

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ВОЗДУШНЫХ ТЕЧЕНИЙ МЕТОДОМ ЛЮМИНЕСЦИРУЮЩИХ ШЕЛКОВИНОК ПРИ МАЛЫХ ЧИСЛАХ РЕЙНОЛЬДСА

Наглядность и простота метода шелковинок при визуализации воздушных течений предопределили его широкое использование в процессе аэродинамического эксперимента [1, 2, 3]. При этом представляется возможность определять направление потенциального течения и характер потока (потенциальный или вихревой) как в пристеночных, так и в отдаленных от исследуемого объекта воздушных слоях.

Метод люминесцирующих шелковинок для визуализации течений на поверхности моделей был применен в фирме Boeing и получил свое дальнейшее развитие в НИО-7 ЦАГИ [3]. Использование данного метода визуализации в Самарском государственном аэрокосмическом университете (СГАУ) при проведении исследований в аэродинамических трубах Т-1 и Т-3 с размером открытой рабочей части $D = 500$ мм (Т-1) и 400×600 мм (Т-3) в диапазоне скоростей воздушного потока от 0 до 50 м/с потребовало его доработки и модернизации.

Для регистрации картины обтекания нет необходимости использовать цифровую CCD камеру большого разрешения и высокой частоты съемки, а также специальных светофильтров.

Для решения поставленных задач достаточно обычной цветной цифровой фотокамеры с разрешением не менее 5 megapixel и регулируемой выдержкой. Проведенные эксперименты показали, что можно использовать нити, обладающие естественным свечением в ультрафиолетовом свете, благодаря чему отпадает необходимость пропитки нитей люминесцирующими веществами. При этом исключается фактор изменения энергии фотолюминесценции с течением времени и ее зависимость от качества пропитки и светящегося состава.

На рисунке 1 показан снимок фотокамерой CANON A-530 модели круглого крыла и вертикальной шайбы в низкоскоростном воздушном потоке ($V = 2,4$ м/с и выдержка 1/30 с). Модель крыла обклеена синтетическими нитями, изготовленными в ЦАГИ [3].

На шайбе расположены снизу вверх линии нитей:

- 0 – предварительно выпрямленная за счет отвеса тонкая синтетическая нить типа "Органза", толщина 50 мкм;
- 1 – ЦАГИ, толщина 100 мкм;

- 2 – тонкая "Органза", толщина 50 мкм;
- 3 – вискоза тонкая витая, толщина 70 мкм;
- 4 – вискоза толстая, толщина 100 мкм;
- 5 – капроновая нить, покрытая люминесцентным составом за 30 дней до съемки, толщина 500 мкм;
- 6 – капроновая нить, покрытая люминесцентным составом в день съемки, 300 мкм;
- 7 – раскрученная (раздвоенная) и выпрямленная вискоза тонкая;
- 8 – вискозная тонкая основа.

Опыт показывает, что без использования фильтров и программного выделения цвета наблюдается наилучшее отображение естественно светящихся нитей 3 и 4. На рисунке видно, что синтетические нити обладают существенной "памятью формы", то есть могут быть сильно искривлены при отсутствии потока. По фотографии видно, что выпрямление нитей перед наклейкой является необходимым, особенно для синтетических нитей. При этом раскрученная вискозная нить сохраняет высокую светоотражающую способность при очевидном повышении чувствительности. Тонкая вискозная основа является очень непрочной и для получения ее четкого изображения требуется применение более чувствительной фотокамеры и компьютерной цветовой обработки.

Для оценки чувствительности нитей различной длины к возмущенному потоку при малых числах Рейнольдса, они были наклеены на поверхность цилиндра в следующей последовательности (рис. 2, снизу вверх):

- 0 – капроновая металлизированная нить толщиной 20 мкм и длиной 40 мм;
- 1а – синтетическая нить ЦАГИ длиной 40 мм;
- 1б – синтетическая нить ЦАГИ длиной 25 мм;
- 1в – синтетическая нить ЦАГИ длиной 15 мм;
- 2а – невыпрямленная синтетическая нить типа "Органза" длиной 40мм;
- 2б – невыпрямленная синтетическая нить типа "Органза" длиной 25мм;
- 2в – невыпрямленная синтетическая нить типа "Органза" длиной 15мм;
- 3а – вискоза тонкая витая "Dekor" фирмы "Gutermann" длиной 40мм;
- 3б – вискоза тонкая витая "Dekor" фирмы "Gutermann" длиной 25мм;
- 3в – вискоза тонкая витая "Dekor" фирмы "Gutermann" длиной 15мм;
- 4а – вискоза толстая длиной 40 мм;
- 4б – вискоза толстая длиной 25 мм;
- 4в – вискоза толстая длиной 15 мм;
- 5а – выпрямленная синтетическая нить типа "Органза" длиной 40мм;
- 5б – выпрямленная синтетическая нить типа "Органза" длиной 25мм;

- 5в – выпрямленная синтетическая нить типа "Органза" длиной 15мм;
- 6а – развита (раздвоенная) выпрямленная вискоза "Dekor" фирмы "Gutermann" - 40 мм;
- 6б – развита выпрямленная вискоза "Dekor" фирмы "Gutermann" длиной 25 мм;
- 6в – развита выпрямленная вискоза "Dekor" фирмы "Gutermann" длиной 15 мм.

В воздушном потоке ($V = 0,3$ м/с) при выдержке 1/10 секунды чувствительность к возмущенному потоку показала нить 6а. Число Рейнольдса, рассчитанное по диаметру цилиндра, составило 270. При $V = 1,9$ м/с ($Re = 1716$) чувствительность показали нити 3а, 4а, 5а, 6а и 6б. При $V = 4$ м/с ($Re = 3612$) отмечается четкая реакция всех нитей 6, нитей 2а и 3а и определяемая реакция на поток нитей 1а, 2б, 4а, 5а, 5б (рис. 2).

По результатам экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. Для проведения визуальных исследований в аэродинамических трубах при малых числах Рейнольдса предпочтительным является использование неокрашенной, не покрываемой люминесцирующими веществами, развита (раздвоенной) и выпрямленной вискозы "Dekor" фирмы "Gutermann".
2. В зависимость от скорости потока (в исследуемом диапазоне 0.3...5 м/с) длина нити выбирается в диапазоне от 40 до 15 мм в обратной пропорции.
3. Для повышения четкости изображения можно использовать доступные бытовые лампы ультрафиолетового излучения Compact electronic ce st 26 e27 black.
4. Для фиксации изображения может использоваться цветная цифровая фотокамера с чувствительностью не менее 5 megapixel, возможностью макросъемки и ручной регулируемой выдержкой в пределах 1/10 – 1/30 секунды.

Авторы статьи благодарят студентов СГАУ Иванова А.А., Щербо Д.В. за техническую поддержку экспериментов.

Работа выполнялась при финансовой поддержке и в рамках аналитической ведомственной программы "Развитие научного потенциала высшей школы (2006-2008 годы)" (РНП.2.1.2.4386).

Библиографический список

1. Мартынов А.К. "Экспериментальная аэродинамика" М.: Государственное издательство оборонной промышленности, 1950.
2. Горлин С.М. "Экспериментальная аэромеханика". М.: Высшая школа, 1970.
3. Песецкий В.А., Песецкий П.В., Песецкий С.В. "Использование минишелковинок для исследования обтекания модели учебно-тренировочного самолета в аэродинамической трубе Т-103 ЦАГИ". Материалы XVII-ой школы-семинара ЦАГИ, 2006.



Рис.1

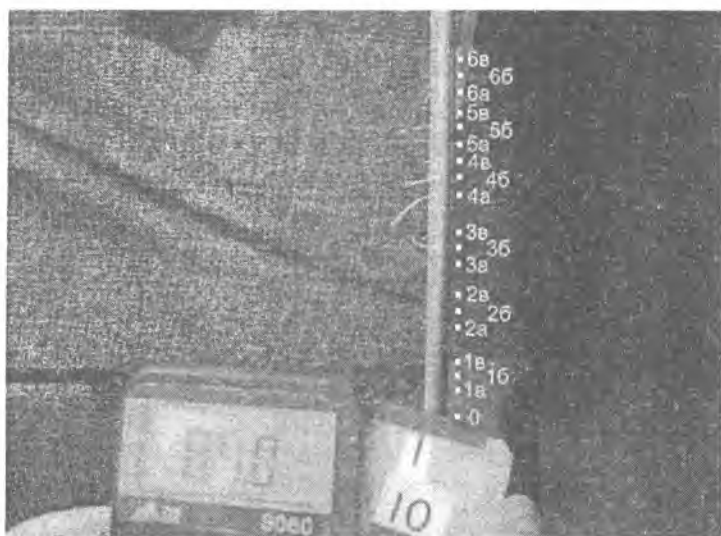


Рис.2