

Канахина В.С., Батраков А.С., Гарипова Л.И.

АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА МОДЕЛИ ВИНТА ВЕРТОЛЕТА

Введение

В настоящее время наблюдается тенденция к снижению уровня загрязнения и уровня шума от транспортных средств. Поэтому в задачах проектирования летательных аппаратов (ЛА) появляются требования не только к летно-техническим характеристикам, но и к таким показателям, как уровень акустического излучения. Для вертолетов основным источником шума является работа несущего винта. Разработка рекомендаций при проектировании облика нового вертолета для снижения уровня акустического излучения является одной из приоритетных задач. Для решения задачи необходимо детальное изучение процесса генерации и распространения акустического сигнала с помощью численных методов и физических экспериментов. В данной работе рассматривается вопрос обработки результатов физического эксперимента акустического сигнала от модели несущего винта вертолета.

Описание экспериментальной установки

В лаборатории №1 КНИТУ-КАИ построен экспериментальный стенд, включающий в себя аэродинамическую трубу с заглушенной камерой в рабочей зоне (рис.1а), вертолетный стенд (рис.1б), имитирующий работу несущего винта вертолета, систему управления вертолетным стендом, массив микрофонов и оборудование для записи акустического сигнала. Подробное описание экспериментальной установки представлено в работе [1].

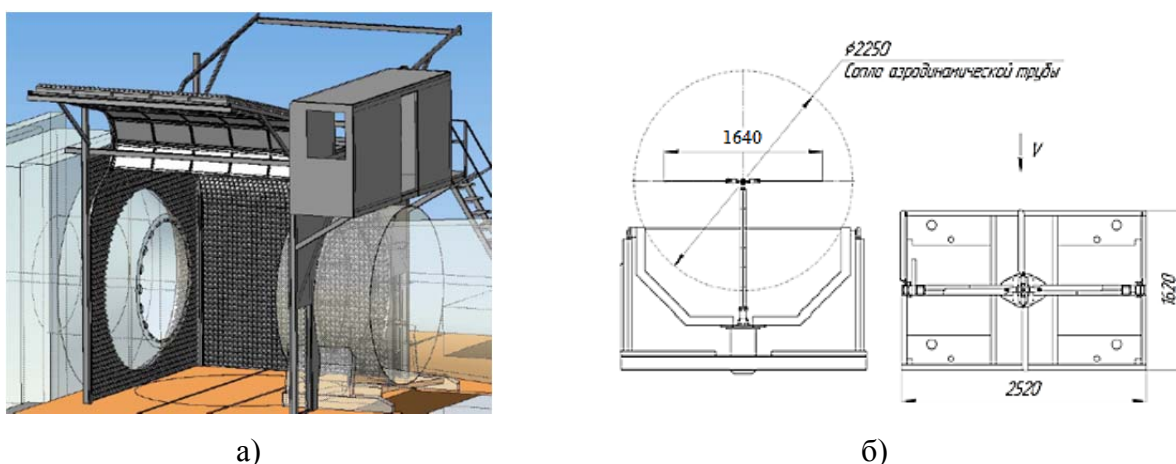


Рис. 1. Экспериментальная установка: а) схема аэродинамической трубы с заглушенной камерой; б) вертолетный прибор (размеры даны в миллиметрах)

Модель несущего винта представляет собой четырёхлопастной винт, лопасти которого имеют параболическую законцовку, без крутки. Основные геометрические параметры вертолетного стенда представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные параметры вертолетного стенда

Параметр	Значение
Радиус, R	820 мм
Относительная толщина лопасти, \bar{b}	15 %
Хорда лопасти, c	65 мм
Число лопастей	4
Скорость вращения винта, n	до 1600 об/мин
Углы общего шага винта	От -15° до $+15^\circ$
Угол атаки винта	От -30° до $+30^\circ$

Для исследования акустического излучения использовалась линейка микрофонов DBX RTA-M (рис. 2), которые располагались на расстоянии от оси вращения винта от $1,2R$ до $2,1R$. Расстояние между микрофонами 130 мм.

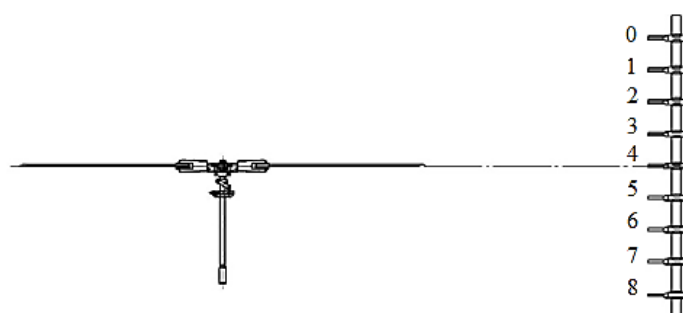


Рис. 2. Расположение микрофонов

Результаты экспериментального исследования

Испытания проведены при следующих условиях: частота вращения винта $n=900$ об/мин, угол общего шага винта от -2° до $+8^\circ$, угол атаки винта нулевой. На записанном сигнале с микрофона №0 (рис. 3) видно акустическое воздействие, вызванное прохождением лопасти (основная частота соответствует частоте прохождения лопасти).

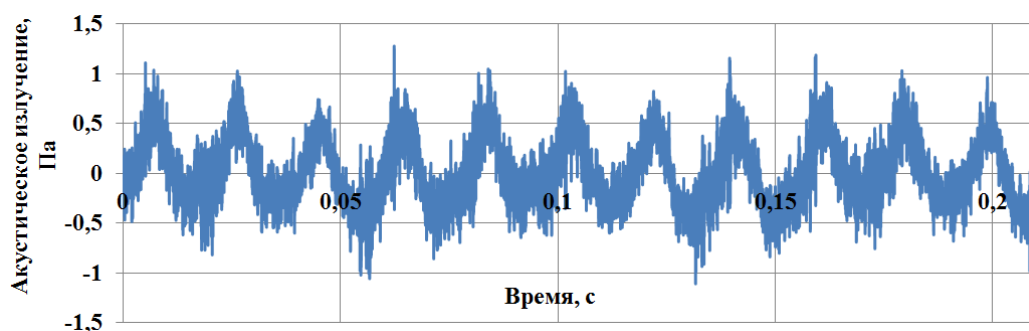


Рис. 3. Отрывок исходного сигнала, микрофон №0, дистанция от винта $d=1,2R$

Однако помимо основной гармоники сигнал содержит высокочастотный шум, и наблюдается неравномерный характер по времени, что требует дополнительной обработки сигналов. Возможными причинами зашумления сигналов является наличие высокочастотного турбулентного шума, шум от трансмиссии, шум от электродвигателя, механические вибрации и электромагнитное зашумление сигнала в процессе его обработки. Неравномерный характер сигнала по времени может быть связан с некоторыми изменениями частоты вращения винта в процессе эксперимента и различными видами деформаций.

Для обработки зашумленных сигналов применяются различные алгоритмы, такие как линейные фильтрации, сглаживающие фильтры и другие [5]. Некоторые методы реализованы в программном комплексе MATLAB в виде встроенных функций. Однако их использование имеет определенные недостатки, в частности для применения алгоритма фильтра Савицкого-Голея необходимо задать степень сглаживающих полиномов k и размера кадра f . Но четкие критерии по выбору указанных параметров отсутствуют, и результат обработки зависит от конкретно выбранных значений (рис. 4).

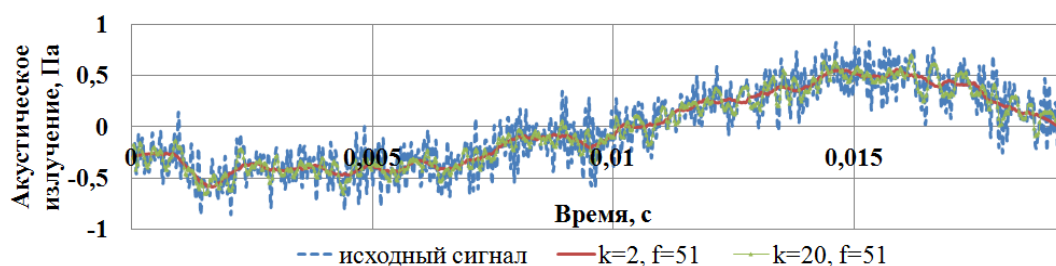


Рис.4. Результат дискретной фильтрации с помощью фильтра Савицкого-Голея при различных параметрах k

В процессе работы алгоритма модифицируется не только высокочастотный шум, но и представляющий интерес сигнал низкой частоты. Стоит отметить, что в целом существует некоторый компромисс между степенью фильтрации шума и сохранением полезного сигнала. В частности при выборе большого значения степени сглаживающих полиномов k и малой величины размера кадра f выходной сигнал после фильтра близок к исходному сигналу. При уменьшении степени сглаживающих полиномов k и увеличению размера кадра f могут наблюдаться существенные потери информации о сигнале.

Также следует отметить, что необработанный сигнал оцифрован с частотой 48 кГц и занимает большой объем памяти, что затрудняет работу с ним. Таким образом, задачей текущей работы является разработка программного средства обработки анализа и формирования базы данных по результатам физического эксперимента.

Методика обработки данных

Из литературных источников известно, что акустический сигнал от несущего винта вертолета можно представить в виде нескольких компонентов, таких как шум вытеснения [3], шум нагружения [2], шум взаимодействия лопасти с концевым вихрем (BVI) [4], широкополосный турбулентный шум и другие. Также из анализа литературных источников следует, что при определенных режимах работы винта некоторые компоненты являются преобладающими, а некоторыми можно пренебречь, так как они являются пренебрежительно малыми. Так, к примеру, для режима работы винта на месте основными источниками шума являются дискретные компоненты, шум вытеснения и шум нагружения. Более того в плоскости вращения винта действует только шум вытеснения. Таким образом, в рассмотренном эксперименте наибольший интерес представляют собой низкочастотный шум с частотой, соответствующей частоте прохождения лопасти винта. Высокочастотный шум в данном случае можно рассматривать как помехи. Учитывая особенности акустического сигнала, было предложено провести анализ периодически

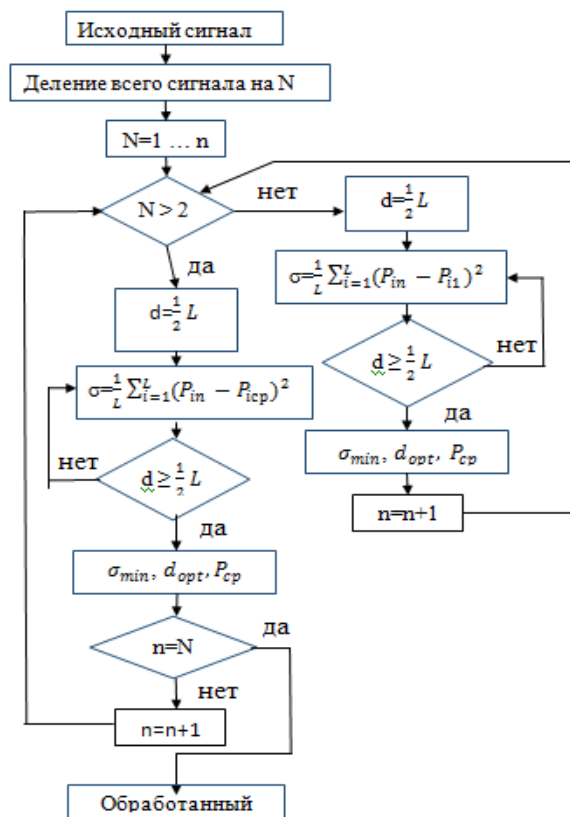


Рис. 5. Блок-схема алгоритма обработки сигнала.

повторяющейся структуры с оценкой статистических параметров. Более подробно алгоритм обработки сигнала представлен на схеме (рис. 5), где N – количество волн, d – смещение волн по фазе, σ – среднее квадратичное отклонение волны от средней волны, L – длина периода, P_i – текущее значение давления.

Результаты обработки акустического сигнала

С использованием разработанного алгоритма выполнена обработка акустических сигналов, полученных с микрофонов при различных режимах оборота винта. Проведенная обработка позволяет произвести оценку среднего акустического воздействия несущего винта.

Среднеквадратичное отклонение, получаемое в процессе обработки, позволило оценить как величину высокочастотного шума, так и нестабильность в процессе эксперимента. В подтверждение правильности полученных оценок приводится сравнение обработанного

сигнала с исходным (рис. 6).

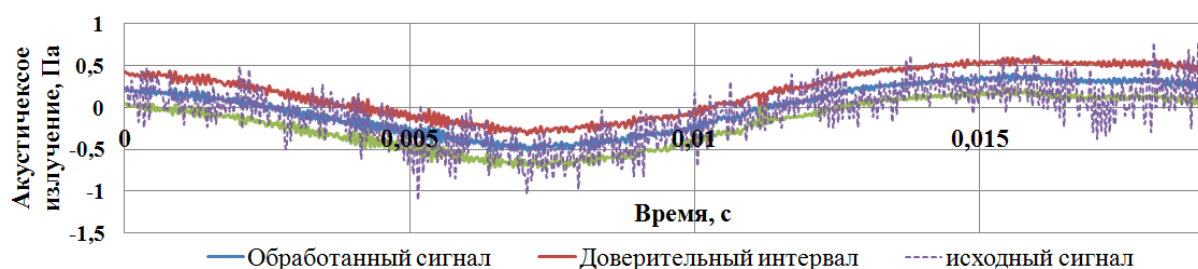


Рис. 6. Сравнение исходного сигнала с обработанным

Необработанный сигнал находится внутри поля. После обработки получена запись акустического сигнала, которая значительно короче исходной и которую удобно хранить и анализировать.

Заключение

Рассмотрены задачи обработки акустического сигнала, генерируемого моделью несущего винта вертолета. Предложенный алгоритм реализован в виде программы, позволяющий выполнить оценку среднего акустического воздействия по дискретному шуму (частоте, соответствующей частоте прохождения лопасти), а высокочастотный шум и флуктуации в процессе проведения эксперимента представить в виде доверительного интервала. Преимуществами разработанной программы является возможность выполнения анализа и хранения результатов эксперимента в меньшем объеме.

Результаты, представленные в данной статье, были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России номер 9.1577.2017/ПЧ.

Библиографический список

1. Баракос, Дж.Н. Создание базы данных акустических экспериментальных исследований модели изолированного несущего винта вертолета / Дж.Н. Баракос, А.С. Батраков, А.Н. Боженко, Л.И. Гарипова, А.Н. Кусюмов, С.А. Михайлов, В.В. Пахов, Р.П. Степанов // Сборник конференции «Вычислительный эксперимент в аэроакустике». – 2016. – С. 41-44.
2. Джонсон, У., Теория вертолета: В 2-х книгах. Пер. с англ. – М.: Мир, 1983.
3. Головкин В.А., Исследование шума вытеснения от несущего винта вертолета в дальнем поле/ Головкин В.А., Крицкий Б.С., Миргазов Р.М. // Научный вестник МГТУ ГА. – 2014. - №200. – С. 74-78.
4. Лукьянов, П.В., Влияние крутки лопасти ротора вертолета на генерацию BVI-шума, // Вестник Черкасского национального университета. – 2014. - №38. – С.90-102.
5. Чучупал, В.Я., Цифровая фильтрация зашумленных речевых сигналов, / Чучупал В.Я., Чичагов А.С.Маковкин К.А. // Вычислительный центр РАН, Москва, 1998.