

УДК 533.69.04

А.В. Борзенкова, Г.А. Черепашук

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»,
Харьков, Украина*

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМ ВЗВЕШИВАНИЯ И ЦЕНТРОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Уточнены расчетные схемы для определения центра тяжести вертолетов и самолетов (низкоплана и высокоплана) при взвешивании на платформенных весах с учетом угла наклона строительной горизонтали фюзеляжа и на весах стоечного типа, найдено выражение для погрешности определения центра тяжести летательных аппаратов. Предложено применение метода имитационного физического моделирования при метрологической аттестации систем взвешивания и центровки летательных аппаратов заключающееся в использовании уменьшенной объемной модели самолета. При этом тензодатчики в весоизмерительных каналах системы заменяются на аналогичные, но с меньшим пределом взвешивания и аналогичными точностными характеристиками.

Ключевые слова: центр тяжести, метрологическое обеспечение, имитационное моделирование, система взвешивания и центровки.

Введение

Постановка проблемы. Измерение координат центра тяжести (ЦТ) быстро движущихся механизмов, в частности самолетов и вертолетов играет важную роль [1], так как в области гражданского авиастроения обеспечение необходимого уровня надежности является одним из главных факторов, влияющих на развитие современных пассажирских и грузовых самолетов.

Для повышения уровня безопасности полетов гражданской авиации в соответствии с требованиями ИКАО 9760 необходимо производить взвешивание и определять фактическое положение ЦТ всех самолетов в процессе их эксплуатации (один раз в 4 года), даже если за это время не выполнялись их доработки или ремонты. Кроме того, внеочередному определению массы и центровке подлежат все переоборудованные и доработанные самолеты, а также самолеты до и после ремонта.

Требования НГЛС устанавливают, что обязательным пунктом наземной проверки работоспособности и оценки соответствия требованиям технических характеристик бортовых функциональных систем и оборудования является уточнение массовых характеристик и положения ЦТ самолета.

Своевременное и точное взвешивание и центровка летательных аппаратов позволит снизить уровень авиационных катастроф из-за неправильной загрузки самолетов и вертолетов, а также повысить безопасность полетов.

Анализ последних публикаций и достижений. Известно устройство определения взлетной массы самолета разработанное фирмой «СКАЛЕС» (<http://www.kompass.ru/pub/scales/tech1.htm>), где

точность определения положения центра тяжести определяется точностью определения веса переднего шасси самолета, а также весоизмерительная система для определения смещения центра тяжести груза в железнодорожном вагоне, разработанная НПО «Дискрет» (журнал ПиКАД №3, 2007 с.34), построенная с использованием модулей для тензоизмерений, в которой центр тяжести определяется непосредственно при взвешивании. Недостатком данных систем является то, что при прохождении метрологической аттестации определение метрологических характеристик производится только для весоизмерительных каналов, в то время как аттестация канала измерения координат центра тяжести не производится.

Цель: разработка метрологического обеспечения систем взвешивания и центровки (СВЦ) летательных аппаратов.

Постановка задания:

1. Уточнение расчетные схемы для определения центра тяжести самолетов и вертолетов,
2. Нахождение выражения погрешности определения центра тяжести летательных аппаратов,
3. Разработка метода метрологической аттестации СВЦ летательных аппаратов.

Основной раздел

Измерение координат ЦТ самолетов и вертолетов используется для повышения уровня безопасности полетов гражданской авиации. При практическом определении ЦТ самолета широкое распространение нашел способ взвешивания его на платформенных весах или весах стоечного типа. После измерения составляющих веса самолета расчет координат ЦТ производят по формулам,

приведенным в технической документации на каждый тип самолета, вручную или автоматически на компьютере.

В данной работе уточнены расчетные схемы для определения ЦТ:

– низкоплана (при взвешивании на платформенных весах с учетом угла наклона строительной горизонтали фюзеляжа (СГФ) и на весах стоечного типа), например, таких самолетов, как Як-40, Як-42;

– высокоплана (при взвешивании на платформенных весах с учетом угла наклона СГФ и на весах стоечного типа), например, таких самолетов, как Ан-12, Ан-24, Ан-26, Ил-76, Л-410;

- вертолетов, например, Ми-80, Ми-17, Ми-28.

Координата ЦТ самолета в процентах средней аэродинамической хорды (САХ) определяется по формуле [2]:

$$\overline{X_T} = \frac{X_T}{B_{САХ}} \cdot 100\%,$$

где X_T – расстояние от носка САХ до ЦТ самолета;
 $B_{САХ}$ – длина САХ.

Расчет значения X_T основан на уравнении моментов сил тяжести:

$$\sum M = \sum G_i \cdot x_i = 0.$$

Решение этого уравнения зависит от типа самолета.

Значение X_T является функцией ряда параметров:

$$X_T = f(B_{САХ}, C, D, G, E), \quad (1)$$

где C – геометрические параметры, измеряемые для каждого типа самолета; D – конструктивные параметры, приведенные в технической документации на каждый тип самолета; G – значения сил тяжести, полученные при взвешивании самолета; E – геометрические параметры, регулируемые при взвешивании.

Вид этой функции определяется в зависимости от геометрии и конструктивных особенностей самолета.

Например, для определения ЦТ высокоплана при взвешивании его на платформенных весах с учетом угла наклона СГФ расчетная схема следующая (рис. 1).

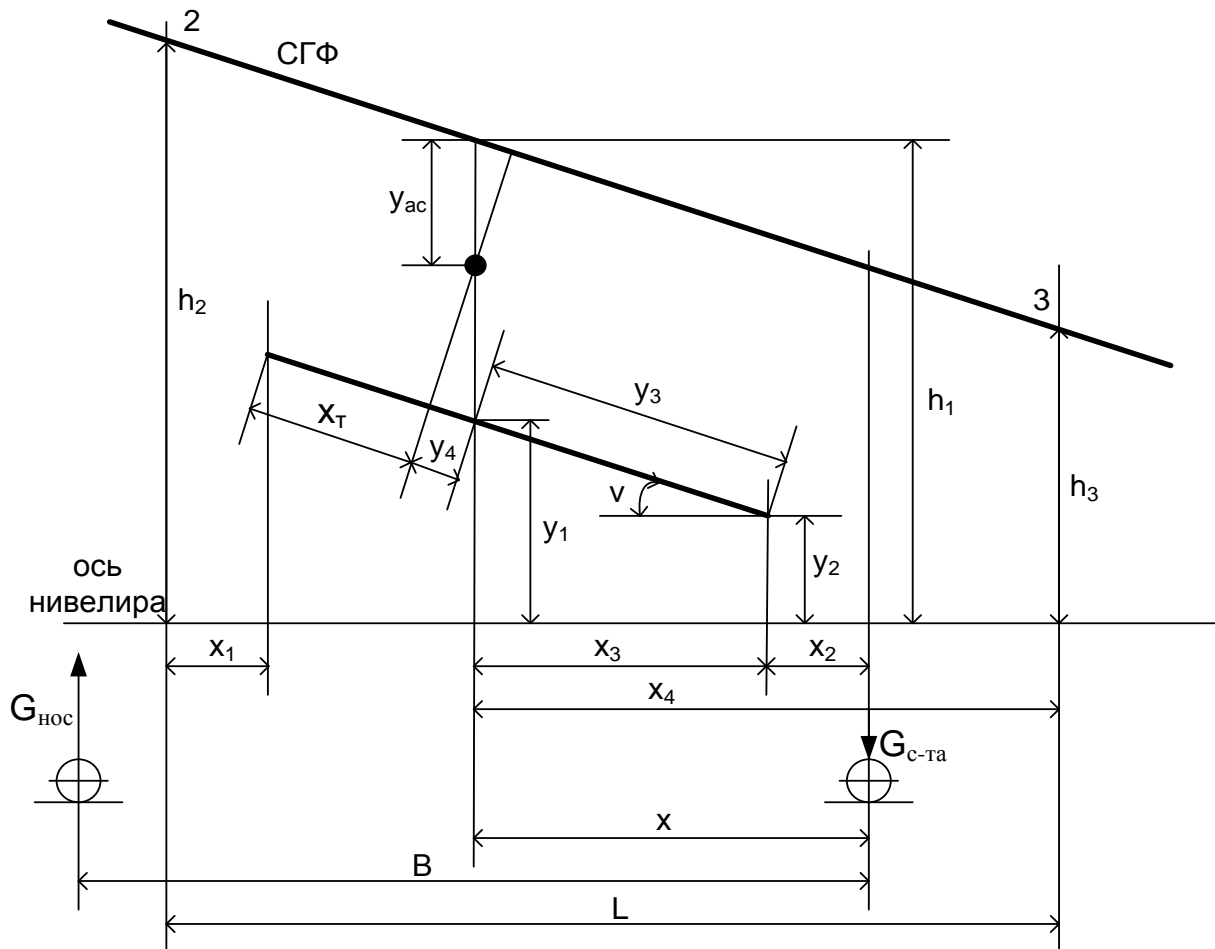


Рис. 1. Расчетная схема для определения ЦТ высокоплана при взвешивании его на платформенных весах

Из уравнения моментов сил тяжести получаем:

$$x = \frac{G_{\text{нос}} - B}{G_{\text{с-га}}}; \quad x_3 = x - x_2;$$

$$x_4 = L - \left(x_1 + \frac{B_{\text{сax}} - y_3}{\cos v} \right);$$

$$y_3 = \frac{x_3}{\cos v}; \quad y_4 = (h_1 - y_{\text{ac}} - y_1) \cdot \sin v;$$

$$\frac{h_1}{h_3} = \frac{L}{x_4}; \quad h_1 = \frac{h_3 \cdot L}{x_4};$$

$$\frac{y_1}{y_2} = \frac{\left(\frac{B_{\text{сax}}}{\cos v} \right)}{x_3}; \quad y_1 = \frac{y_2 \cdot B_{\text{сax}}}{x_3 \cdot \cos v},$$

где $x, x_1, x_2, y, y_1, y_2, h_1, h_2, h_3, B, L$ – геометрические параметры, измеряемые для каждого типа самолета (см. рис. 1).

Расчет координаты ЦТ:

$$\overline{X_T} = \frac{X_T}{B_{\text{сax}}} \cdot 100\% = \frac{B_{\text{сax}} - y_3 - y_4}{B_{\text{сax}}} \cdot 100\% =$$

$$= \frac{B_{\text{сax}} \cdot \cos v - x_1 + x_2 - (h_1 - y_{\text{ac}} - y_1) \cdot \sin v \cdot \cos v}{B_{\text{сax}} \cdot \cos v}.$$

Полученные соотношения используются для автоматического определения ЦТ в СВЦ летательных аппаратов, выпускаемых ООО «Инженерное бюро Авиационного института», г. Харьков.

В качестве примера рассмотрим авиационные тензометрические платформенные комбинированные весы с радиоканалом ВАТ – 5РК (в дальнейшем – Весы), применяемые для статического основного взвешивания и контроля центровки самолетов и вертолетов различных типов массой до 5 тонн. В составе Весов имеется пять одинаковых весоизмерительных платформ грузоподъемностью 1000 кг каждая. Все платформы в своем составе содержат по четыре балочных тензодатчика. Тензорезисторные датчики с узлами встройки установлены в платформах весов. Сигналы с тензорезисторных датчиков в виде напряжений, пропорциональных величине измеряемого веса отдельной оси самолета или вертолета, суммируются в суммирующих коробках и поступают на усилитель и аналогово-цифровой преобразователь блока нормирующего преобразователя платформы весов. Далее, через передающее устройство по радиоканалу каждая платформа передает на приемопередающее устройство весового терминала значение измеренного веса. Весовой терминал обрабатывает полученную информацию и отображает значения веса на дисплее. Весовой терминал может работать в режиме суммирования веса с весоизмерительных платформ, либо в режиме поканального или поплатформенного взвешивания.

Для определения центровки летательного аппарата относительно САХ информация с терминала по интерфейсному кабелю передается на персональный компьютер.

СВЦ летательных аппаратов проходят метрологическую аттестацию на Государственном предприятии «Харьковский региональный научно-производственный центр стандартизации, метрологии и сертификации», однако определение метрологических характеристик осуществляется лишь для каналов измерения веса, в то время как оценка точности определения ЦТ самолетов и вертолетов не производится. Определение положения ЦТ летательных аппаратов производится по существу косвенным методом, следовательно, для нахождения погрешности определения ЦТ необходимо использовать методику определения погрешностей косвенных измерений. В этом случае находят частные производные от функции (1) по соответствующим параметрам:

$$\Delta X_T = \frac{\partial f}{\partial \hat{A}_{\tilde{N}\tilde{A}\tilde{O}}} \cdot \Delta \hat{A}_{\tilde{N}\tilde{A}\tilde{O}} + \frac{\partial f}{\partial \tilde{N}} \cdot \Delta \tilde{N} +$$

$$+ \frac{\partial f}{\partial D} \cdot \Delta D + \frac{\partial f}{\partial G} \cdot \Delta G + \frac{\partial f}{\partial E} \cdot \Delta E,$$

где $\Delta B_{\text{сax}}$ – погрешность определения длины САХ; ΔC – погрешность измерения геометрических параметров самолета; ΔD – погрешность задания конструктивных параметров самолета, приведенных в технической документации; ΔG – погрешность измерения значений сил тяжести, получаемых при взвешивании самолета (определяется в процессе метрологической аттестации); ΔE – погрешность установки регулируемых при взвешивании самолета геометрических параметров.

Такая расчетная оценка точности определения ЦТ самолетов является приближенной и достаточно грубой, поэтому желательно осуществлять прямые измерения координат центра тяжести и сравнивать их с величиной на выходе СВЦ летательных аппаратов. Исходя из этого предлагается производить аттестацию авиационных СВЦ летательных аппаратов с использованием метода имитационного метрологического моделирования [3].

Понятие «метрологическое моделирование» пока не нашло широкого применения в метрологии, несмотря на исключительно важную роль моделирования в измерениях и измерительном контроле. Значение и возможности метрологического моделирования теоретически не раскрыты и, как правило, недостаточно используются на практике. Метод физического моделирования для метрологической аттестации СВЦ летательных аппаратов целесообразно применять так как воспроизведение исследуемого объекта в реальном масштабе практически невозможно.

Метод состоит в создании лабораторной физической модели исследуемого объекта в уменьшенных масштабах и проведение экспериментов на этой модели. Выводы и данные, полученные в этих экспериментах, распространяются затем на объект в реальном масштабе. Метод дает надежные результаты в случае соблюдения подобия реального объекта (самолета) и модели.

Предлагается производить аттестацию СВЦ летательных аппаратов с использованием уменьшенной объемной модели самолета. При этом тензодатчики в измерительном канале весов заменяются на аналогичные, но с меньшим пределом взвешивания и идентичными точностными характеристиками. Определение действительного значения координат центра тяжести уменьшенной объемной модели самолета предлагается осуществлять методом подвешивания, что по существу является прямыми измерениями и вносит наименьшую погрешность. Разность показаний СВЦ летательных аппаратов и действительного значения координат центра тяжести, определенных для уменьшенной объемной модели самолета и будет являться абсолютной погрешностью. По результатам измерений определяются точностные характеристики СВЦ летательных аппаратов.

Применение имитационной физической модели дает ряд преимуществ по сравнению с выполнением экспериментов над реальным летательным аппаратом и использованием других методов, а именно уменьшение стоимости, сокращение затрат времени, повторение эксперимента необходимое число раз, повышение точности, наглядность, а также универсальность данного метода.

Использование уменьшенной объемной модели самолета при метрологической аттестации весов

позволит определить как методическую, так и инструментальную погрешность определения ЦТ самолетов и вертолетов и усовершенствовать метрологическое обеспечение систем взвешивания и центровки летательных аппаратов с определением метрологических характеристик как для каналов измерения веса, так и определения ЦТ.

Вывод

Уточнены расчетные схемы для определения центра тяжести самолетов и вертолетов, а также получено выражение погрешности определения центра тяжести летательных аппаратов. Предложен метод имитационного физического моделирования для метрологической аттестации систем взвешивания и центровки летательных аппаратов.

Дальнейшей перспективой является оценка и учет погрешности, вносимой в результат аттестации систем взвешивания и центровки самолетов и вертолетов при замене реального объекта измерения уменьшенной моделью.

Список литературы

1. Пышинов В.С. *Аэродинамика самолета* / В.С. Пышинов. – М.: ОНТИ НКТП, 1935. – 178 с.
2. *Руководства по эксплуатации самолетов Ил-76, Л 410 УВП – Э.*
3. *МИ 1317–86. Приложение 1 (Справочное) "Конечные цели измерений и измеряемые величины".*

Поступила в редколлегию 29.08.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.И. Кондрашов, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков, Украина.

МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ ЗВАЖУВАННЯ ТА ЦЕНТРІВКИ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

А.В. Борзенкова, Г.О. Черепашук

Уточнено розрахункові схеми для визначення центру ваги вертольотів і літаків (низкоплана і високоплана) при зважуванні на платформних вагах з урахуванням кута нахилу будівельної горизонталі фюзеляжу і на вагах стійкового типу), отримано вираз похибки визначення центру ваги літальних апаратів. Запропоновано застосування методу імітаційного фізичного моделювання при метрологічній атестації систем зважування та центрування літальних апаратів, що полягає в використанні зменшеної об'ємної моделі літака. При цьому тензодатчики у вимірвальних каналах замінюються на аналогічні, але з меншим діапазоном зважування та ідентичними точностними характеристиками.

Ключові слова: центр важкості, метрологічне забезпечення, імітаційне моделювання, система зважування та центровки.

METROLOGICAL ASSURANCE OF AIRCRAFT'S WEIGHTING AND CENTERING SYSTEM

A.V. Borzenkova, G.A. Cherepashuk

Calculation scheme's specifying in determining the center of gravity for aircraft's at weighing on platform scales and rack-mount scales are presented. The error expression for center of gravity's determination is demonstrated. The application of physical imitation modeling in metrological certification for weighing & centering system which use the scaled model of aircraft is offered. Due to replacement of original aircraft to scaled model, we use the strain sensors with reduced weighing limit and the same accuracy characteristics.

Keywords: center of gravity, metrological assurance, simulation, weighting and centering system.