Конкурс «Авиастроитель года - 2021»

Номинация конкурса:

«За создание новой технологии»

Конкурсная работа:

«Система активного гашения вибраций несущего винта вертолета посредством управляемого триммера с использованием принципов адаптроники»

ФАУ «ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского», г. Жуковский

Авторский коллектив

Руководитель работы:

Еремин Михаил Михайлович

Соавторы работы:

Евдокимов Юрий Юрьевич

Климова Анастасия Андреевна

Ланцов Алексей Юрьевич

Лисейкин Глеб Вадимович

Пронин Михаил Александрович

Цель работы

Показать эффективность применения системы активного демпфирования колебаний несущего винта вертолета на демонстраторе несущей поверхности лопасти.

Описание проблемы

Одной из наиболее критичных проблем, возникающих при эксплуатации вертолетов, является высокий уровень вибрации. Система несущего винта (НВ) порождает больше всего колебаний. На режиме полета вперед, вследствие периодического изменения условий обтекания, срыв, происходящий на отступающей лопасти, приводит к возникновению закручивающих лопасть нагрузок. Срыв на несущем винте сопровождается сильными вибрациями вертолета. Вибрации снижают уровень комфорта пассажиров и экипажа, негативно влияют на усталостную прочность конструкции, сокращают ресурс, снижают эффективность бортового электронного и вычислительного оборудования.

Актуальность работы

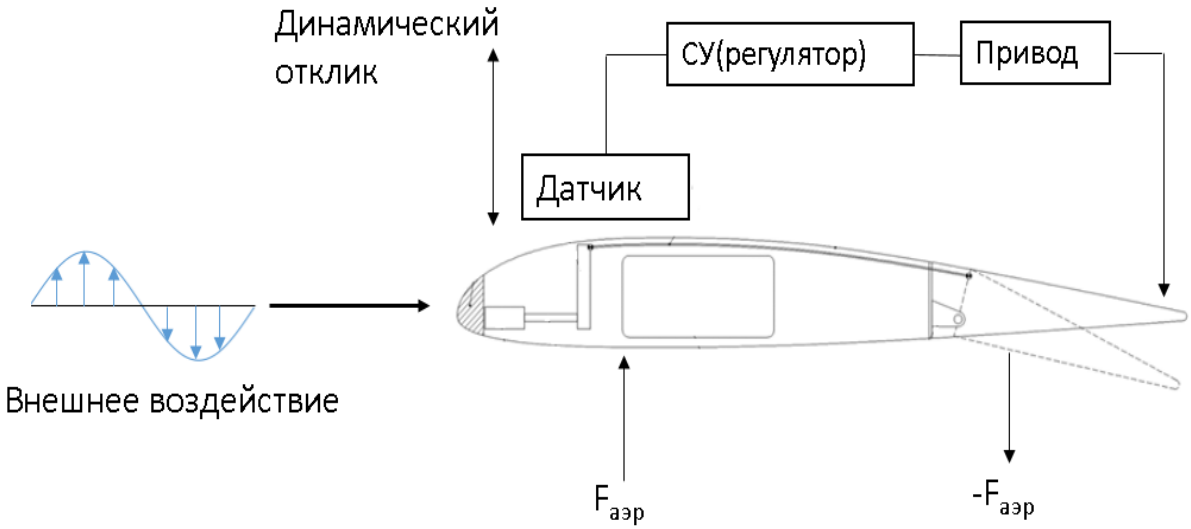
Применение на лопастях НВ активного органа управления является перспективным направлением борьбы с вибрацией на больших скоростях полета вертолета.

Описание предлагаемого решения

В целях изучения эффекта гашения колебаний лопасти НВ в потоке посредством активно-управляемого триммера коллективом ФАУ «ЦАГИ» проведены поисковые расчетно-экспериментальные и опытно-конструкторские исследования на демонстраторе системы активного демпфирования вибраций несущей поверхности летательного аппарата (ЛА) с управляемым триммером.

Для решения задачи активного демпфирования выбрана структура управления, включающая в себя обратную связь по датчику перегрузки, установленному на лонжероне и упреждающее управление по возмущению. В эксперименте в аэродинамической трубе в качестве сигнала возмущающего воздействия использован входной сигнал на устройство моделирования порывов.

Концепция активного демпфирования колебаний лопасти с использованием обратных связей

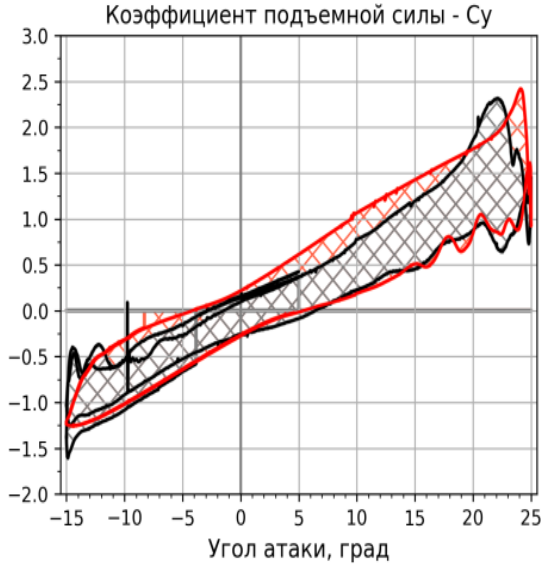


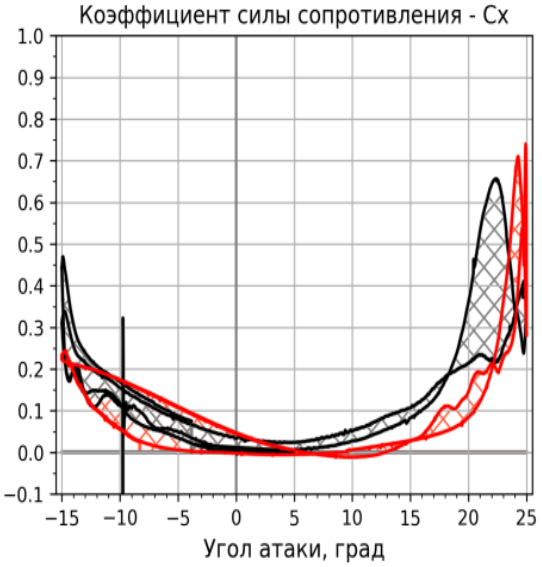
Выполнено расчетное исследование срывного обтекания лопасти при нестационарном движении с установленным подвижным триммером.
Цель работы – описание поведения профиля лопасти с системой активного демпфирования – триммерная пластина – на критических углах атаки и исследование эффективности установки триммера при динамическом срыве потока с профиля лопасти НВ методом численного моделирования (Computational Fluid Dynamics).
Рассмотрена двумерная постановка задачи, смоделировано поведение подвижного профиля лопасти и его взаимодействие с системой активного гашения колебаний. Вращение лопасти НВ заменялось гармоническим изменением мгновенного угла атаки профиля лопасти с частотой, равной частоте вращение винта. Контроль вибрации достигается за счет возбуждения триммера при сочетании частот и фаз колебаний.
Мгновенный угол атаки профиля лопасти выражается:

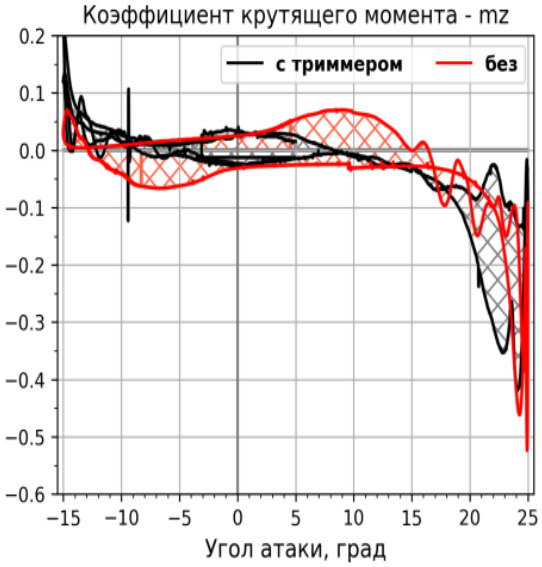
$$\alpha(t) = \alpha_0 + \mathrm{A} * sin\,(\frac{kV_\infty}{c}t + \varphi),$$

где α(t) – мгновенный угол атаки, α_0 – постоянная составляющая угла атаки, A – амплитудное значение, k – приведенная частота, c – длина хорды профиля, V_∞ – скорость потока. Все значения для описания движения профиля лопасти приняты согласно проведенным исследованиям.

При численном моделировании вращения профиля лопасти получены гистерезисные зависимости коэффициентов подъёмной силы C_y, силы сопротивления C_x и крутящего момента mz. Срыв потока начинается с угла атаки α=22.5°. Пульсации аэродинамических сил при срыве усиливают вибрации вертолета. Согласно экспериментальным данным срыв потока на лопасти начинается на угле атаки α=22.5°. Энергия для поддержания колебаний обеспечивается гистерезисной зависимостью m_z от угла атаки во время динамического срыва. Площадь петель характеризует работу, выполняемую аэродинамическими силами за один цикл колебаний. Все характеристики имеют более узкую площадь петель при движении триммера

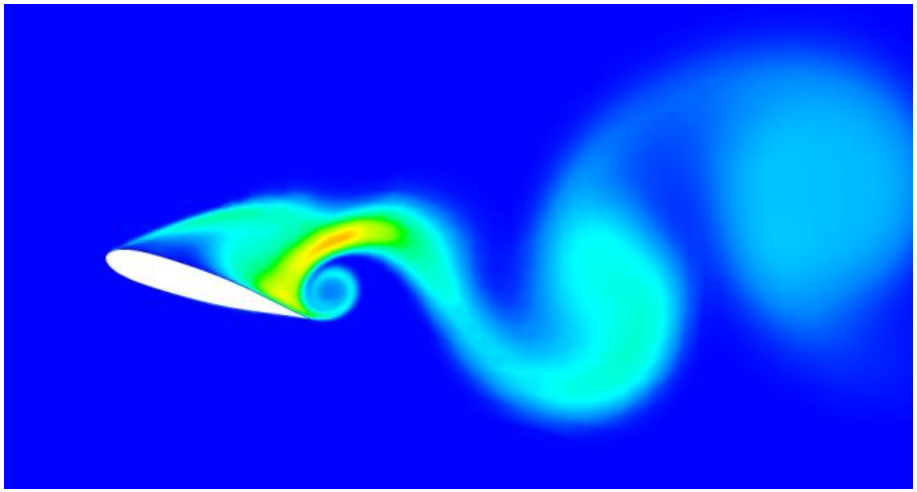


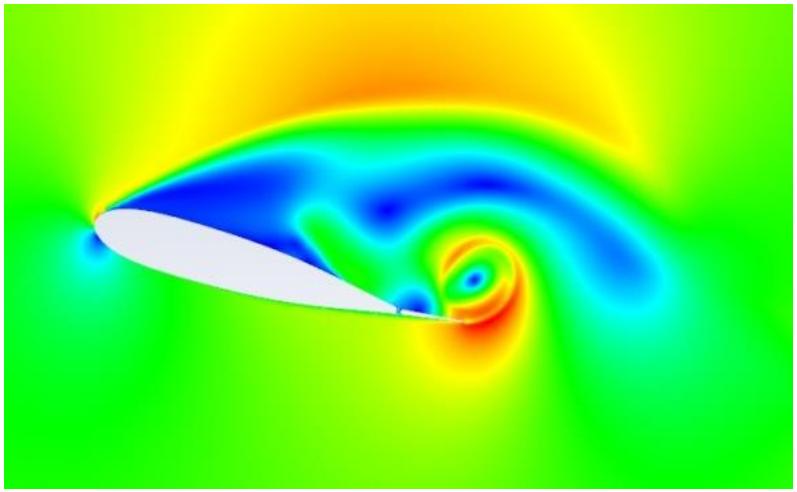




Исследован механизм наступления динамического срыва вихрей с лопасти без системы и с системой активного демпфирования при достижении критических углов атаки.

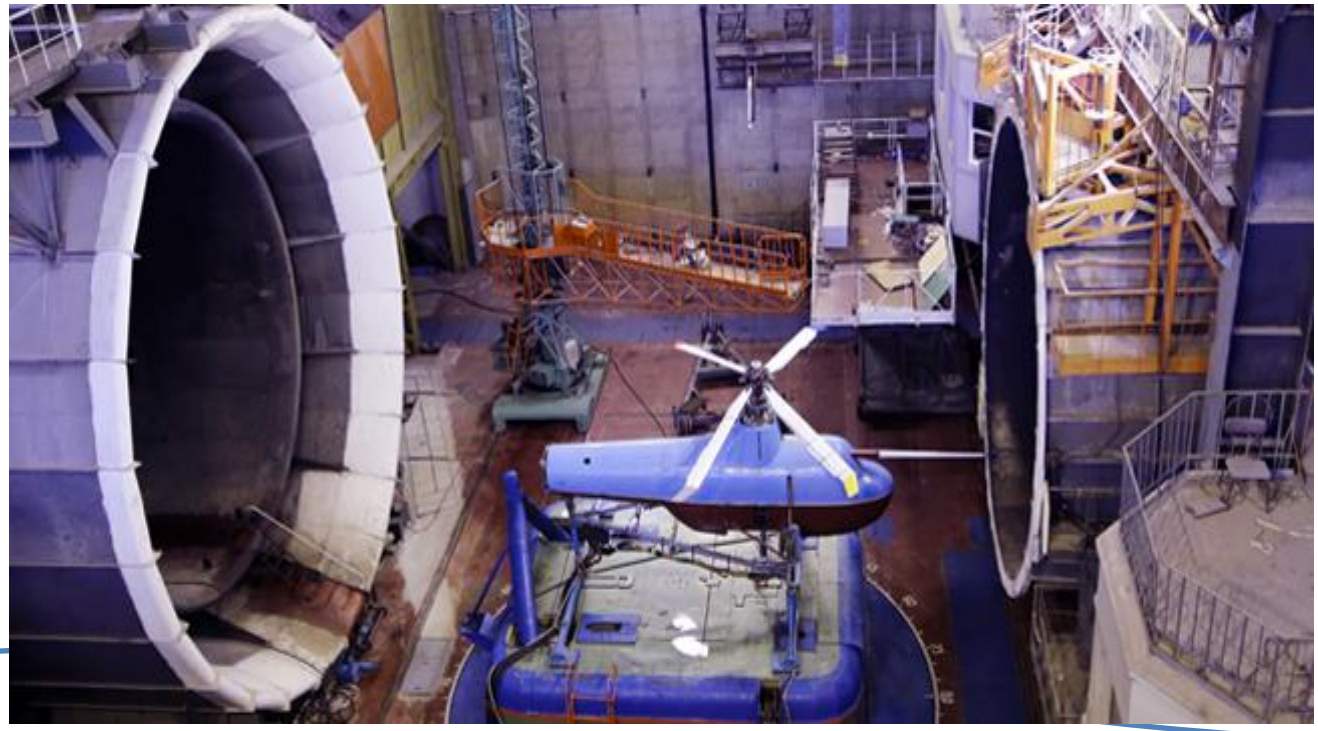
Показано, что связанное колебательное движение двух объектов изменяет картину аэродинамической нагрузки. Учет закона движения триммерной пластины, как системы активного демпфирования, показывает хорошие результаты при подавлении динамических срывов вихрей и, как следствие, гашение вибраций.





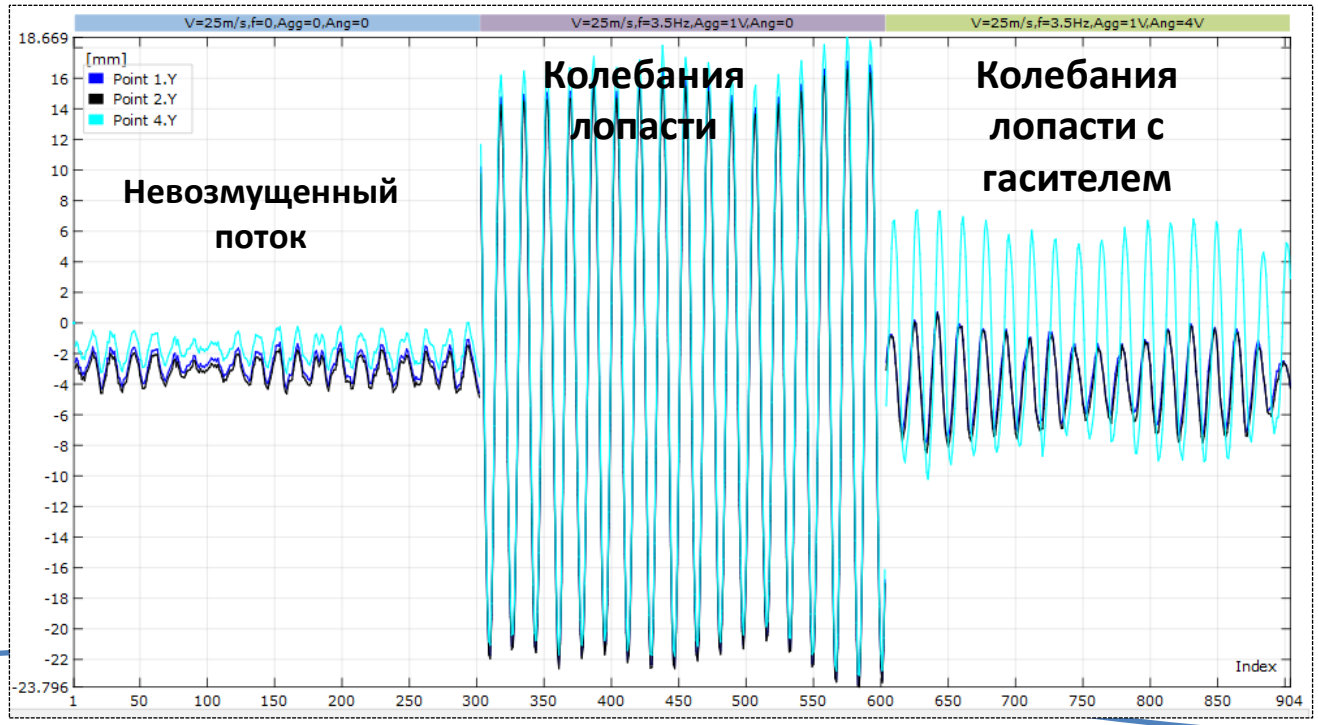
Обтекание профиля лопасти без системы и системой активного демпфирования при достижении критических углов атаки

Экспериментальные исследования с учетом вращения на базе существующего вертолетного стенда проведены на демонстраторе системы активного демпфирования вибраций несущей поверхности ЛА посредством управляемого триммера. Демонстратор представляет собой крупномасштабную модель НВ вертолета, на лопасти которого установлены две секции триммеров с индивидуальным приводом от пьезоактуатора. Секции триммера устанавливаются в регулярной части лопасти на участке между относительными радиусами r/R=0.6 и r/R=0.8. Вертолетный стенд с установленной на него крупномасштабной моделью НВ вертолета диаметром 6 метров состоял из четырех лопастей, каждая из которых оснащена двумя триммерами.



С помощью стереовидеограмметрической системы измерения снята осциллограмма движения лопасти и триммера в гармоническом потоке аэродинамической трубы.

Существенное снижение амплитуды колебаний лопасти при включении закрылков («гасителя» колебаний) установленного на задней кромке внешних отсеков. В зависимости от исследуемых режимов **снижение** размаха колебаний достигало **от 2 до 5 раз**, при этом сам размах колебаний конца лопасти варьировался от 20 до 40мм (синим – колебания лопасти, голубым – колебания триммера).



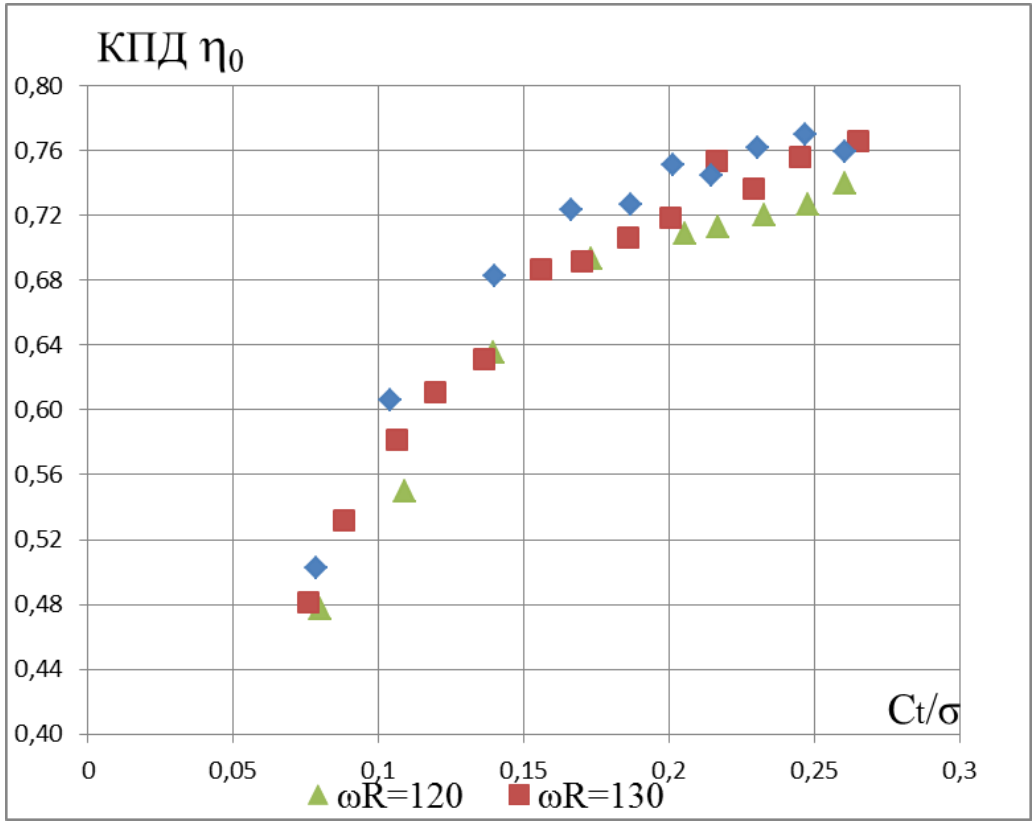
При испытаниях на гоночной площадке на режимах висения проведена проверка работоспособности и функционирования всех систем демонстратора, а также подтверждены следующие расчетные параметры демонстратора: частота вращения НВ, тяга НВ, моменты в плоскостях X и Z, рабочая частота триммеров, приращение к тяге винта от максимального отклонения триммеров. В исследуемом диапазоне параметров продемонстрировано увеличение тяги несущего винта от отклонения триммеров на 12.5%.

При увеличении окружной скорости концов лопастей ωR наблюдается заметное расслоение зависимостей относительного КПД НВ от относительного коэффициента силы тяги $\eta_0=f(C_t/\sigma)$.

$$C_t = \frac{2T}{\rho(\omega R)^2 \pi R^2}; \quad \sigma = \frac{kb}{\pi R};$$

$$\eta_0 = \frac{C_t^{3/2}}{2m_k}$$

где T – сила тяги винта; ρ – плотность воздуха; ω – угловая скорость вращения винта; R – радиус винта; k – количество лопастей винта; b – эффективная хорда лопасти; η_0 – относительный КПД НВ.



Практическая значимость

Предложенный метод гашения колебаний несущего винта вертолета:

- показал **эффективность в уменьшении динамического срыва вихрей с лопасти** с системой активного демпфирования при достижении критических углов атаки и, как следствие, гашение вибраций
- подтвержден по специальной методике «ЦАГИ». Из полученных данных можно сделать вывод, что в зависимости от частоты привода и скорости потока **эффективность** в снижении амплитуды (за счет демпфирования) **составит от 2.5 до 5 раз**.
- подтверждена эффективность работы разработанного компенсатора центробежной силы пьезопривода вплоть **до расчетных рабочих чисел оборотов** n=450об/м демонстратора системы активного демпфирования вибраций несущей поверхности ЛА.