

УДК 533; 533.6
DOI: 10.63430/TIA202502004

Определение амплитудно-частотных характеристик системы «термоанемометр + датчик» по лазерному импульсу — усовершенствование методики*

Д.А. Бунтин, О.И. Вишняков

*Институт теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича СО РАН, Новосибирск*

E-mail: bountin@itam.nsc.ru

Предлагается усовершенствование нового экспериментального метода определения амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) термоанемометрической системы с помощью короткоимпульсного лазерного воздействия на чувствительный элемент датчика. Учтены ошибки предыдущей работы. Получены АЧХ термоанемометра постоянного сопротивления с ниточным датчиком, проведено сравнение со стандартной методикой определения АЧХ.

Ключевые слова: термоанемометр постоянного сопротивления, АЧХ, ниточный датчик, импульсное воздействие.

Введение

В работе [1] авторы предложили новый экспериментальный метод определения амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) системы «датчик + термоанемометр постоянного сопротивления (ТПС)». Метод основывается на импульсном тепловом воздействии на датчик, моделирующим дельта-функцию. В таком случае фурье-спектр отклика системы будет амплитудно-частотной характеристикой системы с точностью до нормировки. В качестве теплового импульса использовалось лазерное излучение длительностью около 10 нс. На основе отклика ТПС на кратковременное лазерное воздействие были получены АЧХ системы для ниточного и пленочного датчиков термоанемометра. Однако постоянная времени и частота отсечки (частота, при которой амплитуда сигнала термоанемометра падает на 3 дБ) отличались от измеренных стандартным способом почти на два порядка. Было сделано предположение, что подобное расхождение произошло по двум причинам. Во-первых, в эксперименте датчик целиком (вместе с ножками) находился в пятне лазерного излучения, поэтому, кроме самой проволоочки,

* Исследование выполнено в рамках государственного задания ИТПМ СО РАН (№ гос. регистрации: 124021500012-0).

нагревались ножки, которые при остывании отдавали тепло в проволоку, увеличивая тепловую инерцию. Во-вторых, датчик не обдувался потоком и его остывание происходило за счет неконтролируемой конвекции, которая является медленным процессом.

В настоящем исследовании авторы учли указанные недостатки и получили новую амплитудно-частотную характеристику ТПС с ниточным датчиком.

Экспериментальное оборудование

В качестве источника теплового воздействия был использован лазер Litron Lasers NANOL 135-15 с энергией в импульсе до 135 мДж и продолжительностью импульса около 10 нс. В тестах использовался термоанемометр постоянного сопротивления ТПС18-8 (ИТПМ СО РАН). Отклик термоанемометра оцифровывался с помощью аналого-цифрового преобразователя TiePie HS6 DIFF с частотой 625 кГц. Ниточный датчик представлял собой стандартный датчик термоанемометра, изготовленный из вольфрамовой проволоки диаметром 10 мкм с длиной нити 1,8 мм. Датчик помещали в центр рабочей части аэродинамического стенда, имеющего квадратное сечение 70×70 мм. Чтобы исключить нагрев ножек датчика, перед прозрачной стенкой рабочей части стенда напротив датчика располагалась щель шириной 0,6 мм. Таким образом, тепловому воздействию подвергалась только часть чувствительного элемента датчика. Измерения проводились при скорости потока 4,6 м/с. Кроме указанных выше причин расхождения стандартного и нового способов определения АЧХ, возникло предположение, что на отклик датчика может влиять мощность теплового воздействия. Поэтому также была уменьшена энергия лазерного импульса с 25 до 12 % от полной энергии. При меньшей мощности лазера отношение сигнал/шум (шум связан с пульсациями аэродинамического потока) ухудшалось и провести сравнение спектров было затруднительно. Для учета различной мощности воздействия на датчик при подаче прямоугольного импульса напряжения (по стандартной методике) и при воздействии лазерного излучения спектры нормировались на среднюю величину спектра мощности (A/A_0) в интервале 550–3800 Гц.

Результаты исследования

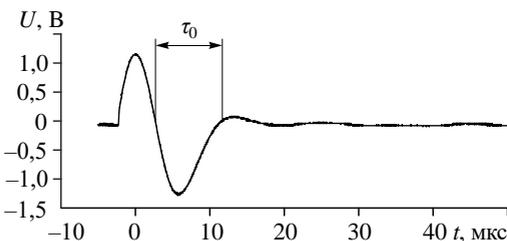
Произведена классическая настройка АЧХ ТПС с помощью штатной подачи прямоугольного сигнала напряжения непосредственно в цепь датчика [1]. Осциллограмма настройки представлена на рис. 1 (U — напряжение, t — время).

При настройке ТПС время отклика τ_0 определяет частотную характеристику системы с ниточным датчиком [2, 3]:

$$f_c \approx 1/(1,2\tau_0),$$

где f_c — частота, при которой амплитуда в спектре сигнала термоанемометра падает на 3 дБ.

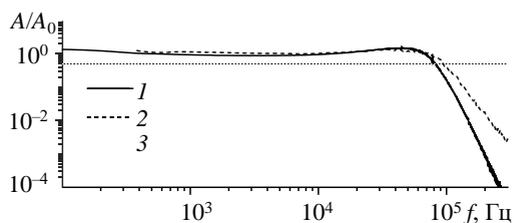
Полученное время τ_0 составило $\approx 8,5$ мкс. Таким образом, частота для ниточного датчика $f_c \approx 98$ кГц. Нормированный спектр мощности, построенный по отклику дат-



чика на калибровочный сигнал, соответствует близкому значению — $f_c \approx 95$ кГц (рис. 2, кривая 2). Спектр, построенный по отклику на импульсный нагрев лазерным

Рис. 1. Осциллограмма настройки термоанемометра.

Рис. 2. Нормированный спектр мощности (A/A_0) сигнала отклика датчика на импульсное тепловое воздействие (1), подачу прямоугольного импульса напряжения на датчик (2), падение амплитуды спектра мощности на 3 дБ (3).



излучением, дает значение $f_c \approx 83$ кГц (см. рис. 2, кривая 1). В отличие от работы [1], где расхождение в величине f_c , полученной стандартным методом и новым методом, составляло почти два порядка, в настоящих экспериментах оно понизилось до 13 %. На рис. 2 видно, что спектры мощности сигнала очень близки. Расхождение начинается с 70 кГц.

Выводы

В работе учтены ошибки предыдущего исследования. Введенные улучшения показывают АЧХ системы «ТПС + ниточный датчик», близкую к оценке АЧХ, сделанной стандартным методом. Улучшенная методика позволяет проводить практические измерения амплитудно-частотных характеристик для последующей корректировки и количественного сравнения результатов различных экспериментов с использованием термоанемометров и датчиков с разными характеристиками.

Список литературы

1. Бунтин Д.А., Вишняков О.И., Поливанов П.А., Сидоренко А.А., Громько Ю.В. Определение амплитудно-частотных характеристик системы «термоанемометр + датчик» по лазерному импульсу // Теплофизика и аэромеханика. 2024. Т. 31, № 1. С. 145–151.
2. Лебига В.А. Термоанемометрия сжимаемых потоков. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1997. 81 с.
3. Инструкция к ТПС AN-1003 (A.A. Lab System). 1993. 7 с.

Статья поступила в редакцию 14 февраля 2025 г.,
принята к публикации 18 апреля 2025 г.