

УДК 629.735.33

Программный комплекс для расчета аэродинамических характеристик несущих и рулевых винтов вертолетов на базе нелинейной лопастной вихревой теории.

Игнаткин Ю.М, Макеев П.В., Шомов А.И.

Аннотация

На базе разработанной на кафедре «Проектирование вертолетов» Московского авиационного института нелинейной лопастной вихревой модели [1] создан программный комплекс (ПК) современного уровня для расчета широкого круга задач аэродинамики винта с применением персональных ЭВМ. Отличительной особенностью использованной модели является учет диффузии вихрей, образующих вихревой след [1]. Представлены полученные с использованием ПК результаты [1; 2], которые говорят о его возможностях при исследованиях аэродинамики винтов на различных режимах работы.

Ключевые слова

Нелинейная вихревая модель, несущий винт, алгоритм расчета, аэродинамические характеристики, аэродинамика винта, обтекание винта, программный комплекс.

Нелинейная лопастная вихревая модель несущего винта

В основе расчетного метода заложенного в ПК лежит нелинейная лопастная вихревая модель винта [1], в которой каждая лопасть моделируется, в соответствии с теорией несущей линии, присоединенным вихрем, расположенным на четверти хорды (рис. 1). Лопасть моделируется набором плоских четырехугольных площадок (элементов), каждая из которых имеет характеристики соответствующего ей участка (хорду, крутку, профиль и т.д.). Втулка лопасти имеет горизонтальные шарниры (ГШ), относительно которых лопасть совершает колебания с учетом кинематических параметров втулки.

На режимах косо́й обду́вки винта от лопасти отходит система продольных и поперечных вихрей, образующих свободную вихревую пелену (рис. 1), которая представляет собой сетку, состоящую из вихревых четырехугольников.

Для расчета аэродинамических характеристик используется гипотеза плоских сечений. Аэродинамические характеристики профилей определяются на основе данных экспериментальных продувок при соответствующих значениях чисел Re и M .

Для нахождения деформации свободной вихревой пелены, отходящей от лопастей НВ, находятся индуктивные скорости в каждой точке пелены от всей системы вихрей в каждый момент времени. В результате в ходе расчета за винтом по шагам выстраивается пространственный нелинейный вихревой след.

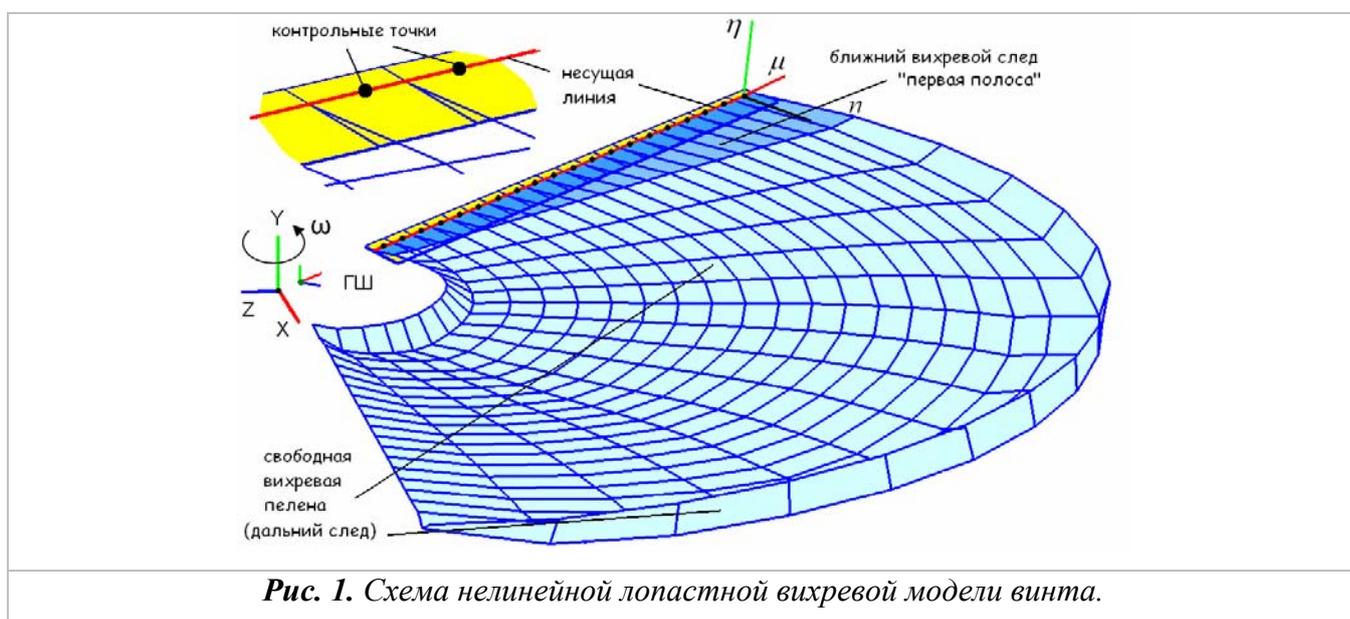


Рис. 1. Схема нелинейной лопастной вихревой модели винта.

Особенностью, используемой в модели вихревой системы, является представление вихревых отрезков пелены в виде диффундирующих вихревых линий. Известно, что реальные вихри подвержены диффузии с течением времени, при которой их условный радиус изменяется, и местное поле скоростей вблизи ядра вихря претерпевает существенные изменения. Введение в алгоритм расчета модели диффузии вихрей позволяет более точно моделировать физические процессы, происходящие в вихревой пелене, и позволяет избегать математических особенностей, приводящих к быстрому разрушению сетки при использовании модели идеального вихря.

Программный комплекс для расчета аэродинамики винтов вертолетов.

При разработке методов и алгоритмов расчетов задач аэродинамики вертолета важна их программно-алгоритмическая реализация в виде пакета программ. Принципиальная блок-схема ПК изображена на рис. 2.

ПК разработан с помощью современной среды объектно-ориентированного программирования Delphi. При его создании большое внимание уделялось созданию современного пользовательского интерфейса, являющегося неотъемлемой частью современного

программного продукта. Используемый многооконный интерфейс является стандартом для всех современных Windows-приложений (рис. 3) и обеспечивает легкость в освоении и использовании ПК.

Визуальная часть, отвечающая за отображение для пользователя различных данных, обеспечивается использованием трехмерной графики (рис. 3), что дает возможность добиться наибольшего удобства и существенно расширяет возможности анализа результатов исследований.



Рис. 2. Блок-схема программного комплекса.

В ПК обеспечивается вывод таких графических данных, как графики распределения расчетных характеристик, трехмерная модель винта с лопастями и втулкой (см. рис. 4), свободный нелинейный вихревой след. Вся графическая информация выводится в главном окне и пользователь может размещать ее так, как ему удобно, включая ее перемещения, отключение и включение, вращение, удаление и приближение.

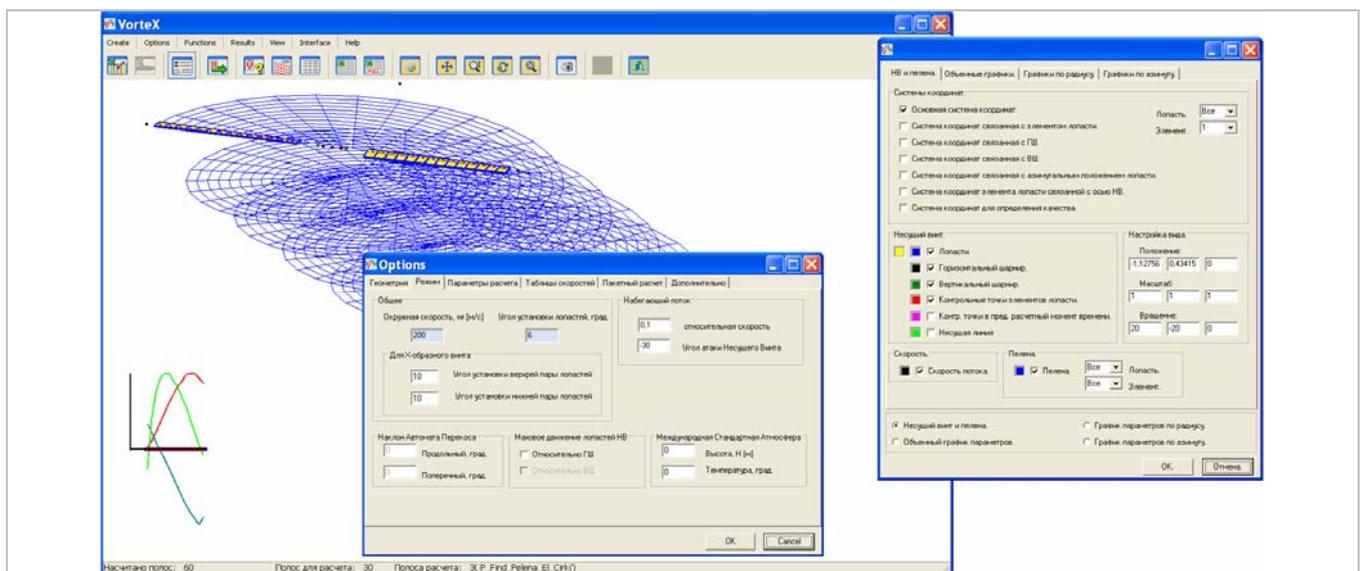


Рис. 3. Внешний вид ПК.

Панель инструментов сверху главного окна ПК содержит кнопки, обеспечивающие быстрый и удобный доступ ко всем основным функциям. Функции разбиты на группы, а оконный интерфейс обеспечивает быстрый и удобный ввод необходимых параметров.

Вывод численных данных, полученных в ходе расчетов, реализован через взаимодействие с приложениями MS Office, что позволяет получать компактные электронные таблицы, содержащие данные расчетов. Такое решение позволяет быстро и удобно обрабатывать полученные результаты, формировать графики, выводить на печать и проводить их анализ.

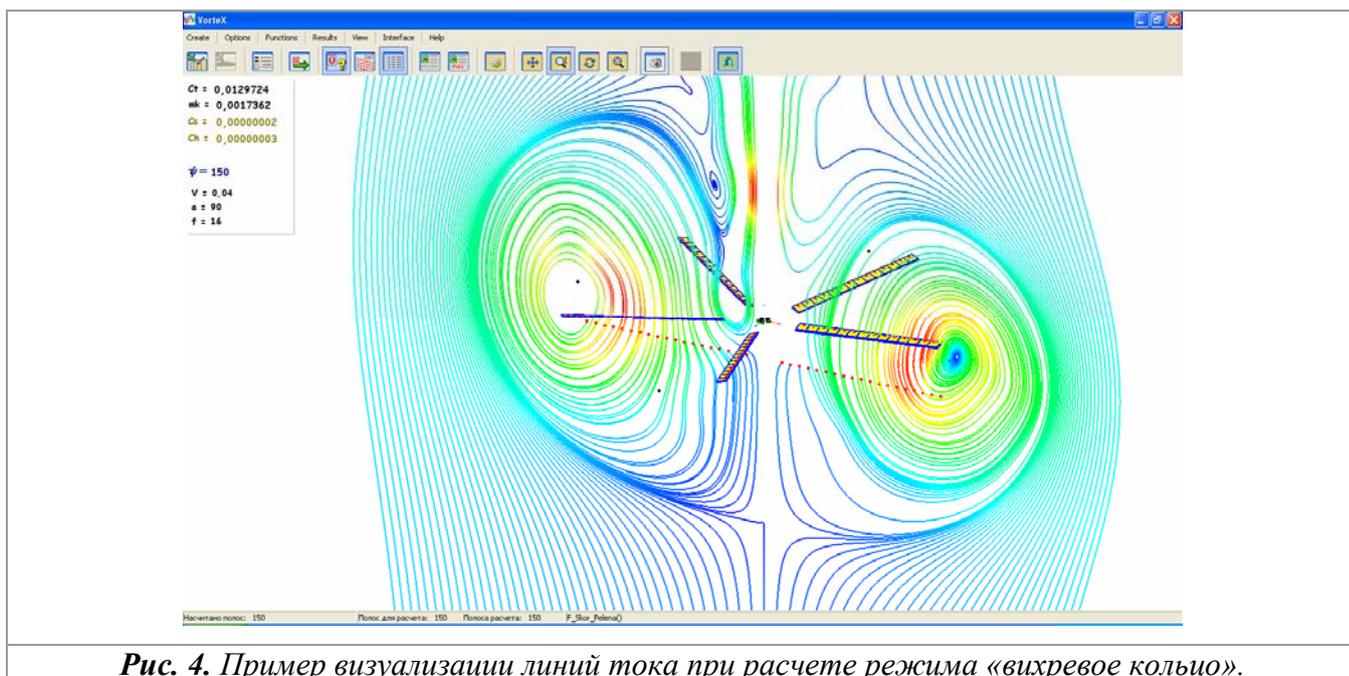


Рис. 4. Пример визуализации линий тока при расчете режима «вихревое кольцо». Некоторые примеры решения задач аэродинамики винтов вертолетов на различных режимах работы.

Методы расчета, построенные на базе нелинейных моделей, позволяют рассчитывать реальную форму вихревого следа, образующегося за винтом, и получать уточненные значения аэродинамических характеристик винтов. Используемая вихревая модель позволяет решать различные задачи аэродинамики винтов. Некоторые примеры возможностей ПК представлены ниже.

На рис. 5 изображены линии тока и векторное поле скоростей для винта вертолета на режиме висения. Наблюдается характерное поджатие струи под винтом.

На рис. 6 изображена форма вихревого следа на режиме горизонтального полета в различных проекциях. Для удобства показаны только те вихри, которые сходят непосредственно с концов лопастей. Полученная форма следа хорошо согласуется с результатами, наблюдаемыми в экспериментах.

На рис. 7 изображена визуализация векторного поля скоростей для потока, обтекающего винт на режиме «вихревое кольцо», позволяющая проанализировать особенности данного режима. Хорошо видны характерные особенности «вихревого кольца», прежде всего,

образование зоны непротекания, и вихревой структуры в виде вихревого кольца в плоскости винта.

На рис. 8 изображена форма вихревого следа, на режиме «вихревое кольцо», где проявляются характерные особенности обтекания винта на данном режиме.

На рис. 9-10 представлена визуализация обтекания винтов на режиме «вихревое кольцо» при помощи линий тока, полученных на основе рассчитанных полей скоростей. Линии тока позволяют лучше анализировать особенности структуры обтекания.

На рис. 11 приведены результаты исследований оптимальной конфигурации рулевого винта X-образной схемы. Путем варьирования основных параметров, определяющих его компоновку, таких как угол «ножниц» между парами лопастей, разнос плоскостей вращения, а так же положения впереди идущей лопасти (нижняя или верхняя) можно определить область, в которой относительный КПД, определяющий эффективность работы винта на висении, имеет высокие значения.

На рис. 12 представлены результаты исследований влияния законцовок лопастей несущего винта различной геометрии на их аэродинамические характеристики.

На основании представленных результатов можно заключить, что разработанный программный комплекс является удобным, обладающим широкими возможностями инструментом для решения различных задач аэродинамики винта.

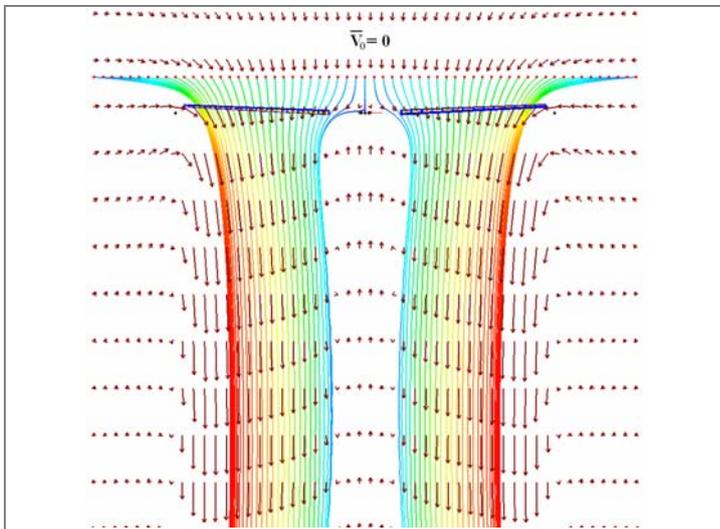


Рис. 5. Линии тока в потоке, проходящем через винт на режиме висения.

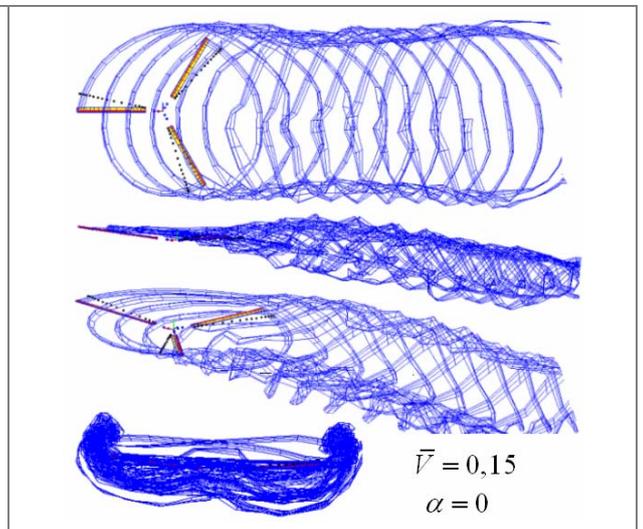


Рис. 6. Вихревой след за винтом на режиме горизонтального полета.

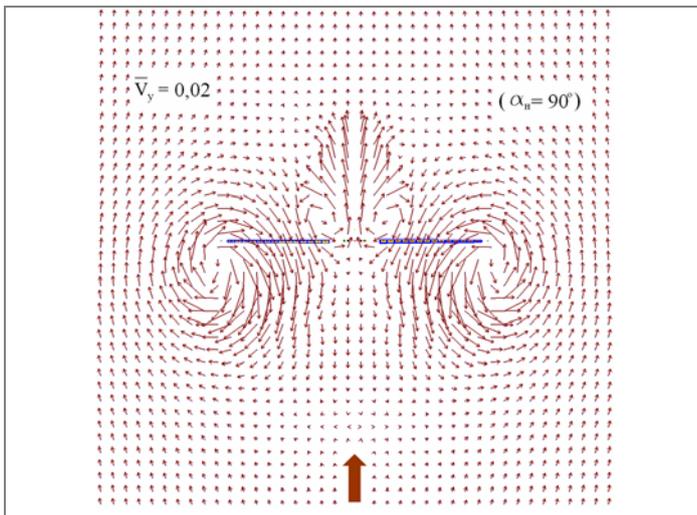


Рис.7. Векторные поля скоростей на режиме «вихревое кольцо».

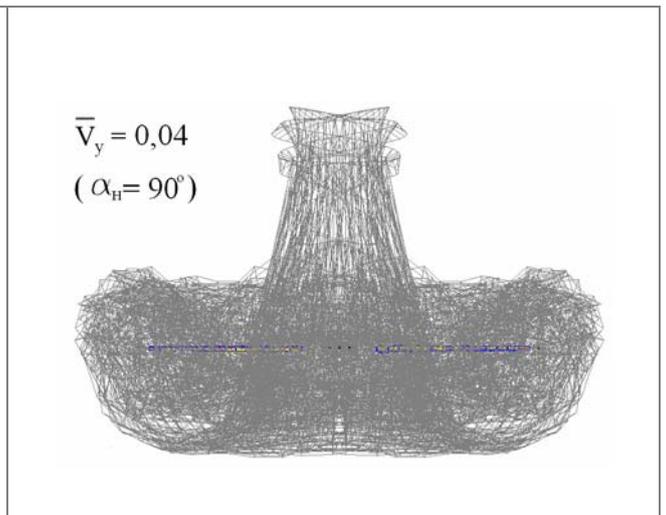


Рис.8. Форма нелинейного вихревого следа на режиме «вихревое кольцо».

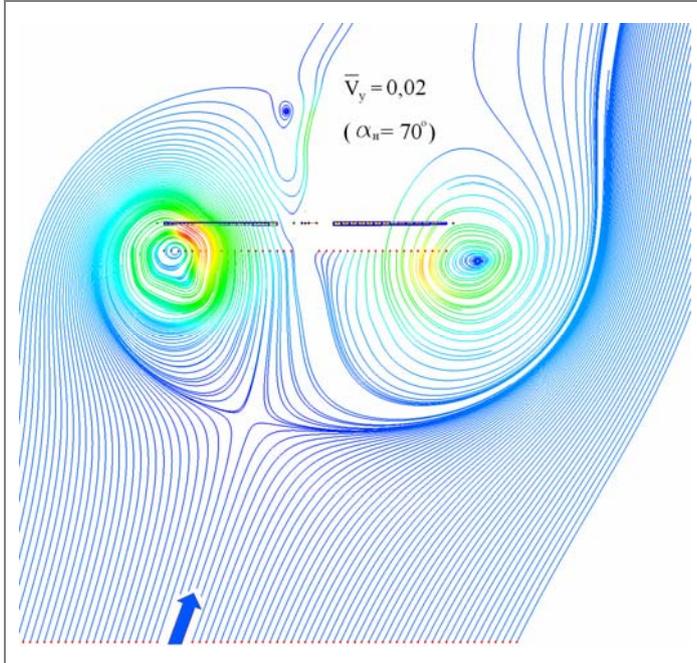


Рис. 9. Линии тока в потоке, обтекающем винт на режиме «вихревое кольцо».

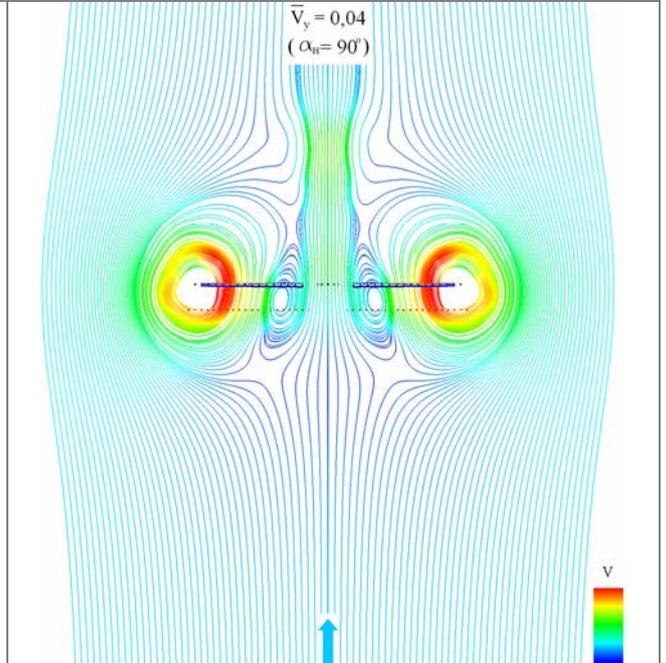


Рис.10. Линии тока в потоке, обтекающем винт на режиме «вихревое кольцо».

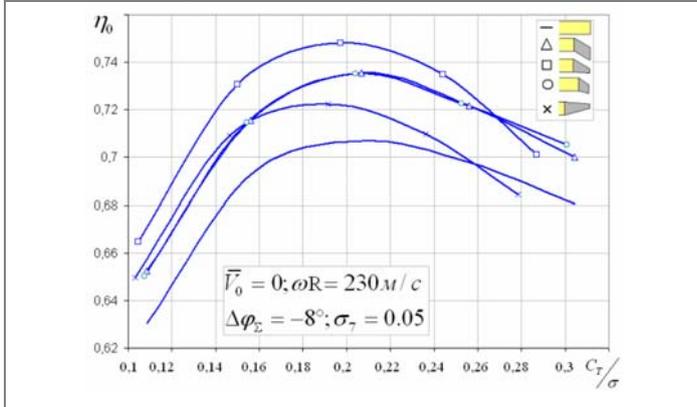


Рис. 11. КПД винта на висении при использовании различных законцовок.

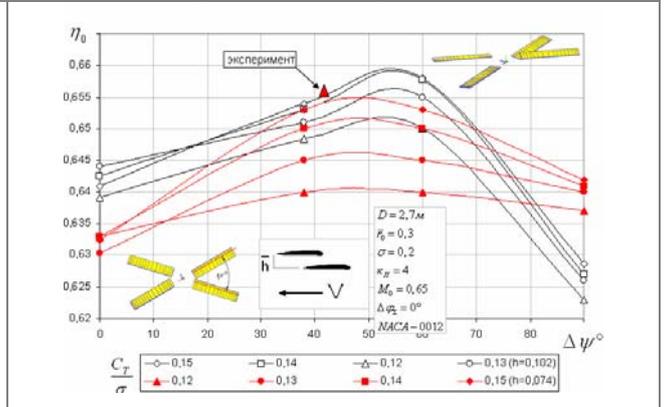


Рис. 12. Зависимость относительного КПД Х-винта от угла ножиц.

Библиографический список

[1] Игнаткин Ю.М., Макеев П.В., Гревцов Б.С., Шомов А.И. Нелинейная лопастная вихревая теория винта и ее приложения для расчета аэродинамических характеристик несущих и рулевых винтов вертолета. Вестник МАИ, т.16, №5, 2009. С 24-31.

[2] Игнаткин Ю.М., Макеев П.В., Шомов А.И. Исследование аэродинамических характеристик несущего винта вертолета на режиме «вихревое кольцо» на базе нелинейной лопастной вихревой теории. Вестник МАИ, т.16, №6, 2009. С. 11-15.

Сведения об авторах

Юрий Михайлович Игнаткин, заведующий кафедрой 102 Московского авиационного института (Государственного технического университета) доцент, кандидат технических наук, k102@mai.ru, 364-48-55

Павел Вячеславович Макеев, аспирант Московского авиационного института (Государственного технического университета), vaultcity13@gmail.com, 8-903-736-41-12

Александр Иванович Шомов, аспирант Московского авиационного института (Государственного технического университета), shomov_aleksandr@mail.ru, 8-903-277-04-41