

Модернизация измерительной системы сил и момента в учебной аэродинамической трубе Т-5

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»

Очерчен круг проблем, связанных с проведением учебного аэродинамического эксперимента, и предложены основные направления интенсификации связанного с ним учебного процесса. Для реализации данных направлений предложено модернизировать измерительную систему аэродинамических весов АВТ-5 учебной аэродинамической трубы Т-5. В ходе модернизации измерительной системы внесены улучшения в механическую часть весов путем замены элемента растяжки рамы весов, и устаревшие весовые элементы рейтерного типа были заменены на современные тензометрические, обладающие рядом неоспоримых преимуществ. Проведено сравнение основных характеристик измерительной системы весов до и после модернизации. Сравнение показало повышение точности измерений с 5 до 0,2% от верхнего предела измерений, а время получения одной точки поляры сократилось с 1 мин до 2-3 с.

Ключевые слова: аэродинамическая труба, весовой элемент, аэродинамические весы, точность измерений, поляра, аэродинамический эксперимент.

Учебный процесс в современном вузе направлен в первую очередь на подготовку высококвалифицированного специалиста, который будет конкурентоспособен на рынке труда.

В настоящее время всё больше внимания уделяется приобретению и закреплению практических навыков студента, его умению не только самостоятельно получать результаты в процессе эксперимента, но и анализировать их с применением приобретенных теоретических знаний. Таким образом, лабораторные работы превращаются в процесс совместного с преподавателем приобретения знаний студентами в процессе эксперимента и его анализа. Пути интенсификации данного процесса лежат в двух основных направлениях:

- в снижении трудоёмкости эксперимента и, как следствие, уменьшении затрат времени на его проведение;
- в повышении точности получаемых результатов, что позволяет совместить учебный и исследовательский эксперименты.

Именно с точки зрения этих двух приоритетных направлений и подошли к модернизации измерительной системы учебной аэродинамической трубы Т-5 на кафедре аэрогидродинамики Национального аэрокосмического университета.

Аэрогидродинамическая труба Т-5 была сконструирована и построена на кафедре аэрогидродинамики в начале 60-х годов прошлого века. В качестве измерительной системы сил и момента использовались трехкомпонентные аэродинамические весы АВТ-5, разработкой и изготовлением которых руководил сотрудник кафедры Кика В.И. На момент ввода в эксплуатацию весь комплекс полностью соответствовал требованиям к учебному процессу того времени.

На рис. 1 представлена кинематическая схема АВТ-5. Весы состоят из элементов подвески модели 1, плавающей рамы 2, механизма разложения сил и момента 3 и весовых элементов рейтерного типа 4.

Составляющие аэродинамических сил и моментов определяются путем измерения реакций в соответствующих звеньях механизма разложения сил с помощью весовых элементов рейтерного типа (рис. 2), представляющих собой коромысло с двумя подвижными грузами – грубой и тонкой подстройками.

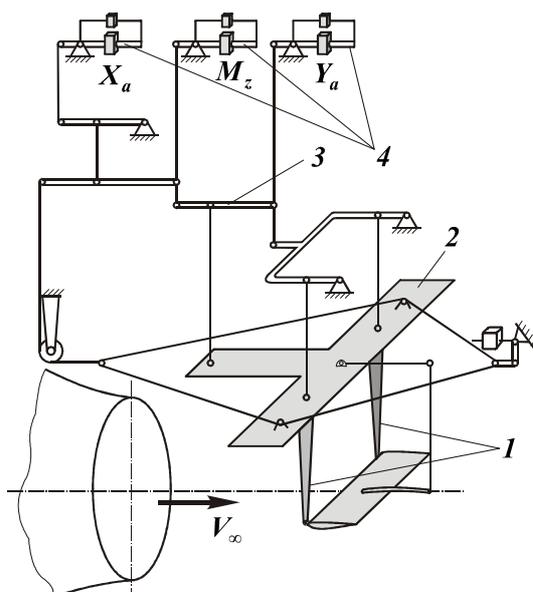


Рис. 1. Кинематическая схема весов АВТ-5

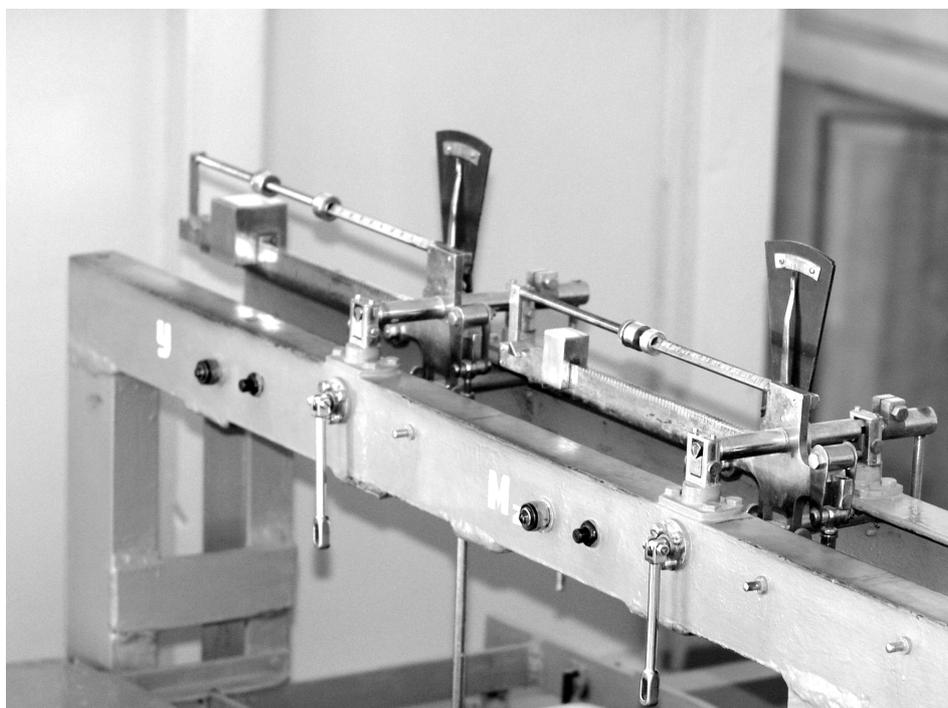


Рис. 2. Весовые элементы весов АВТ-5 до модернизации

Измерение усилий с помощью весового элемента рейтерного типа представляет собой итерационный процесс, связанный с многократным перемещением компенсирующих грузов вручную до достижения состояния равновесия, занимающий длительное время. Так, время, затрачиваемое на уравнивание одного весового элемента для получения одной точки поляры, составляло ~ 1 мин. Уравнивание весовых элементов выполнялось последовательно в силу кинематических особенностей весов. При выполнении экспериментальных исследований группа студентов, в зависимости от сложности задания, могла затратить до 45 минут на получение экспериментальных данных, которые еще не являлись

значениями сил и момента. Аэродинамические силы и момент определялись путем умножения результатов измерений на масштабный множитель, представляющий собой тарифовочный коэффициент для каждого весового элемента.

Другим немаловажным аспектом оценки качества получаемых результатов является точность измерений. В процессе измерений к методическим погрешностям, обусловленным конструкцией весов, добавляются инструментальные ошибки самого средства измерения. Такие ошибки, во-первых, связаны с автоколебательным характером процесса уравнивания, а во-вторых – с субъективностью принятия оператором решения о достижении состояния равновесия. При регистрации сил и моментов весовыми элементами рейтерного типа основная ошибка, рассчитанная по методике обработки прямых измерений, составляет ~5% от верхнего предела измерений (ВПИ).

Поэтому при модернизации измерительной системы весов АВТ-5 было принято решение заменить весовые элементы рейтерного типа на тензорезистивные первичные преобразователи. Измерение сил с помощью тензорезистивного датчика имеет ряд преимуществ: высокую точность и скорость измерений; возможность дополнительной цифровой обработки измерений в реальном масштабе времени; исключение аддитивных составляющих погрешности (шум, вибрации и т.д.); удобное конструктивное исполнение.

В качестве первичных преобразователей сил были выбраны преобразователи фирмы SCAIME, имеющие предел основной погрешности 0,03% от ВПИ (рис. 3).

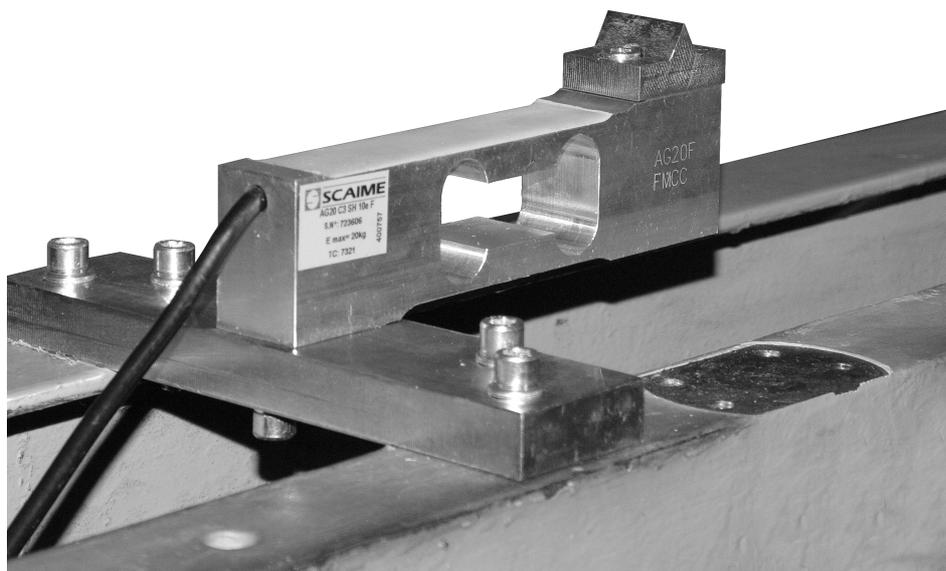


Рис. 3. Тензорезистивный первичный преобразователь AG20F

Применение новых весовых элементов повышенной точности вывело на поверхность погрешности, связанные с несовершенством механической системы весов, а именно недостатком жесткости «нитяной» растяжки плавающей рамы (рис. 4,а). Для устранения этих погрешностей «нитяные» растяжки плавающей рамы были заменены на «ленточные» (рис. 4,б).

Весь потенциал тензорезистивного первичного преобразователя можно раскрыть только при его совместном использовании со специальными вторичными измерительными устройствами, представляющими комплексные цифро-аналоговые системы.

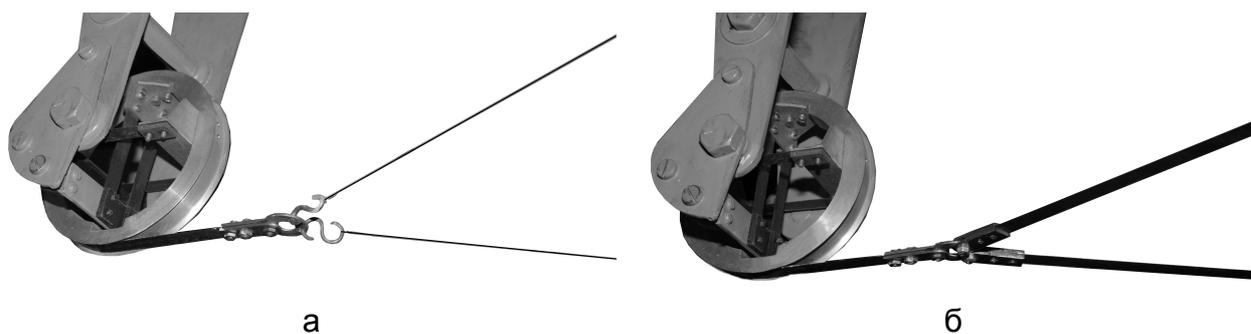


Рис. 4. Элемент растяжки плавающей рамы:
а – до модернизации; б – после модернизации

В качестве такого устройства была использована цифровая измерительная головка SCAIME, которая включает: цепи питания датчика; усиления полезного сигнала; ослабления шумовых составляющих; аналого-цифровое преобразование и дальнейшую цифровую обработку в виде масштабирования; цифровую фильтрацию и т.д. Результаты выводятся на ЖК-дисплеи (рис. 5) в реальном масштабе времени и в соответствующих физических величинах (силы – в $[Н]$; момент – в $[Нм]$).



Рис. 5. Рабочее место операторов после модернизации
измерительной системы АВТ-5

Проведенная модернизация измерительной системы позволила:

1. Повысить точность измерений (основная ошибка измерений, рассчитанная по методике обработки прямых измерений, снизилась с 5 до 0,2%).
2. Уменьшить время получения результатов измерений одной точки поляры с 1 мин до 2..3 с.

Рецензент: д-р техн. наук, профессор В.В. Тюрев, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.
Поступила в редакцию 15.03.12

Модернізація вимірювальної системи сил і моменту в навчальній аеродинамічній трубі Т-5

Викладено ряд питань, пов'язаних з проведенням навчального аеродинамічного експерименту, запропоновано основні напрямки інтенсифікації пов'язаного з ним навчального процесу. Для реалізації даних напрямків запропоновано модернізувати вимірювальну систему аеродинамічних вагів АВТ-5 навчальної аеродинамічної труби Т-5. В ході модернізації вимірювальної системи було внесено покращання в механічну частину вагів шляхом зміни елемента розтягання рами вагів, і застарілі вагові елементи рейтерного типу було замінено на сучасні тензометричні, які мають ряд безперечних переваг. Проведено порівняння основних характеристик вимірювальної системи вагів до і після модернізації. Порівняння показало підвищення точності вимірів з 5 до 0,2% від верхньої межі вимірів, а час отримання однієї точки поляри скоротився з 1 хв до 2-3 с.

Ключові слова: аеродинамічна труба, ваговий елемент, аеродинамічні ваги, точність вимірів, поляра, аеродинамічний експеримент.

Updating the measuring system of forces and moment of the wind tunnel T-5

The article focuses on a number of issues referred to the performance of a training aerodynamic experiment and basic ways of stimulation of the educational process related to this experiment. To realize the above-mentioned it is proposed to update the measuring system of the wind tunnel balance АВТ-5 of the training wind tunnel Т5. While updating this system the hardware of the wind tunnel balance has been improved replacing an element of the tension wire of the balance frame as well as out-dated weight elements of a rider type with advanced strain gage transducers. Major pre- and post modernization characteristics of the measuring system of weights have been compared. It is apparent from the comparison that accuracy of measurements increases from 5 to 0,2 % from the upper bound of measurements while the time required to obtain one point of a polar curve is reduced from 1 min to 2-3 sec.

Keywords: wind tunnel, weight element, wind tunnel balance, accuracy of measurements, polar curve, aerodynamic experiment.