

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ ВИНТОВ МУЛЬТИКОПТЕРОВ

К.Г. Косушкин, Б.С. Крицкий, Р.М. Миргазов

Центральный аэродинамический институт им. проф.

Н.Е.Жуковского (ЦАГИ), г. Жуковский, МО, spintest@tsagi.ru

Для мультикоптеров – беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) характерно большое количество несущих винтов от четырёх, которые могут занимать сложные пространственные положения и, соответственно, оказывать сильное индуктивное влияние друг на друга, особенно при больших поступательных скоростях полёта. Учёт взаимовлияния необходимо учитывать при оценке аэродинамических и акустических характеристик, при разработке систем автоматического управления БПЛА.

Здесь приводятся результаты расчётного исследования аэродинамических характеристик несущих систем беспилотных мультикоптеров различных компоновок, выявление особенностей обтекания винтов, оценка взаимовлияния винтов друг на друга. Рассматривались комбинации из четырех, восьми (четыре соосных) и четырнадцать двухлопастных винтов.

В настоящее время для первоначальной, быстрой оценки аэродинамических и акустических характеристик, авторы считают, что достаточно воспользоваться, апробированными и надёжными на определённых режимах, вихревыми методами. Методология расчета нестационарного аэродинамического нагружения лопастей несущего винта изложена в [1,2]. Кинематические параметры движения считаются известными. Ограничений на форму лопастей винта, их количество, а также на характер их движения не накладывается. Лопастей винта заменяются бесконечно тонкими базовыми поверхностями. Для определения нагрузок на несущих поверхностях используется интеграл Коши-Лагранжа. При численной реализации метода расчет непрерывные процессы и распределения заменяются дискретными по времени и пространству. Лопастей винта разбиваются на некоторое число панелей по радиусу и по хорде. В центре панелей размещаются контрольные точки, в которых выполняется условие непротекания, и вычисляются

аэродинамические нагрузки. В качестве безразмерного времени принимается угол азимутального положения лопасти. Форма следа выстраивается в результате расчета. Рассматриваемый численный метод определения аэродинамических характеристик НВ вертолета прошел широкую апробацию, при которой обоснована достоверность получаемых результатов [1–3]. Данные расчетные исследования проводились с использованием программы, разработанной в ЦАГИ: «Программа расчета многовинтовых систем винтокрылых летательных аппаратов различной конфигурации» (MultiRotor VTOL [4]).

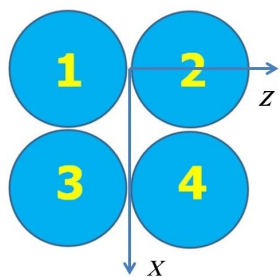


Рис. 1. Четырехвинтовая несущая система. Нумерация винтов

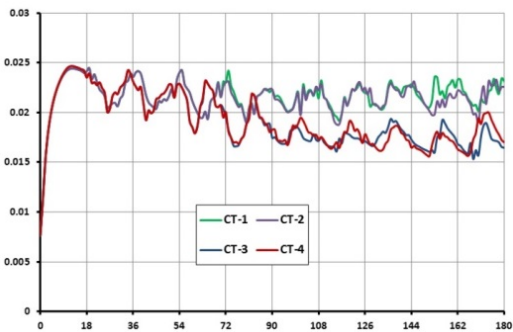


Рис. 2. Изменение коэффициентов тяги c_t винтов четырехвинтовой системы по расчетным шагам ($V=100$ км/ч)

На рис. 1 представлена схематично несущая система, состоящая из четырех двухлопастных НВ, геометрические параметры которых характеризуются следующими величинами: радиус винта $R=2,15$ м; хорда лопасти $b=0,2$ м. Ввиду симметричности расположения винтов, как в продольной плоскости, так и в поперечной, набегающий поток может быть ориентирован произвольно.

Для рассматриваемой несущей системы для скорости $V=100$ км/ч на рис. 2 приведено изменение коэффициентов тяги c_t винтов четырехвинтовой системы по расчетным шагам. Винты 3-4, расположенные позади винтов 1-2, работают в скошенном потоке от винтов 1-2, поэтому осредненные за два последних оборота значения коэффициентов тяги винтов 3-4 приблизительно на 20% меньше коэффициентов тяги винтов 1-2. В этом, главным

образом, проявляется взаимодействие винтов четырехвинтовой несущей системы.

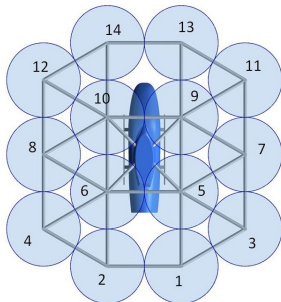


Рис. 3. Четырнадцативинтовая несущая система. Нумерация винтов

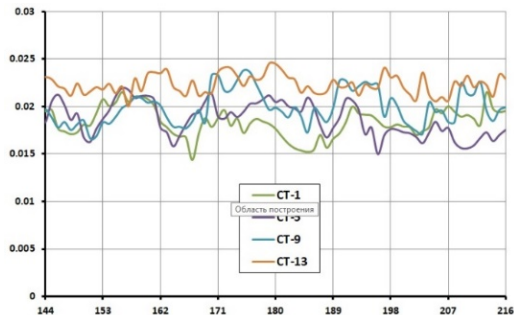


Рис. 4. Изменения коэффициентов тяги винтов 13-9-5-1 по расчетным шагам ($V=100$ км/ч)

На рис. 3 представлена схематично несущая система, состоящая из четырнадцати двухлопастных НВ, геометрические параметры которых характеризуются следующими величинами: радиус винта $R=1,12$ м; хорда лопасти $b=0,1$ м. Особенностью рассматриваемой несущей системы, состоящей из 14 винтов, является продольное расположение четырех винтов и трех винтов сбоку. Винты всей комбинации влияют на обтекание друг друга.

По сравнению с рассмотренной ранее несущей системой БПЛА на 14-ти винтовой несущей системе, формируется сложная картина течения в окрестности несущей системы, которая порождает нерегулярность в зависимостях коэффициентов тяги от времени (по расчетным шагам). На рис. 4 для скорости 100 км/ч представлены графики изменения коэффициентов тяги ряда винтов четырнадцативинтовой системы по расчетным шагам.

Осредненные за один оборот значения коэффициентов тяги $ст$ указанных винтов приведены на рис. 5. Видно, что винты, расположенные в поле индуктивных скоростей от передних винтов, имеют меньшие значения $ст$ при одинаковых геометрических и кинематических параметрах.

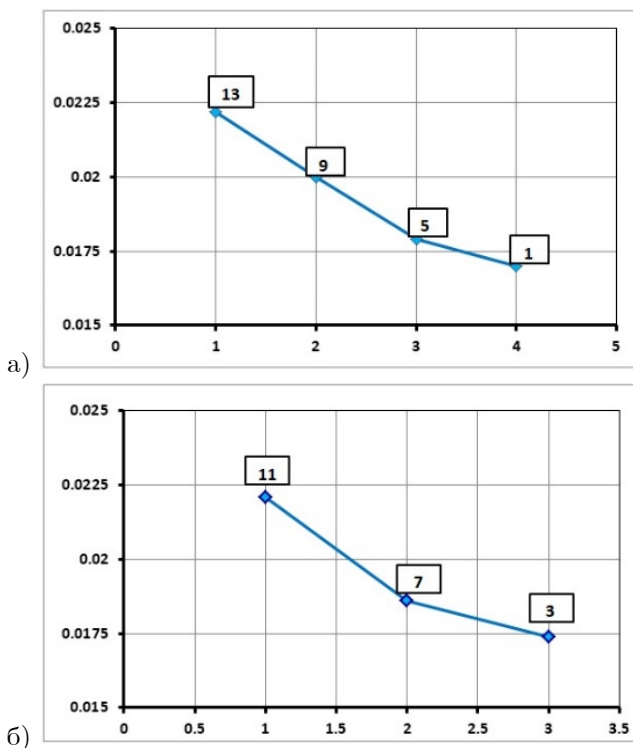


Рис. 5. Осредненные значения коэффициентов тяги C_T винтов:
а) 13-9-5-1; б) 11-7-3 ($V=100$ км/ч)

Главной особенностью обтекания многвинтовых несущих систем мультикоптеров является значительное взаимное влияние винтов.

В поступательном полете уменьшение тяги позади расположенных винтов требует компенсации, которая может быть достигнута либо за счет увеличения частоты вращения винтов, либо за счет увеличения угла установки (шага) лопастей. По мере увеличения взлетной массы мультикоптера и, соответственно, размеров и массы винтов управление изменением частоты вращения винтов может вызвать трудности из-за уменьшения чувствительности и запаздывания в управлении. Пульсации тяги и, соответственно, вибрации и шум уменьшаются с увеличением скорости полета.

Литература

1. Белоцерковский С.М., Локтев Б.Е., Ништ М.И. Исследование на ЭВМ аэродинамических и аэроупругих характеристик несущего винта. – М.: Машиностроение, 1992, с. 220.
2. Крицкий Б.С. Математическая модель аэродинамики винтокрылого летательного аппарата. Труды ЦАГИ, вып. 2655, 2002, с. 50–56.
3. Вершков В.А., Крицкий Б.С., Махнев М.С., Миргазов Р.М., Требунских Т.В. Сравнение результатов численного моделирования обтекания несущего винта в различных пакетах программ. // Электронный журнал «Труды МАИ», N.89. 2016. URL: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=72704>.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020660091 от 27.08.2020.