

5. Абрамов, Н. Н. Теория и методика расчета систем подачи и распределения воды [Текст] / Н. Н. Абрамов. — М.: Стройиздат, 1985. — 288 с.
6. Меренков, А. П. Теория гидравлических цепей [Текст] / А. П. Меренков, В. Я. Хасилев. — М.: Наука, 1985. — 279 с.
7. Евдокимов, А. Г. Моделирование и оптимизация потокораспределения в инженерных сетях [Текст] / А. Г. Евдокимов, А. Д. Тевяшев, В. В. Дубровский. — М.: Стройиздат, 1990. — 368 с.
8. Дядюн, С. В. Оптимизация потокораспределения в системах водоснабжения с большим числом активных источников [Текст] / С. В. Дядюн // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. — Харьков, ХНУРЭ, 2001. — Вып. 115. — С. 36–40.
9. Дядюн, С. В. Моделирование и рациональное управление системами водоснабжения при минимальном объеме оперативной информации [Текст] / С. В. Дядюн // Радиоэлектроника и информатика. — Харьков, ХНУРЭ, 2002. — № 20. — С. 111–115.
10. Дядюн, С. В. Оценка качества и эффективности управления системами водоснабжения в зависимости от степени неопределенности модели объекта [Текст] / С. В. Дядюн // Радиоэлектроника и информатика. — Харьков, ХНУРЭ, 2001. — № 17. — С. 78–81.

#### МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ СПІЛЬНО З АКТИВНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ТА РЕГУЛЮЮЧИМИ ЄМКОСТЯМИ

Представлено математичну модель усталеного потокорозподілу в системах водопостачання, що включають в себе водо-

провідну мережу спільно з працюючими на ній насосними станціями і регулюючими ємностями. Розроблена математична модель використовується при управлінні системами водопостачання для розв'язання задач аналізу потокорозподілу в мережі при реалізації управляючих дій на насосних станціях.

**Ключові слова:** управління, критерій, якість, ефективність, модель, функціонування, система водопостачання, насосна станція.

*Дядюн Сергей Васильевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра прикладной математики и информационных технологий, Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А. Н. Бекетова, Украина, e-mail: daulding@mail.ru.*  
*Штельма Ольга Николаевна, старший преподаватель, кафедры прикладной математики и информационных технологий, Харьковский национальный университет городского хозяйства им. А. Н. Бекетова, Украина, e-mail: olga.shtelma@gmail.com.*

*Дядюн Сергій Васильович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра прикладної математики і інформаційних технологій, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, Україна.*

*Штельма Ольга Миколаївна, старший викладач, кафедра прикладної математики і інформаційних технологій, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, Україна.*

*Dyadun Sergey, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine, e-mail: daulding@mail.ru.*

*Shtelma Olga, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine, e-mail: olga.shtelma@gmail.com*

УДК 533.69.04

**Борзенкова А. В.,  
Черепашук Г. А.**

## КАЛИБРОВКА СИСТЕМ ВЗВЕШИВАНИЯ И ЦЕНТРОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

*Рассмотрено понятие метрологического моделирования. Установлены метрологические критерии подобия модели и исследуемого объекта. Обосновано применение метода метрологического моделирования при калибровке систем взвешивания и центровки летательных аппаратов. Разработана реалистическая экспериментальная модель летательного аппарата для калибровки систем взвешивания и центровки.*

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

### 1. Введение

При эксплуатации летательных аппаратов (ЛА) необходимо производить их взвешивание и определять положение центра тяжести (ЦТ) для обеспечения необходимого уровня надежности и безопасности полетов [1]. В соответствии с требованиями ИКАО 9760 (ICAO — International Civil Aviation Organization) и Federal Aviation Administration, а также НГЛС (Нормы летной годности самолетов) 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 пос-

ле ремонта. Взвешивание и центровку ЛА необходимо производить для подтверждения того, что вес находится в допустимых пределах и координаты центра тяжести лежат в допустимом диапазоне. Для этого используют системы взвешивания и центровки ЛА [2].

При метрологических испытаниях таких систем их точность оценивается только в режиме измерения поканального веса, а в режиме определения положения ЦТ летательного аппарата точность не оценивается.

### 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

В существующих системах для определения веса и положения центра тяжести самолетов и вертолетов, разработанных НПО «Дискрет» [3], фирмами «АКСИС»,

«СКАЛЕС» [4], ООО «Инженерное бюро Авиационного института» [5] при испытаниях не определяется погрешность измерения положения ЦТ (погрешность центровки). Для этого необходимо иметь эталонный объект (самолет) с точно известным положением центра тяжести, но воспроизведение такого объекта в реальном масштабе практически невозможно. Исходя из этого, целесообразно применять метод метрологического моделирования с заменой исследуемого объекта упрощенной уменьшенной моделью.

Целью статьи является обоснование применения метода метрологического моделирования при метрологических испытаниях систем взвешивания и центровки ЛА и оценка точности измерения положения центра тяжести самолетов и вертолетов.

### 3. Результаты исследований метода метрологического моделирования для метрологических испытаний систем взвешивания и центровки ЛА

Системы взвешивания и центровки ЛА калибруются с определением метрологических характеристик лишь для каналов измерения веса, в то время как оценка точности определения положения центра тяжести самолетов и вертолетов пока не производится [6]. Для полного исследования 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 с заменой исследуемого объекта упрощенной уменьшенной моделью.

Метрологическое моделирование — метод экспериментального и/или аналитического изучения различных явлений, процессов и изделий, основанный на их подобии [7]. В данном случае под подобием подразумевается соблюдение соответствия не только физических критериев подобия, но также и нормируемых метрологических характеристик [8]. Таким образом, целесообразно использовать термин «метрологическое подобие», который объединит в себе как физические, так и метрологические критерии подобия.

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 — при соблюдении только существенных на данном этапе исследования критериев подобия. На практике обеспечить полное равенство критериев подобия в объекте и его модели 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, при применении метода метрологического моделирования чаще целесообразно использовать частичное подобие.

Метод сводится к построению и изучению метрологических моделей объекта исследования. Метрологические модели по назначению можно разделить на

концептуальные и реалистические [9]. Реалистические модели в свою очередь делятся на аналитические и экспериментальные.

Метод метрологического моделирования, основанный на построении реалистической экспериментальной модели, целесообразно применять при калибровке систем взвешивания и центровки ЛА, так как воспроизведение исследуемого объекта в реальном масштабе практически невозможно. При этом необходимо и достаточно соблюдение соответствия метрологических критериев подобия определяющих параметров [10] (частичное метрологическое подобие) объекта и реалистической экспериментальной модели.

Была разработана физическая модель ЛА, упрощенная схема которой представлена на рис. 1.

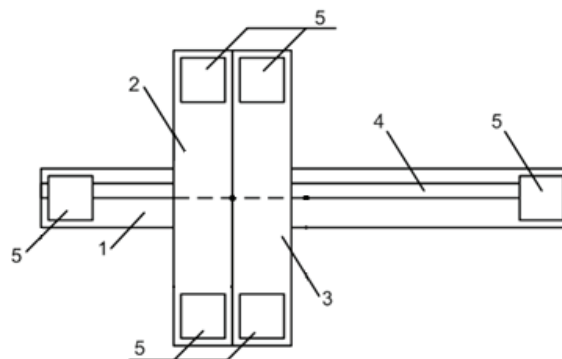


Рис. 1. Упрощенная схема физической модели ЛА

Физическая модель состоит из продольной балки 1 с нанесенной на нее линейкой-шкалой 4 и поперечной балки 2, которая свободно перемещается по балке 1 и может быть точно зафиксирована на ней в заданном положении. На концах балок предусмотрены места 5 для нагружения модели образцовыми грузами. Таким образом, создается возможность путем перемещения поперечной балки, имитирующей крылья ЛА, вдоль продольной балки, имитирующей фюзеляж ЛА, и нагружения балок в фиксированных точках образцовыми грузами регулировать положение центра тяжести физической модели объекта измерений. Концы поперечной балки (в точках приложения дополнительной нагрузки) и начало продольной балки устанавливаются на тензорезисторные датчики силы. Тензорезисторные датчики модели имеют такие же точностные характеристики, как и датчики системы взвешивания и центровки, которая калибруется, но меньший в определенное число раз по сравнению с ними диапазон измерения и заменяют их. Таким образом, модель имеет три опоры, как у большинства самолетов, соответствующие шасси носовой части и левому и правому задним шасси. При необходимости калибровки систем с большим количеством опор к конструкции может быть добавлена еще одна поперечная балка 3 с такими же конструктивными и точностными параметрами, как у первой балки. Точность характеристик предлагаемой модели определяется геометрическими и весовыми параметрами и зависит от точности задания веса и геометрических размеров ее конструкции.

В процессе калибровки системы взвешивания и центровки ЛА ее нормирующие преобразователи отключаются от выходов датчиков ее весоизмерительных платформ или стоек и соединяются с тензорезисторными датчиками

модели. Испытания производятся при нескольких положениях поперечной балки, контролируемых по шкале линейки, и нескольких значениях веса, задаваемых образцовыми грузами. Полученные по показаниям системы положения ЦТ сравниваются с образцовыми значениями, найденными путем расчета. Расчет осуществляется по достаточно простым и точным математическим соотношениям, соответствующим конструктивной схеме модели. Сравнение измеренных значений положения ЦТ с образцовыми и позволяет оценить статические характеристики преобразования и точность исследуемой системы. Вычисляется результирующая погрешность с учетом погрешности физической модели и погрешности замены реального объекта моделью.

Благодаря простоте модели и возможности точного определения ее параметров обеспечивается высокая точность калибровки систем взвешивания и центровки ЛА.

#### 4. Выводы

1. Обосновано применение метода метрологического моделирования при калибровке систем взвешивания и центровки летательных аппаратов.

2. Разработана реалистичная экспериментальная модель летательного аппарата для калибровки систем взвешивания и центровки.

#### Литература

1. Требования Federal Aviation Administration [Электронный ресурс]. — Режим доступа: \www/URL: <http://www.faa.gov/aircraft>
2. Гаузнер, С. И. Самолетные весы и взвешивание самолетов [Текст] / С. И. Гаузнер. — М.: Оборонгиз, 1989. — 50 с.
3. Романов, А. Н. Определение смещения центра тяжести груза в железнодорожном вагоне [Текст] / А. Н. Романов, Ф. И. Гиревка, Д. Г. Заворотный; НПО «ДИСКРЕТ» // ПИКАД. — 2007 — № 3 — С. 34–38.
4. Весовое оборудование для статического взвешивания летательных аппаратов фирмы Аксис [Электронный ресурс]. — Режим доступа: \www/URL: [http://axis-ua.com/catalog\\_ru/c\\_165/p\\_471.html](http://axis-ua.com/catalog_ru/c_165/p_471.html)
5. Завада, А. Ваговимірювальні системи з бездротовими лініями зв'язку [Текст] / А. Завада, Г. Черепашук // Метрологія та прилади. — 2009. — № 3. — С. 26–32.
6. Борзенкова, А. В. Оценка неопределенности измерения положения центра тяжести летательных аппаратов [Текст] / А. В. Борзенкова, Г. А. Черепашук // Системы обработки информации. — 2012. — Вып. 1(99). — С. 55–58.

7. Тирский, Г. А. Подобие и физическое моделирование [Текст] / Г. А. Тирский // Соросовский образовательный журнал. — 2001. — № 5, Том 7. — С. 122–127.
8. Горбоконенко, В. Д. Метрология в вопросах и ответах [Текст] / В. Д. Горбоконенко, В. Е. Шикина. — Ульяновск: УЛГТУ, 2005. — 196 с.
9. Соколовский, С. С. Метрологическое моделирование как основа проектирования и реализации методик выполнения измерений [Текст] / С. С. Соколовский, Д. В. Соломахо, Б. В. Цитович // Приборы и методы измерений. — 2010. — № 1. — С. 147–152.
10. ГОСТ 8.009-84. Издания. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений [Текст]. — Взамен ГОСТ 8.009-72; введ. 01.01.86. — М.: Изд-во стандартов, сор. 1988. — 38 с.

#### КАЛІБРУВАННЯ СИСТЕМ ЗВАЖУВАННЯ ТА ЦЕНТРУВАННЯ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

Розглянуто поняття метрологічного моделювання. Встановлено метрологічні критерії подібності моделі і досліджуваного об'єкта. Обґрунтовано застосування методу метрологічного моделювання при калібруванні систем зважування та центрування літальних апаратів. Розроблено реалістичну експериментальну модель літального апарату для калібрування систем зважування та центрування.

**Ключові слова:** центр ваги, калібрування, метрологічне моделювання, система зважування та центровки.

*Борзенкова Анна Викторовна, аспірант, кафедра авіаційних приборів і измерень, Національний аерокосмічний університет ім. Н. Е. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Україна, e-mail: [Ane4ka\\_Borzenkova@mail.ru](mailto:Ane4ka_Borzenkova@mail.ru).*

*Черепашук Григорій Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра авіаційних приборів і измерень, Національний аерокосмічний університет ім. Н. Е. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Україна, e-mail: [Cherepaschuk@bigmir.net](mailto:Cherepaschuk@bigmir.net).*

*Борзенкова Ганна Вікторівна, аспірант, кафедра авіаційних приладів та вимірювань, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Україна.*

*Черепашук Григорій Олександрович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра авіаційних приладів та вимірювань, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Україна.*

*Borzenkova Anna, National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Ukraine, e-mail: [Ane4ka\\_Borzenkova@mail.ru](mailto:Ane4ka_Borzenkova@mail.ru).  
Cherepaschuk Gregory, National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Ukraine, e-mail: [Cherepaschuk@bigmir.net](mailto:Cherepaschuk@bigmir.net)*