

Прикладні аспекти: геометричні і механічні вимірювання

УДК 533.69.04

А.В. Борзенкова, Г.А. Черепашук

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

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ АТТЕСТАЦИИ СИСТЕМ ВЗВЕШИВАНИЯ

Уточнены расчетные схемы для определения положения центра тяжести летательных аппаратов и оценена точность измерения, что позволило повысить надежность работы систем взвешивания и центровки летательных аппаратов. Оценена неопределенность измерения положения центра тяжести летательных аппаратов. Рассмотрено понятие метрологического моделирования. Установлены метрологические критерии подобия модели и исследуемого объекта. Дана классификация и описаны основные этапы построения метрологических моделей, как основы процесса моделирования. Предложено применение метода метрологического моделирования при метрологической аттестации систем взвешивания и центровки летательных аппаратов.

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

Введение

Постановка проблемы. Центровка летательных аппаратов является одним из основных факторов обеспечения необходимого уровня надежности и безопасности полетов [1]. Своевременное и точное взвешивание и центровка летательных аппаратов позволяет снизить уровень авиационных катастроф из-за неправильной загрузки самолетов и вертолетов, а также повысить безопасность полетов.

Системы взвешивания и центровки летательных аппаратов проходят метрологическую аттестацию (МА) с определением метрологических характеристик лишь для каналов измерения веса, в то время как оценка точности определения положения центра тяжести (ЦТ) самолетов и вертолетов пока не производится. Для полной МА таких систем необходимо иметь эталонный объект (самолет) с точно известным положением центра тяжести, но воспроизведение такого объекта в реальном масштабе практически невозможно. Исходя из этого, предлагается применять метод метрологического моделирования при МА таких систем с заменой исследуемого объекта упрощенной уменьшенной моделью.

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.

Анализ последних публикаций и достижений. В существующих системах для определения веса и положения центра тяжести самолетов и вертолетов, разработанных НПО «Дискрет» [2], фирмами «АКСИС», «СКАЛЕС» [3], ООО «Инженерное бюро авиационного института» [4], при МА не определяется погрешность ЦТ (погрешность центровки).

Целью статьи является обоснование применения метода метрологического моделирования при метрологической аттестации систем взвешивания и центровки летательных аппаратов и оценка точности измерения положения центра тяжести самолетов и вертолетов.

Основной раздел

Метрологическое моделирование

Моделирование – метод экспериментального и/или аналитического изучения различных явлений, процессов и изделий, основанный на их подобии. При моделировании необходимо соблюдение критериев подобия. Критерий подобия – безразмерная величина, составленная из размерных параметров, определяющих рассматриваемое явление, процесс или изделие. Разновидностью моделирования является метод метрологического моделирования. В данном случае под подобием подразумевается соблюдение соответствия не только физических критериев подобия, но также и нормируемых метрологических характеристик. Рассмотрим их более подробно.

Соблюдение равенства физических критериев подобия необходимо при физическом моделирова-

нии. Физическое моделирование – метод экспериментального изучения различных физических явлений, процессов и изделий, основанный на их физическом подобии. Метод состоит в замене изучения интересующего исследователя явления (объекта), протекающего в натуре, изучением аналогичного (подобного) явления на модели, как правило, меньшего или большего размера (т.е. на модели со значениями определяющих параметров этого объекта, удобно достижимыми в эксперименте) обычно в специальных лабораторных условиях [5]. Выводы и данные, полученные в таких экспериментах, распространяются затем на объект в реальном масштабе. Метод дает надежные результаты в случае соблюдения физического подобия реального объекта и модели.

Нормируемые метрологические характеристики (МХ), как часть метрологических критериев подобия, могут включать [6]:

- МХ для определения результатов измерений;
- МХ погрешностей средств измерений;
- МХ чувствительности средств измерений к влияющим факторам;
- динамические характеристики средств измерений;
- МХ средств измерений, отражающие их способность влиять на инструментальную составляющую погрешности измерений;
- неинформативные параметры выходного сигнала.

Таким образом, целесообразно ввести термин «метрологическое подобие», который объединит в себе как физические, так и метрологические критерии подобия, соблюдение которых необходимо при метрологическом моделировании.

Критерии подобия можно разделить на существенные и несущественные в зависимости от влияния, которое они оказывают на параметры объекта и модели. Исходя из этого, метрологическое подобие получается полным и частичным. Полное метрологическое подобие достигается в случае учета всех критериев подобия, как существенных, так и несущественных. Частичное метрологическое подобие достигается при соблюдении только существенных на данном этапе исследования критериев подобия.

На практике обеспечить полное равенство в объекте и его модели критериев подобия чрезвычайно трудно, если только не делать модель тождественной объекту моделирования. Поэтому используется приближенное моделирование, при котором второстепенные процессы, происходящие в объекте, либо не моделируются совсем, либо моделируются приближенно. Следовательно, чаще целесообразно использовать частичное подобие при применении метода метрологического моделирования.

Метод сводится к построению и изучению метрологических моделей объекта исследования.

«Метрологическая модель объекта» – чрезвычайно сложное и многогранное понятие. Поэтому построить общую классификацию таких моделей, охватывающую все классификационные признаки (критерии классификации), практически невозможно.

Более рационально использовать дифференцированный подход, который базируется на построении частных классификаций с использованием отдельных, наиболее важных классификационных признаков, необходимость использования которых может возникать в ходе решения различных измерительных задач. Одна из важнейших классификаций метрологических моделей по их назначению [7] представлена на рис. 1.

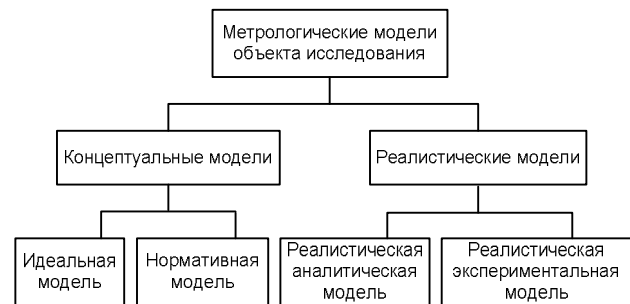


Рис. 1. Классификаций метрологических моделей по их назначению

Построение метрологических моделей осуществляется в несколько этапов. Первый этап построения модели предполагает наличие некоторых знаний об объекте-оригинале. Познавательные возможности модели обуславливаются тем, что модель отображает (воспроизводит, имитирует) какие-либо существенные черты объекта-оригинала. Вопрос о необходимой и достаточной мере сходства оригинала и модели требует конкретного анализа. Очевидно, модель утрачивает свой смысл как в случае тождества с оригиналом (тогда она перестает быть моделью), так и в случае чрезмерного во всех существенных отношениях отличия от оригинала. Таким образом, изучение одних сторон моделируемого объекта осуществляется ценой отказа от исследования других сторон. Поэтому любая модель замещает оригинал лишь в строго ограниченном смысле. Из этого следует, что для одного объекта может быть построено несколько «специализированных» моделей, концентрирующих внимание на определенных сторонах исследуемого объекта или же характеризующих объект с разной степенью детализации.

На втором этапе модель выступает как самостоятельный объект исследования. Одной из форм такого исследования является проведение «модельных» экспериментов, при которых сознательно изменяются условия функционирования модели и систематизируются данные о её «поведении». Конечным результатом этого этапа является множество (совокупность) знаний о модели.

На третьем этапе осуществляется перенос знаний с модели на оригинал - формирование множества знаний. Одновременно происходит переход с «языка» модели на «язык» оригинала. Процесс переноса знаний проводится по определенным правилам. Знания о модели должны быть скорректированы с учетом тех свойств объекта-оригинала, которые не нашли отражения или были изменены при построении модели.

Четвёртый этап – практическая проверка получаемых с помощью моделей знаний и их использование для построения обобщающей теории объекта, его преобразования или управления им.

Моделирование — циклический процесс. Это означает, что за первым четырёхэтапным циклом может последовать второй, третий и т. д. При этом знания об исследуемом объекте расширяются и уточняются, а исходная модель постепенно совершенствуется. Недостатки, обнаруженные после первого цикла моделирования, обусловленные малым знанием объекта или ошибками в построении модели, можно исправить в последующих циклах.

Определение положения ЦТ самолетов и вертолетов и оценка точности измерения

При практическом определении ЦТ самолета широкое распространение нашел способ взвешивания его на платформенных или стоечных весах [8]. После измерения составляющих веса самолета расчет координат ЦТ производят по формулам, приведенным в технической документации на каждый тип самолета, вручную или автоматически на компьютере.

Стандартные расчетные схемы для определения положения ЦТ летательных аппаратов сложны и их использование достаточно трудоемко и не дает высокой точности. Оценка точности определения ЦТ самолетов и вертолетов с применением таких схем является приближенной и достаточно грубой. Следовательно, необходимо усовершенствовать способ расчета положения ЦТ, а значит повысить точность центровки летательных аппаратов.

Предлагается для определения ЦТ летательных аппаратов в расчетных схемах использовать условное начало координат, находящееся в определенных фиксированных точках в зависимости от типа самолета. Условное начало координат (О) может находиться впереди или позади передних либо задних стоек шасси самолета. В зависимости от этого возможны четыре варианта расчетных схем и соответственно формул для нахождения положения ЦТ [9]. Оно характеризуется расстоянием от точки условного начала координат до точки ЦТ. Прежде всего, определяются моменты сил тяжести относительно оси переднего или заднего шасси самолета. Затем, сумма моментов делится на полный вес самолета [10]:

$$\bar{X}_T = \sum M/G_{\Sigma}.$$

Координата \bar{X}_T является функцией геометрических и весовых параметров:

$$\bar{X}_T = f(\bar{L}, \bar{G}). \quad (1)$$

Для нахождения положения ЦТ самолета в процентах от длины средней аэродинамической хорды крыла (САХ), необходимо полученные значения \bar{X}_T привести в соответствие с требованиями НТД. Для этого необходимо:

– при нахождении условного начала координат в крайней передней точке САХ \bar{X}_T разделить на $\cos\alpha$ (угол наклона САХ к строительной горизонтали фюзеляжа) и подставить полученное значение \bar{X}_T' в выражение:

$$\bar{X}_T \% = \frac{\bar{X}_T'}{B_{САХ}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где $B_{САХ}$ — длина САХ;

– при нахождении условного начала координат в крайней задней точке САХ из $B_{САХ}$ вычесть \bar{X}_T , разделить полученное значение на $\cos\alpha$ и подставить в выражение (2).

Предложенный способ расчета положения ЦТ самолета проще традиционного, так как требует измерения меньшего количества геометрических параметров.

Была оценена неопределенность измерения положения ЦТ летательных аппаратов на примере легкого моноплана [9]. С учетом равномерного закона распределения, неопределенность по типу В равна:

$$u_{B,L} = \frac{0,005}{\sqrt{3}} = 0,003 \text{ м}; \quad u_{B,l} = \frac{0,005}{\sqrt{3}} = 0,003 \text{ м};$$

$$u_{B,G_{\text{нос}}} = \frac{0,5}{\sqrt{3}} = 0,29 \text{ кг}; \quad u_{B,G_{\Sigma}} = \frac{0,5}{\sqrt{3}} = 0,29 \text{ кг}.$$

где $U_{B,L}$, $U_{B,G_{\Sigma}}$, $U_{B,G_{\text{нос}}}$, $U_{B,l}$ – неопределенности по типу В измерения расстояния между опорами переднего (носового) и заднего шасси самолета, расстояния от условного начала координат до опоры шасси, измеряемое для каждого типа самолета, значения веса, приходящегося на носовую опору шасси, и полного веса самолета соответственно. Суммарная стандартная неопределенность по типу В:

$$u_{c,B} = \sqrt{\left(-G_{\text{нос}}/G_{\Sigma}\right)^2 \cdot u_{B,L}^2 + u_{B,l}^2 + \left(-L/G_{\Sigma}\right)^2 \times u_{B,G_{\text{нос}}}^2 + \left(-G_{\text{нос}} \cdot L/G_{\Sigma}^2\right)^2 \cdot u_{B,G_{\Sigma}}^2} = 0,003 \text{ м}.$$

где l – расстояние от условного начала координат до опоры заднего шасси; L – расстояние между опорами переднего и заднего шасси самолета; $G_{\text{нос}}$ – значение силы тяжести, приходящееся на носовую опору шасси; G_{Σ} – суммарное значение силы тяжести самолета (полный вес самолета). Полученный результат показывает, что использование предложенных расчетных схем позволяет обеспечить точность, соответствующую требованиям НТД.

Метрологическая аттестация систем взвешивания и центровки летательных аппаратов

Метод метрологического моделирования, основанный на построении реалистической экспериментальной модели, целесообразно применять для МА средств измерительной техники, так как воспроизведение исследуемого объекта в реальном масштабе часто является практически невозможным либо затруднительным. При этом необходимо и достаточно соблюдение соответствия метрологических критериев подобия определяющих параметров (частичное метрологическое подобие) объекта и реалистической экспериментальной модели.

Метод метрологического моделирования предполагается использовать при МА систем взвешивания и центровки летательных аппаратов. При использовании уменьшенной упрощенной объемной модели самолета с точно известным и регулируемым положением центра тяжести можно найти погрешность, как разность показаний системы взвешивания и центровки и действительного значения координаты ЦТ, определенной для модели. Тензодатчики в измерительных каналах весов заменяются на аналогичные, но с меньшим верхним пределом взвешивания и идентичными точностными характеристиками.

Определение действительного значения координат ЦТ уменьшенной упрощенной объемной модели самолета предлагается осуществлять расчетным методом или прямым методом путем подвешивания модели, что даст минимальную погрешность.

Использование упрощенной объемной модели самолета при МА систем взвешивания и центровки летательных аппаратов позволит определить их точностные характеристики и усовершенствовать метрологическое обеспечение таких систем с определением метрологических характеристик как для каналов измерения веса, так и для определения положения центра тяжести.

Следует отметить, что при замене реального эталонного объекта (самолета с точно известным положением ЦТ) моделью возникает погрешность из-за неадекватности модели и реального самолета, а также из-за замены тензодатчиков в измерительных каналах на подобные.

Выводы

Введен термин «метрологическое подобие», который объединил в себе наряду с критериями

подобия, необходимыми при физическом моделировании, метрологические критерии подобия, соблюдение которых необходимо при метрологическом моделировании.

Применение метода метрологического моделирования при МА средств измерительной техники является достаточно универсальным и дает ряд преимуществ по сравнению с выполнением экспериментов над реальным объектом или использованием других методов, а именно: уменьшение стоимости, сокращение затрат времени, повторение эксперимента необходимое число раз, повышение точности и наглядности.

Целью дальнейших исследований является оценка неопределенности, вносимой в результат аттестации систем взвешивания и центровки самолетов и вертолетов при замене реального эталонного объекта его уменьшенной моделью и нахождение ее зависимости от метрологических критериев подобия.

Список литературы

1. Требования Federal Aviation Administration [Электронный ресурс] – Режим доступа к документу: <http://www.faa.gov/aircraft>.
2. НПП «Мера» – 15 лет на рынке измерительной техники // ПИКАД. – 2007. – №3. – С. 34
3. Сайт kompass.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.kompass.ru/pub/scales/tech1.htm>
4. Завада А. Ваговимірювальні системи з безроторними лініями зв'язку / А. Завада, Г. Черепашук // Метрологія та прилади. – 2009. – № 3. – С. 26-32.
5. Тирский Г.А. Подобие и физическое моделирование / Г.А. Тирский // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – Т. 7, № 5. – С. 122-127.
6. Горбоконенко В.Д. Метрология в вопросах и ответах / В.Д. Горбоконенко, В.Е. Шикина. – Ульяновск: УлГТУ, 2005. – 196 с.
7. Соколовский С.С. Метрологическое моделирование как основа проектирования и реализации методик выполнения измерений / С.С. Соколовский, Д.В. Соломахо, Б.В.Цитович // Приборы и методы измерений. – 2010. – № 1. – С. 147-152.
8. Гаузнер С.И. Самолетные весы и взвешивание самолетов/ С.И. Гаузнер. – М.: Оборонгиз, 1989. – 50 с.
9. Борзенкова А.В. Оценка неопределенности измерения положения центра тяжести летательных аппаратов / А.В. Борзенкова, Г.А. Черепашук // Системи обробки інформації. – 2012. – Вип. 1(99). – С. 55-58.
10. Строганов А.Г. Центровка самолета / А.Г. Строганов. – М.: Оборонгиз, 1940. – 80 с.

Поступила в редколлегию 7.02.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. И.П.Захаров, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Харьков.

МЕТРОЛОГІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ АТЕСТАЦІЇ СИСТЕМ ЗВАЖУВАННЯ

А.В. Борзенкова, Г.О. Черепашук

Уточнені розрахункові схеми для визначення положення центра ваги літальних апаратів і оцінена точність вимірювання, що дозволило підвищити надійність роботи систем зважування та центрування літальних апаратів. Оцінена невизначеність вимірювання положення центру ваги літальних апаратів. Розглянуто поняття метрологічного моделювання. Встановлені метрологічні критерії подібності моделі і досліджуваного об'єкта. Дана класифікація та описані

основні етапи побудови метрологічних моделей, як основи процесу моделювання. Запропоновано застосування методу метрологічного моделювання при метрологічній атестації систем зважування та центрування літальних апаратів.

Ключові слова: центр ваги, невизначеність, метрологічне забезпечення, метрологічне моделювання, система зважування та центровки.

THE METROLOGICAL MODELING AT THE CERTIFICATION OF WEIGHING SYSTEM

A.V. Borzenkova, G.A. Cherepaschuk

The calculation schemes for determining the gravity center position of aircrafts were refined and the measurement accuracy was estimated, thus the reliability of weighing systems and balance of aircraft were improved. The measurement uncertainty of the gravity center position of aircrafts was evaluated. The metrological modeling concept was considered. Metrological similarity criteria of the model and the object under study were established. The classification was presented and the main steps of building the metrological models as a basis of the modeling process were described. The application of the modeling method at metrological certification of weighing and centering systems was offered.

Keywords: the gravity center, the uncertainty, the metrological certification, the metrological modeling, the weighting and centering system.