

Расчетные исследования виброперегрузок несущего винта, вызванных пульсацией силы тяги, на базе вихревой теории

Анимица В.А.*, Борисов Е.А.*, Крицкий Б.С., Миргазов Р.М***.**

Центральный аэрогидродинамический институт имени Н.Е. Жуковского,

ЦАГИ имени Н.Е. Жуковского, ул. Жуковского, 1,

Жуковский, Московская область, 140180, Россия

**e-mail: spintest@tsagi.ru*

***e-mail: boris.kritsky@tsagi.ru*

****e-mail: ruslan.mirgazov@tsagi.ru*

Аннотация

Проведены численные исследования переменных нагрузок, обусловленных нестационарным обтеканием лопастей несущего винта, передаваемых на втулку винта при больших относительных скоростях полёта ($\mu=0,5$). Для моделирования процесса обтекания лопастей использовалась схема тонкой несущей поверхности [1,2,3,4,5]. Неравномерные нагрузки, вызванные силой тяги, разложены по лопастной гармонике и обертонам. Выделены наибольшие величины отклонения от средней амплитуды силы тяги. Выполнен анализ переменных нагрузок с традиционной системой управления. Выработаны алгоритмы управления высшими гармониками, которые реализуются при управлении лопастями и позволяют уменьшить пульсации силы тяги при фиксированном среднем значении силы тяги.

Излагаются результаты численного исследования влияния индивидуального управления каждой лопастью по азимуту путём циклического изменения угла их установки с целью уменьшения вибраций, передаваемых на втулку, несущим винтом вертолѐта, которые негативно сказывается на его узлах, агрегатах, экипаже и пассажирах. Исследование заключается в создании методики и математической модели по активному управлению лопастями по азимуту при лопастных частотах.

Одним из направлений по улучшению характеристик вертолѐта

Ключевые слова: вихревая теория, несущий винт вертолѐта, переменные нагрузки, виброперегрузки, алгоритмы управления.

Одним из направлений по улучшению характеристик вертолѐта является индивидуальное управление лопастями (ИУЛ) несущего винта, которое можно условно разделить на 2 категории:

- индивидуальное управление низкими гармониками, которое улучшает на аэродинамических характеристик несущего винта – затягивает срыв на отстающей лопасти, увеличивает несущую способность, улучшает пропульсивные свойства НВ на вертолетных режимах.

- индивидуальное управления высокими гармониками, которое уменьшает вибрацию и шум несущего винта.

На рисунке 1 показаны приводы пьезоэлектрические и серво-гидравлические различных фирм и конструкций, с помощью которых производится изменение шага лопасти посредством применения в конструкции тяги автомата перекоса различных вертолётов [5,6].

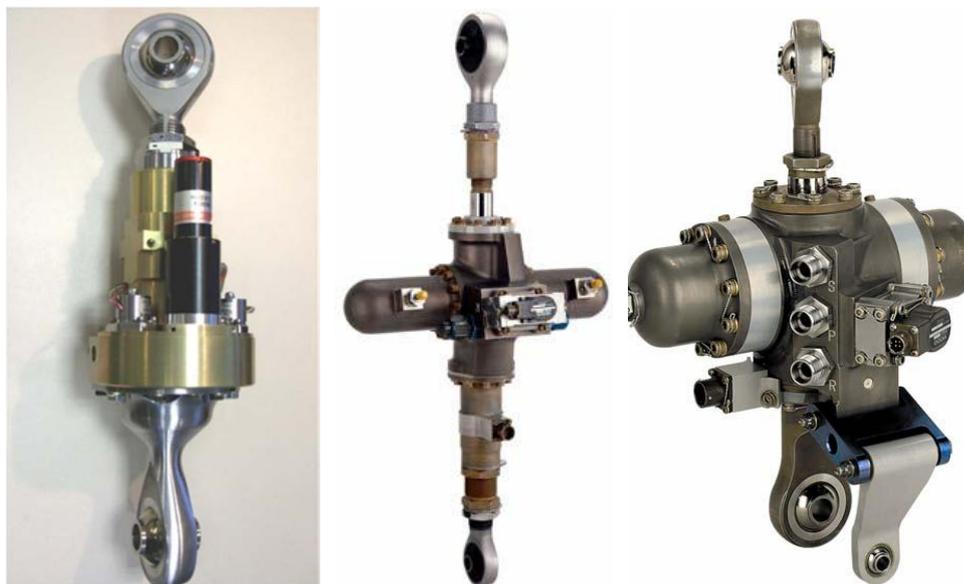


Рисунок 1

Преимущества представленных механизмов: - не имеет ограничений по используемым гармоникам; недостатки: - техническая сложность при реализации – подвод питания на вращающуюся тягу.

На рисунке 2 показана втулка в сборе по управлению высокими гармониками через неподвижную тарелку автомата перекоса, разработанная в DLR. Достоинство – техническая простота исполнения. Недостаток – ограничения по низким гармоникам.

На рисунке 3 представлена установка, для испытания секционированной лопасти созданная в ЦАГИ в НИО-5. Преимущества:

реализация ИУЛ с помощью низких гармоник, что позволяет улучшать аэродинамические характеристики НВ; отсутствие необходимости в перепроектировании конструкции лопастей.



Рисунок 2

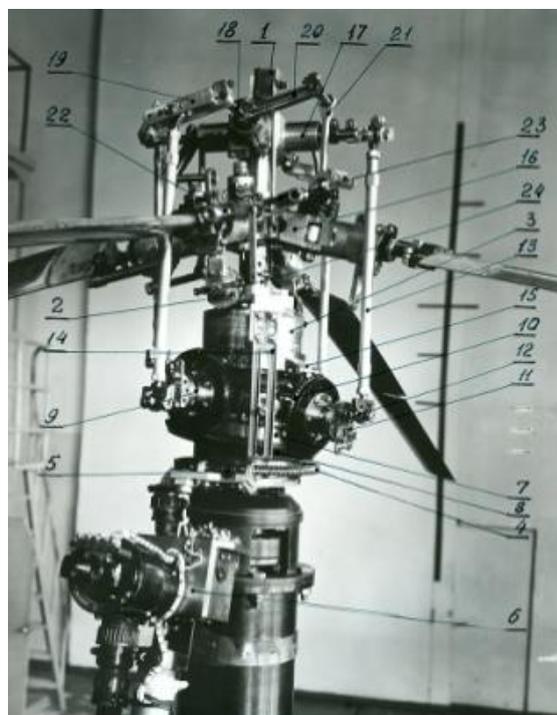


Рисунок 3

Недостатки: - техническая сложность при реализации системы; создание дополнительной величины вредного сопротивления частями системы выступающих в набегающий поток.

Для представленных пьезоэлектрические и серво-гидравлические приводов необходимо выработать математические модели законов управления, учитывая особенности конкретных вертолётов. Для этого самый оптимальный метод – это численные исследования [1-7].

Ниже представлены результаты численного исследования индивидуального управления лопастями НВ высшими гармониками, посредством циклического изменения общего шага.

Метод расчета аэродинамических характеристик несущего винта состоит в следующем. Рассматривается обтекание несущего винта, состоящего из набора лопастей, совершающего поступательное движение со средней скоростью \vec{V} и вращение относительно связанной с вертолетом системы координат с угловой скоростью $\vec{\Omega}$. Постановка задачи описана в [1-5].

Для демонстрации возможностей программы приведен фрагмент вихревой пелены пяти лопастного винта вертолѐта, которая рассчитана по линейной вихревой теории (рисунок 4).

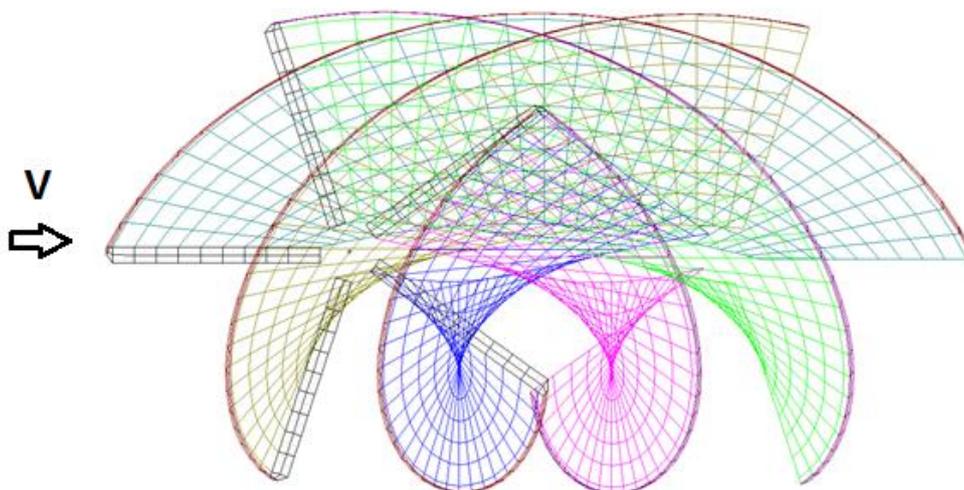


Рисунок 4

За исходные данные приняты параметры несущего винта среднего вертолѐта Ми-8. Количество лопастей $k_l=5$, радиус винта $R=8,65$ м, хорда

$b=0,58$ м, угловая скорость $\omega_n=23,7$ рад/с и скорость полёта $V=100$ м/с, угол установки лопастей $\varphi_0=7.5$ град., средняя сила тяги вертолётa при данных параметрах, составляет около 8500 кГ ($Ct/\sigma \approx 0,14$).

На рисунке 5 представлено изменение коэффициента тяги винта, отнесённого к коэффициенту заполнения, в зависимости от азимутального положения лопасти (азимута) для несущих винтов с различным количеством лопастей, $k_l=2, 3, 4, 5$. Параметры геометрии лопасти одинаковые.

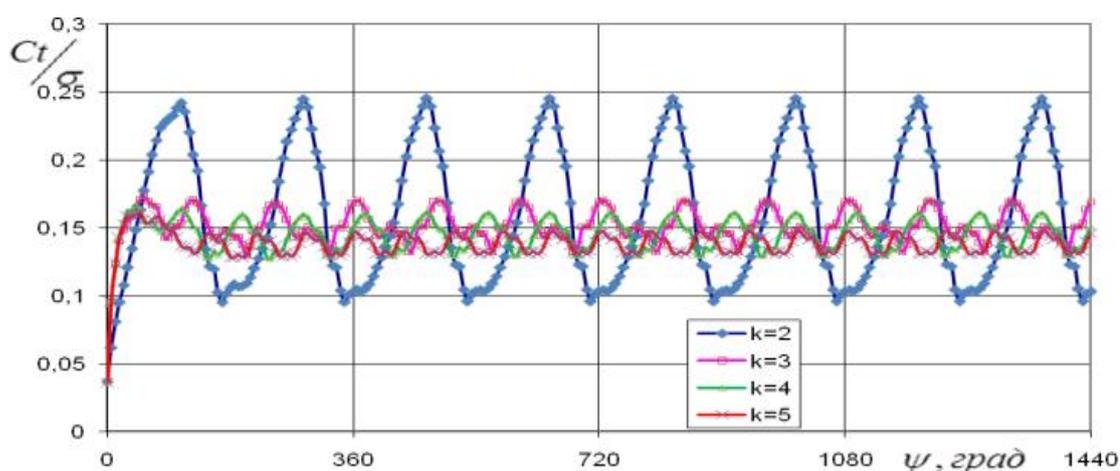


Рисунок 5

Видно, что тем больше лопастей у несущего винта вертолётa, тем меньше амплитуда пульсаций коэффициента тяги винта, а следовательно, и виброперегрузка.

На рисунке 6 Показаны гистограммы виброперегрузок для лопастной гармонике и первого и второго её обертона для несущих винтов с $k=2,3,4,5$ лопастями. Видно, что наиболее рациональная компоновка винта – это

компоновка с нечётным количеством лопастей. Чем больше количество лопастей, тем меньше виброперегрузка, но в комплексной оценке необходимо учитывать и другие важные параметры.

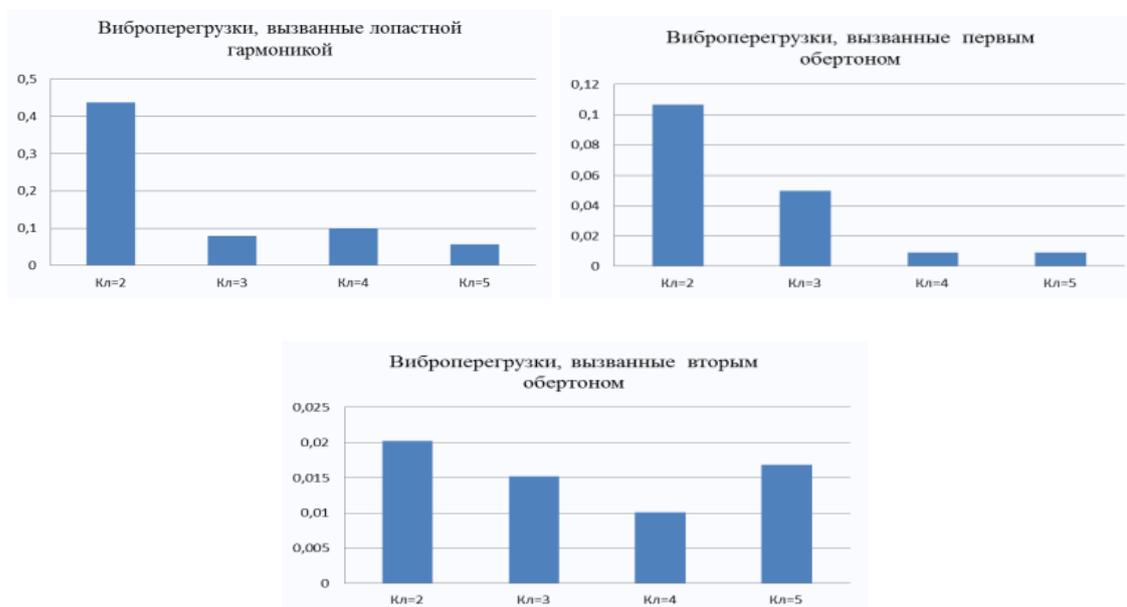


Рисунок 6

Далее все расчёты проводятся для пятилопастного винта.

Для рассматриваемого винта основная гармоника, называемая лопастной гармоникой, равна числу лопастей, имеет наибольшую амплитуду. Остальные преобладающие гармоники кратны количеству лопастей и названы обертонами лопастной гармоники. На рисунке 7 представлены интегральные характеристики винта без управления и с управлением по пятой, лопастной гармонике. Показаны величины виброперегрузок, вызванных силой тяги, до и после вмешательства в управление.

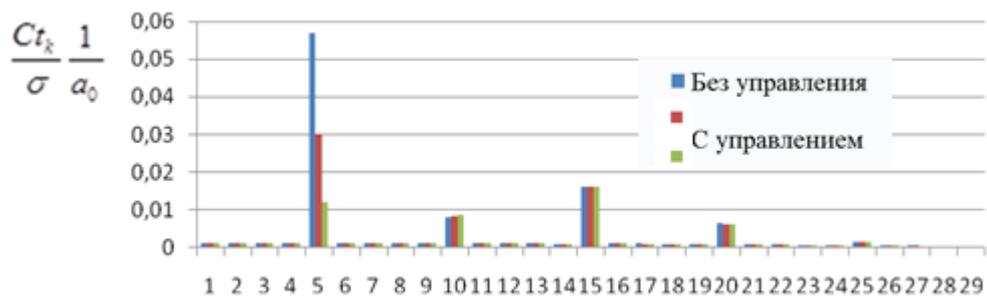


Рисунок 7

Видно, что циклическое управление углом установки лопасти влияет на амплитуду силы тяги лопастной гармоники.

На рисунке 8 представлены результаты расчёта с управление по 10-му обертому лопастной гармоники. Показаны величины виброперегрузок, вызванных силой тяги, до вмешательства в управление и после.

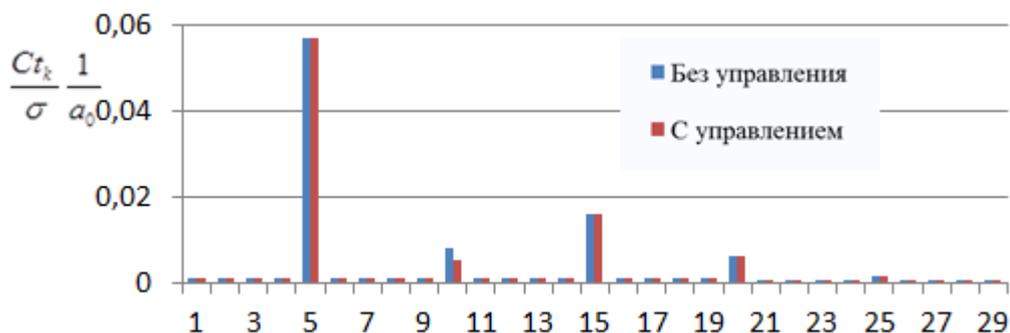


Рисунок 8

На рисунке 9 приведены результаты расчёта с управление по 15 му обертому лопастной гармоники. Показаны величины виброперегрузок, вызванных силой тяги, до вмешательства в управление и после.

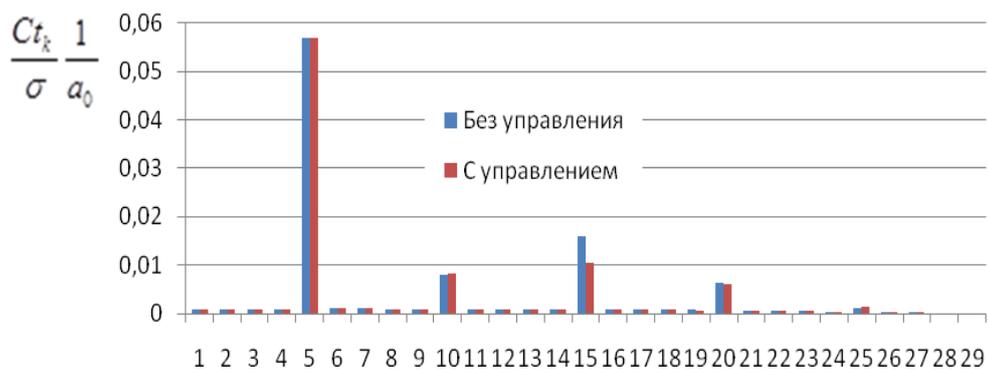


Рисунок 9

На рисунке 10 представлены изменение коэффициента тяги винта, отнесённого к коэффициенту заполнения, в зависимости от азимутального положения лопасти (азимута) с управлением по лопастной гармонике и двум её обертонам – 10-му и 15-му.

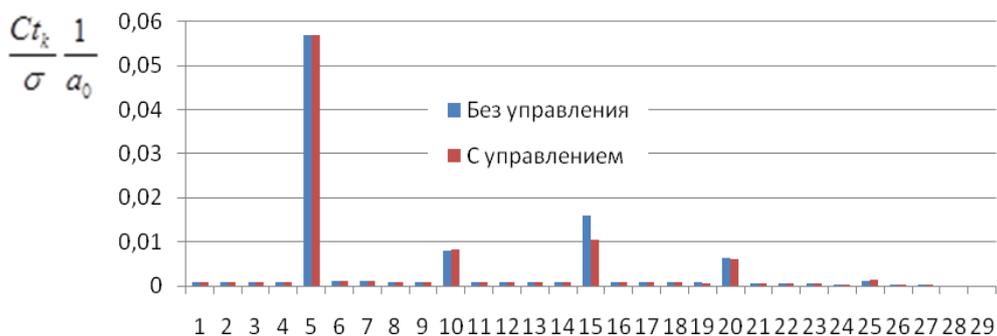


Рисунок 10

На рисунке 11 показана сравнительная картина амплитуды виброперегрузки до и после вмешательства в управление.



Рисунок 11

Видно, что, индивидуальное управление лопастями позволяет заметно снизить пульсации силы тяги более чем в 5 раз и её обертоны 2 раза, а как следствие перегрузки, передающиеся на фюзеляж и агрегаты вертолѐта, при этом среднее значение силы тяги остаѐтся практически на том же уровне, что и без управления.

Ниже представлены результаты детального исследования влияния основной, пятой лопастной гармоники несущего винта. Индивидуальное управление лопастями задавалось следующим образом:

$$\varphi_{k0} = \varphi_0 - NC5 * A_5 \cos(5\psi) - NS5 * A_5 \sin(5\psi),$$

где $\varphi_0 = 7,5$ град, коэффициент $A_5 = 0,00383$ одинаковый перед \sin и \cos , $NC5$ и $NS5$ – коэффициенты усиления, варьировались диапазоне чисел ($NC5 = -1,3 \dots 2,5$, $NS5 = -1,3 \dots 1,5$).

На рисунке 12 и 13 показаны величины виброперегрузки в зависимости от коэффициентов усиления), вызванных силой тяги. Видно,

что амплитуда виброперегрузки имеет минимум, таким образом, можно выделить область допустимых значений с определённым запасом отклонения виброперегрузки от нулевого её значения.

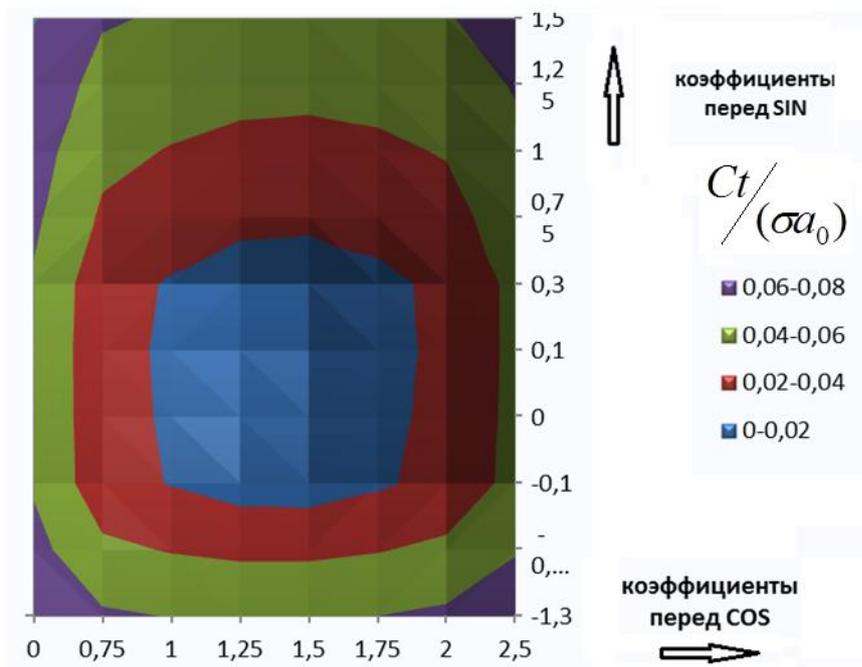


Рисунок 12

На рисунке 12 представлены линии уровня величины виброперегрузки в зависимости от коэффициентов усиления. Внутри области красной и синей (внутренние два круга) виброперегрузка имеет значения меньше 4 %, а внутри синей (внутренний круг) её значения колеблются от 0 до 2 %, при начальном значении, без вмешательства в управление, 5.7 %.

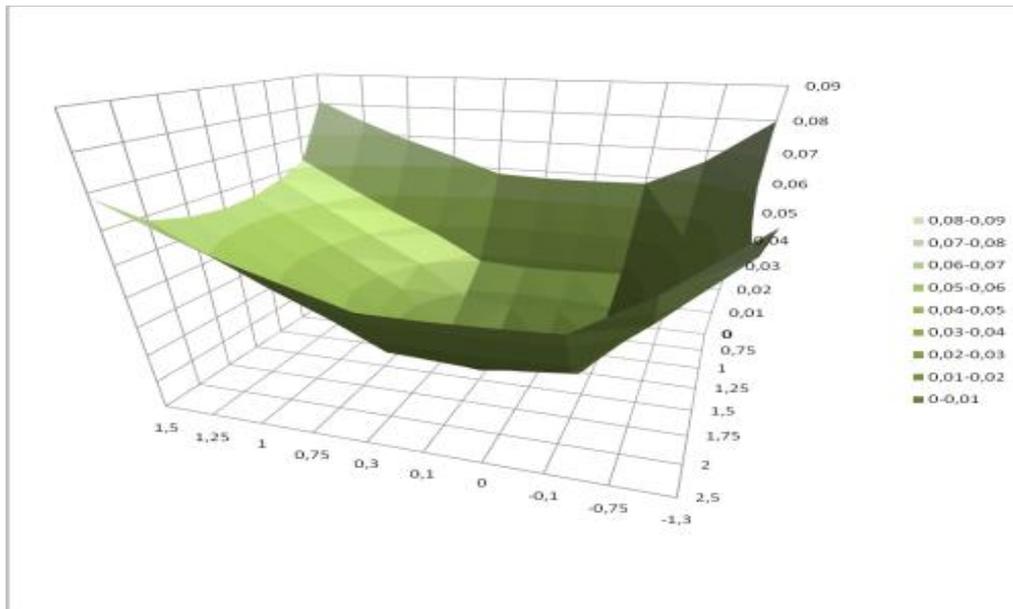


Рисунок 13

Анализ данных результатов даёт возможность оценить необходимые параметры для дополнительного управления лопастями и выработать математическую модель для конкретного вертолётa.

При выборе коэффициентов управления необходимо следить, чтобы коэффициенты при синусе и косинусе не меняли знак. Красным (область в нижней части графика) выделены значения переопределённой функции. Показаны величины амплитуд перед синусом и косинусом при рассмотренном законе управления.

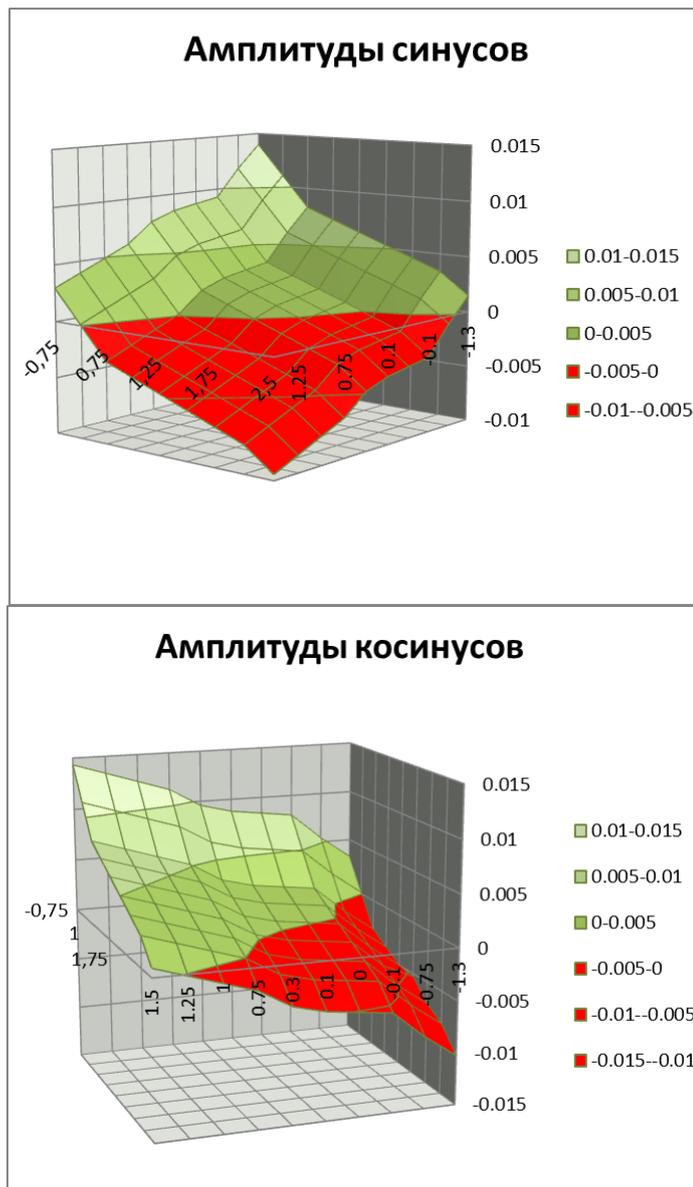


Рисунок 5

Выводы

1. В настоящее время во всем мире проводятся исследования связанные с индивидуальным управлением лопастями несущего винта. Эти исследований направлены на уменьшение вибраций и шума НВ, увеличение аэродинамических характеристик несущей системы и отказ от традиционного автомата перекоса.

2. Расчётные исследования показали, что индивидуальное управление высокими гармониками лопасти снижает уровень переменных нагрузок, при этом необходимое изменение установки лопасти составляет $\pm 0,2$ градуса, что соответствует максимальному дополнительному перемещению рычага управления около 1 мм.
3. Для получения общей картины необходимо учитывать все шесть компонентов сил и моментов. Для каждого из них будет выработан свой закон управления и свои коэффициенты. Предполагается, что каждый из шести законов управления по отдельности будет влиять на другие компоненты. Таким образом, задача сводится к оптимизационной задаче. В результате, которой получится общий закон индивидуального управления лопастями, удовлетворяющий многим противоречивым требованиям. Необходимо продолжить работу в данном направлении, используя данные для конкретной винтокрылой машины

Библиографический список

1. Крицкий Б.С. Математическая модель аэродинамики винтокрылого летательного аппарата // Труды ЦАГИ. Вып. № 2655. 2002. – С. 50-56.
2. Программа расчёта аэродинамических характеристик скоростных несущих винтов вертолётов различных схем (Gr_Vega_V1.1). Головкин В.А., Крицкий Б.С., Миргазов Р.М. Свидетельство государственной регистрации программы для ЭВМ №2013661689 от 12 декабря 2013 г.

3. Белоцерковский С.М., Локтев Б.Е., Ништ М.И. Исследование на ЭВМ аэродинамических и аэроупругих характеристик винтов вертолетов. - М.: Машиностроение, 1992. – 218 с.
4. Белоцерковский С.М., Котовский В.Н., Ништ М.И., Федоров Р.М. Математическое моделирование отрывного обтекания тел. - М.: Наука, - 1988. – 231 с.
5. Головкин М.А., Кочиш С.И., Крицкий Б.С. Методика расчета аэродинамических характеристик комбинированной несущей системы летательного аппарата // Труды МАИ, 2012, №55:
<http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=30023>
6. Игнаткин Ю. М., Макеев П.В., Шомов А.И. Численное моделирование интерференции между несущим и рулевым винтами вертолета при вертикальном снижении, включая режим «вихревого кольца» несущего винта // Труды МАИ, 2013, №69:
<http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=43135>
7. Игнаткин Ю.М., Макеев П.В., Шомов А.И. Численное моделирование интерференции между несущим и рулевым винтами вертолета на режиме горизонтального полета со скольжением // Труды МАИ, 2013, № 69:
<http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=43132>