

Назаров Дмитрий Валентинович, кандидат технических наук, доцент кафедры конструкции и проектирования летательных аппаратов. E-mail: dvn69@mail.ru
Кондрякова Анна Владиславовна, студентка института авиационной техники. E-mail: kondryakova.anna@gmail.com



Рис. 1. Экспериментальный отсек

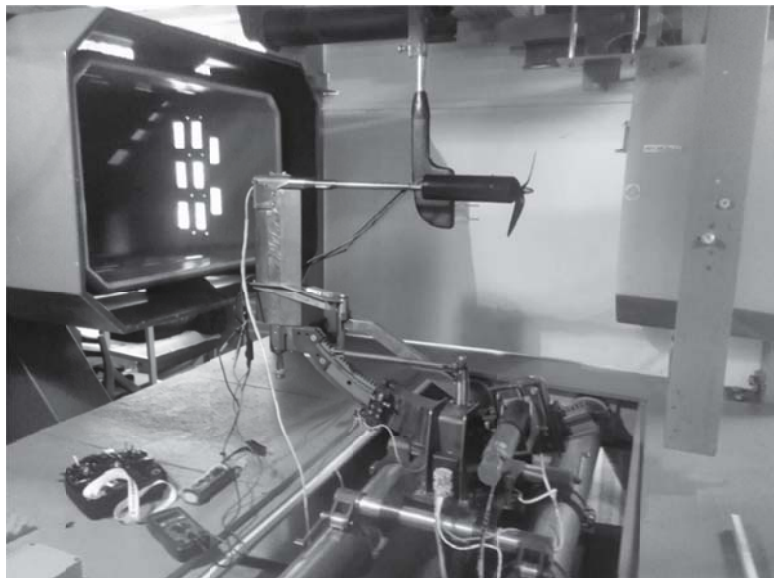


Рис. 2. Экспериментальная установка в рабочей части АДТ Т3 Самарского университета

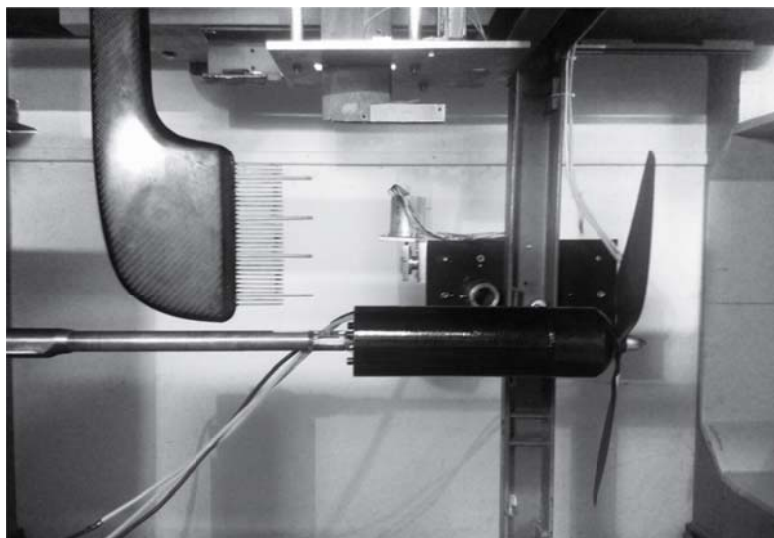


Рис. 3. Рабочее положение датчика давления.

вращения в пределах от 1500 до 5000 об/мин, которая контролировалась датчиком оборотов. Затем с помощью тензочувствительных датчиков измерялась продольная сила P и крутящий момент M_x . Кроме того, фиксировались показания многоканального датчика давления. Потом менялась частота вращения двигателя эксперимент повторялся. На данном этапе исследования измерения проводились без набегающего потока.

На рис. 4 представлены поля скоростей, определенные по показаниям датчика давления, при постоянных оборотах двигателя $n = 5000$ об/мин на разных расстояниях датчика от плоскости вращения винта. Как видно из графика в исследованном диапазоне положений датчика ядро струи винта располагается в пределах $\bar{r} = 0,3 \dots 0,5$, независимо от того на каком расстоянии находится сечение от плоскости вращения винта.

Наряду с традиционными методами исследования, такими как аналитические и экспериментальные методы, сформировался третий метод – вычислительная гидрогазодинамика

(англ. Computational fluid dynamics, CFD). Продолжая непрерывно развиваться и совершенствоваться, данный метод может выступать в качестве альтернативы натурного эксперимента при решении многих задач.

В настоящем исследовании для моделирования был выбран ANSYS CFX – как основной программный пакет для задач гидрогазодинамики общего назначения. Модуль основан на методе контрольных объемов, позволяющей получить высокую точность результатов.

Для выполнения CFD – моделирования в системе автоматизированного проектирования NX компании Siemens PLM Software была создана модель, 3D-модель, которая представляла собой сборку из двух лопастей, обтекателя и втулки винта. Размеры модели были выбраны те же, что и в эксперименте. Сборка воздушного винта, показана на рис. 5.

В пакете Ansys CFX моделирование работы винта возможно двумя способами. Первый способ подразумевает использование «актив-

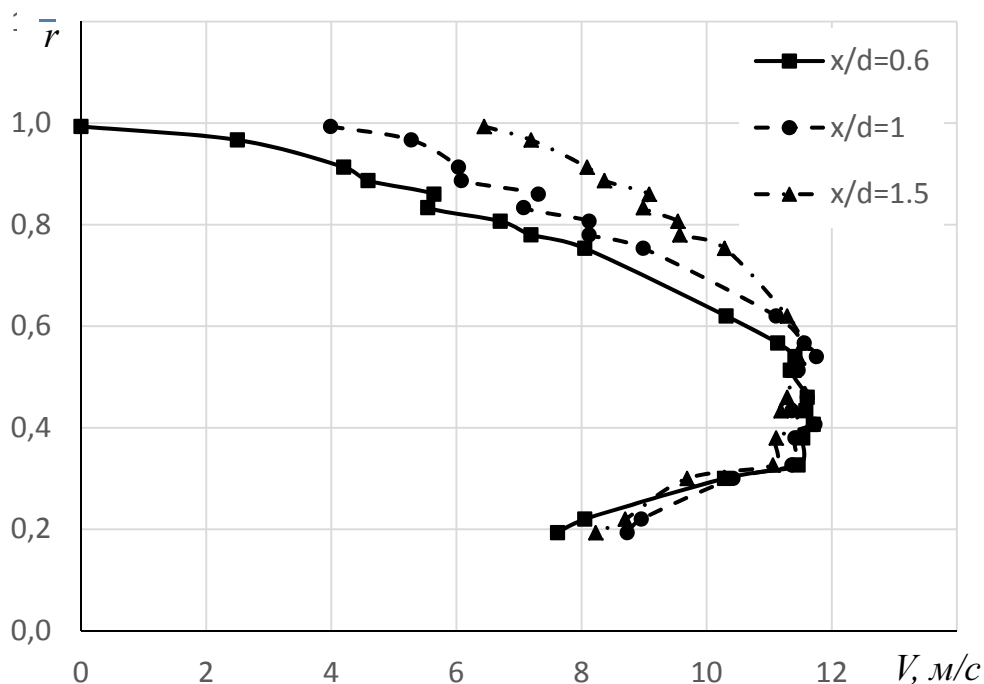


Рис. 4. Поля скоростей за винтом



Рис. 5. Исследуемый винт

ного диска», который позволяет задавать из геометрических параметров винта только диаметр, и таким образом не учитывает остальные геометрические параметры. Поэтому для точного моделирования был выбран второй способ, который заключается в использовании сетки, состоящей из нескольких расчетных областей, в нашем случае, это две области, одна из которых – область вращения. Обе области представляли собой цилиндры, в одной из них располагался непосредственно винт, вторая же представляла собой основную расчетную область, размеры которой значительно превышали размеры области вращения во избежание влияния границ на результаты расчета. Размеры области подбирались экспериментальным путем и в результате были заданы следующие геометрические параметры основной области. Расстояние от внутренней вращающейся области до передней поверхности основной области составляло более $10D$. Позади вращающейся области происходят основные процессы в результате обтекания, поэтому расстояние до задней поверхности было выбрано более $40D$. Диаметр основной области также существенно влияет на точность полученных результатов, поэтому его размеры составили величину более $13D$. Полученная область представлена на рис. 6.

Для соответствия условий обтекания экспериментальным во вторую расчетную область были смоделированы корпус и кожух двигателя, а также державка весов.

Важной частью моделирования является создание рациональной расчетной сетки, от которой напрямую зависит полученный результат. Использование нескольких расчетных областей потребовало отдельного создания сеток. На рис. 7 приводится расчетная сетка, сгенерированная по объемам областей. На лопастях винта, а также на поверхностях державки и кожуха произведено измельчение сетки. Так же для моделирования пограничного слоя вблизи поверхности



Рис. 6. Расчетные области

обтекаемой державки и лопастей применены слои мелких призматических ячеек.

Перед проведением моделирования обтекания проводилось предварительное исследование на сеточную сходимость и определение оптимального значения относительной толщины первой ячейки y^+ . Исследование показало, что общее количество в 28458815 оказалось наилучшим, при котором значение y^+ является оптимальным.

Граничные условия задавались исходя из условий проведенного эксперимента. На входной границе расчетной области задавалась нулевая скорость. Использование двух областей позволяло задавать угловые скорости, что весьма важно для повышения точности определения скоростей потока за винтом. На выходной границе и на поверхности, состоящей из образующих цилиндра основной области, устанавливалось давление, соответствующее давлению в эксперименте, а именно 100530,8 Па. Наличие двух областей подразумевает использование дополнительной операции «interface» для обеспечения взаимодействия между областями, причем область вокруг винта имеет три поверхности,

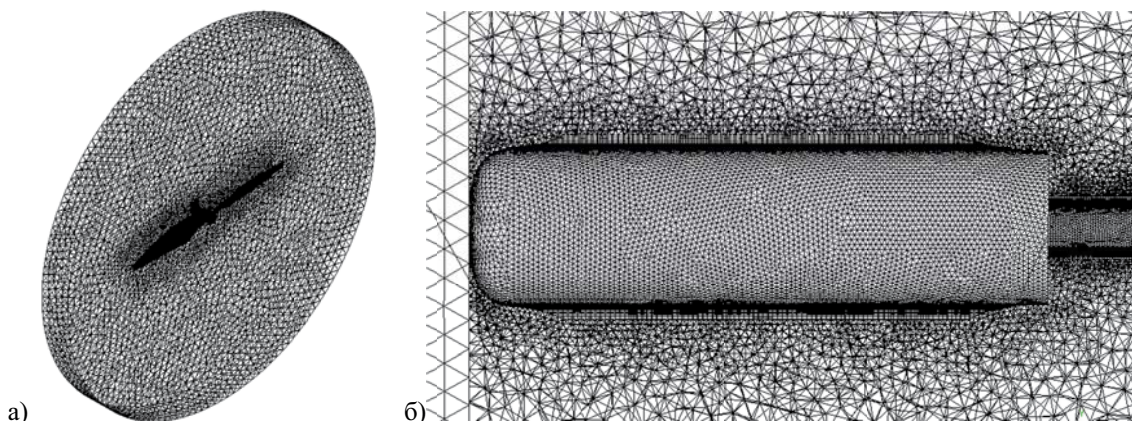


Рис. 7. Расчетная сетка:

а – общий вид вокруг винта; б – вблизи державки

поэтому данная операция применялась для каждой поверхности.

Моделирование в пакете ANSYS выполняется методом конечных объемов, который применяется для численного решения систем дифференциальных уравнений Навье – Стокса, осредненных по методу Рейнольдса. Для замыкания этих уравнений используется модель турбулентности SST, которая дает хорошее согласование с экспериментальными данными при решении задач внешней дозвуковой аэродинамики [3]. Степень турбулентности задавалась равной 1%. Величины угловых скоростей при расчете задавались исходя из экспериментальных данных.

Применение двух расчетных областей дает возможность получения значений тяги, путем отображения компоненты X при просмотре результатов в постпроцессоре CFD – Post. Сравнение экспериментальных данных с результатами

расчета по абсолютным значениям тяги в зависимости от оборотов представлено на рис. 8. Как видно из графика, выбранная методика обеспечивает удовлетворенное согласование результатов расчета с экспериментальными данными.

Помимо полученных значений сил, определялось поле векторов скоростей за воздушным винтом. Картина распределения скоростей в струе представлена на рис. 9а. Следует отметить, что распределение скоростей, полученное в расчете (рис. 4), так же, как и в эксперименте показывает наличие ярко выраженного ядра потока, которое находится вблизи центрального тела.

Анализ полученной картины обтекания позволяет установить, что при работе винта без набегающего потока можно наблюдать образование интенсивного кольцевого вихря. Аналогичная картина образования вихря при малых скоростях набегающего потока описана в работе

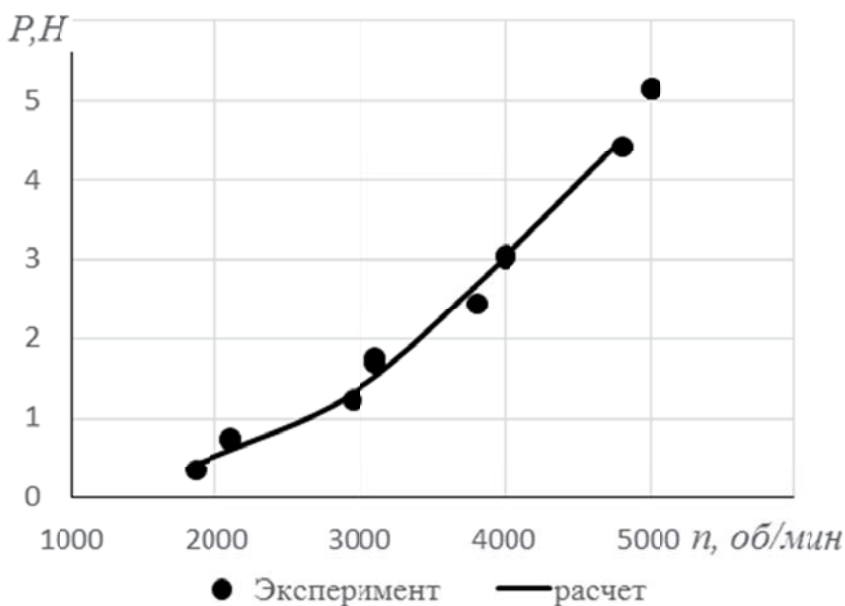


Рис. 8. Зависимость тяги винта от оборотов

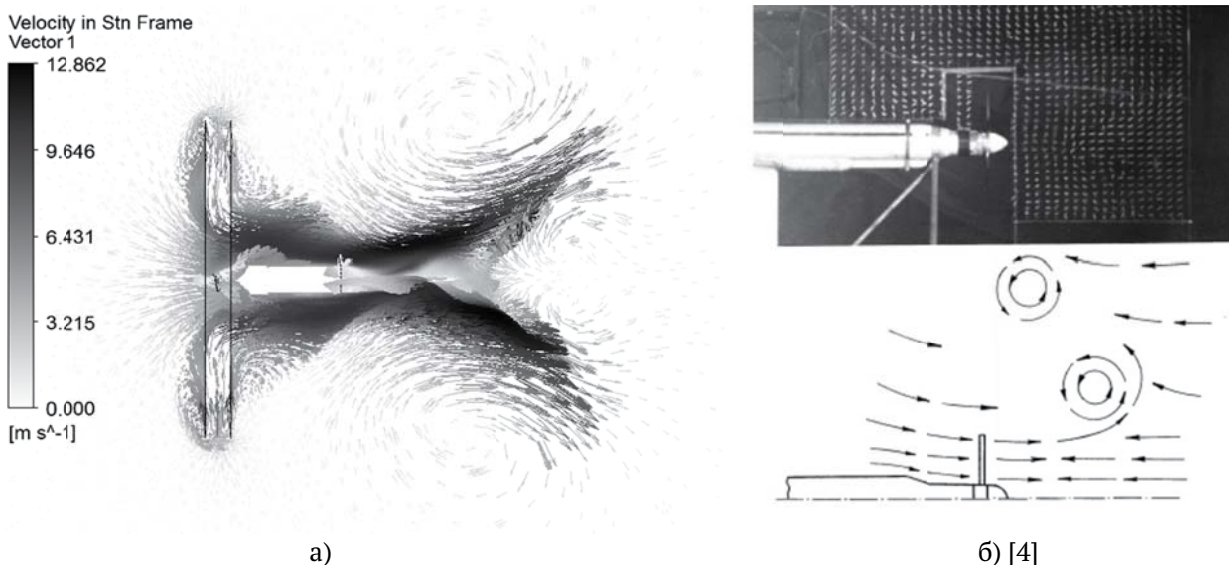


Рис. 9. Распределение вектора скоростей

[4], в которой проведена визуализация картины обтекания винта на режиме реверса методом «шелковинок».

Исследования в этой работе проводились в большом диапазоне скоростей, однако, только при малой скорости набегающего потока 0 ... 12 м/с было зафиксировано образование кольцевых вихрей, как показано на рис. 9 б.

ВЫВОДЫ

В результате исследования экспериментально получены значения тяги реального двухлопастного воздушного винта путем исследования в аэродинамической трубе. Использован метод CFD – моделирования в программном комплексе Ansys CFX для расчета картины течения за винтом. Проведенное исследование позволяет говорить о достаточно высокой достоверности результатов, получаемых в результате применения выбранной методики, что дает возможность

использовать данный подход для определения характеристик потока, с учетом геометрических параметров исследуемого винта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров В.Л. Воздушные винты. М., Оборонгиз, 1951
2. Вузовская учебно-исследовательская аэродинамическая труба / В.А. Комаров В.А., Фролов В.А., В.В. Тарасов, В.Г. Шахов // Общероссийский науч.-техн. журнал «Полёт». 2006. № 10. С. 34-40.
3. *Вождаев В.В., Теперин Л.Л., Чернышев С.Л.* Практика применения и особенности современных методов расчета аэродинамических характеристик летательных аппаратов на основе решений уравнений Навье-Стокса // Труды ЦАГИ. 2014. Вып. 2740. 61 с.
4. *Остроухов С.П.* Исследование картины течения около воздушного винта в профилированном кольце и без кольца при реверсе тяги // Ученые записки ЦАГИ. 2009. № 2. С. 96-103.

ANALYSIS OF THE FLOW PAST THE SCREW WITH THE USE OF NUMERICAL AND EXPERIMENTAL SIMULATION

© 2018 D.V. Nazarov, A.V. Kondryakova

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

The paper presents the study results of the aerodynamic characteristics of a real propeller. The purpose of the research is to select a method of the simulation of the flow around the screw in the absence of an incident flow. Experimental and numerical research methods are used. The flow characteristics around the screw are obtained experimentally in a wind tunnel. Computer simulation in the software complex ANSYS CFX is applied as a numerical method. As a result, a flow pattern, consistent with well-known studies, is obtained. The obtained values of the propeller thrust, calculated in the process of numerical simulation, are comparable with the experimental data. The results of the work confirm the possibility of using the CFD method to determine the flow characteristics of the propeller, taking into account its geometric parameters.

Keywords: air propeller, CFD – modeling, propeller thrust, experimental research

Dmitry Nazarov, Candidate of Technics, Associate Professor at the Aircraft Construction and Design Department. E-mail: dvn69@mail.ru

Anna Kondryakova, Student of Institute of Aeronautical Engineering. E-mail: kondryakova.anna@gmail.com