

КОНЦЕПЦИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ЗНАЧЕНИЙ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С ИЗМЕНЯЕМЫМИ МАССОГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ

А.В. Фёдоров

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)**

В процессе отработки летательного аппарата существует этап оценки реальных значений его аэродинамических и массогеометрических характеристик. Аэродинамические характеристики определяются в ходе экспериментов в аэродинамической трубе, либо на стендах, построенных по схеме «разгонной тележки». В этом случае в потоке воздуха движется сам летательный аппарат или его модель. Подобный способ был успешно применен еще в XIX веке. В «Записках Русского технического общества» за 1883 год был описан прибор, которым пользовался А.Ф. Можайский при своих опытах [1]. Этот испытательный прибор представляет собой четырехколесную тележку, на которой установлена пирамида из стержней. К вершине пирамиды шарнирно крепилась труба, внутри которой вставлена другая трубка, способная скользить в первой. На выдвигающейся трубке устанавливаются под любым углом модель крыла. При движении тележки возникают аэродинамические силы, приводящие к перемещению крыла вместе с трубкой относительно пирамиды. Величина перемещения могла быть легко измерена и, таким образом, выполнялась оценка величины аэродинамической (подъемной) силы. Инерционные характеристики или, как их ещё называют, массогеометрические характеристики (МГХ) летательных аппаратов – масса, координаты центра масс, моменты инерции, осевые и центробежные – определяются, как правило, на специальных стендах.

Положение центра масс (ЦМ) может быть определено как в статическом (гравитационном), так и в динамическом режиме. В [2] выделяются три основных класса существующих стендов для контроля массы и статических моментов изделия. Первый класс объединяет методы и средства контроля, основанные на измерении реакций в опорах приспособления с изделием на стенде. Второй класс объединяет методы и средства контроля, основанные на уравнивании изделия с приспособлением относительно опор стенда. Третий класс объединяет методы и средства контроля, основанные на измерении углов равновесия приспособления с изделием на стенде. Существуют также методы и средства контроля, основанные на комбинации перечисленных выше методов.

Экспериментальное определение моментов инерции (МИ) возможно только динамическими методами. Динамические методы определения МИ аналогично динамическим методам определения массы тела можно разделить на две группы. В методах первой группы тело под действием приложенной к нему системы моментов пар сил совершает равноускоренное движение вокруг заданной оси. Измеряется величина углового ускорения и по известной величине действующего момента пар сил, рассчитывается МИ тела относительно заданной оси вращения. В методах второй группы тело совершает свободные, близкие к гармоническим, угловые колебания вокруг заданной оси под действием позиционных моментов пар сил (моментов пар сил упругости специальных упругих элементов, входящих в состав колебательной системы, гравитационных сил). Измеряется частота колебаний или период колебаний тела, известной жесткости упругих элементов и ускорению свободного падения рассчитывается величина момента инерции относительно оси угловых колебаний тела.

Эффективность стендового оборудования может быть оценена по точности определения МГХ, производительности, стоимости единицы оборудования. Большое влияние на точность определения МГХ оказывает способ базирования изделия на стенде. Базирующее приспособление должно обеспечить однозначное и известное положение конструкторской системы координат (КСК) изделия относительно измерительной системы координат (ИСК) стенда. По-

грешность определения МГХ, обусловленную неопределенностью положения КСК изделия при его установках на разных стендах, можно уменьшить за счет определения нескольких МГХ за один установ изделия.

В [2] предлагаются пути решения этой задачи – увеличение числа технологических степеней свободы (СС) в конструкции стендов и придание СС одновременно измерительных и технологических функций, то есть совмещение их функционального назначения. Это значительно упрощает конструкцию стенда за счет сокращения количества элементов, участвующих в измерениях, и приводит к повышению точности измерений. Кроме того, одна ИСК может служить для определения нескольких МГХ. Такая возможность появляется при реализации на стенде различных режимов движения изделия (совмещение статических – гравитационных и динамических методов) по одной координате.

Метод измерения МГХ, используемый в автоматизированном комплексе, описанном в [3], основан на измерении углов равновесия, которые автоматически занимает изделие под действием гравитационного поля. При этом четыре угла равновесия содержат в себе полную информацию о массе и трех координатах ЦМ изделия, а периоды колебаний изделия вокруг положений равновесия – информацию о двух осевых МИ. Дополнительная информация об углах отклонения при вращении изделия вокруг вертикальной оси позволяет определить два центробежных момента инерции. Совмещение измерительных и технологических функций, реализованное в измерительном комплексе, позволяет определить до 8-ми массогеометрических параметров за один установ изделия на стенде. При этом все измерения проводятся в автоматическом режиме.

Известен способ комплексных испытаний летательного микроаппарата с интегральной бесплатформенной инерциальной навигационной системой (ИБИНС) и устройство для его осуществления [4]. Предложенное решение позволяет на одном оборудовании определить тягу двигательной установки, МГХ, аэродинамические характеристики, параметры ИБИНС. Таким образом, авторы данного способа предлагают способ существенного расширения возможностей стендового оборудования для комплексного определения динамических характеристик летательного аппарата.

Описанный выше способ может найти применение на этапе наземной отработки беспилотных летательных аппаратов мини класса, в частности, с изменяемыми массогеометрическими параметрами. В качестве объекта испытаний можно использовать как БПЛА целиком, так и его отдельные части (крыло, горизонтальное оперение, двигательная установка). При проектировании стендового оборудования и методического обеспечения стоит задача выбора оптимальной измерительной схемы, реализующего принцип совмещения КСК ЛА, ИСК ИБИНС, ИСК стенда. Большое значение имеет конструктивная реализация схемы измерений в механической системе стенда. Имеет смысл, при разработке такого испытательного комплекса, использовать отработанные программно-аппаратные комплексы моделирования мультифизических процессов, в частности, комплекс LMS предоставляющий возможность выполнения численного моделирования, трёхмерного проектирования и натурных испытаний в рамках одной системы.

Применение подобного оборудования на этапе наземной отработки позволит существенно снизить затраты и риск потери летательного аппарата на этапе лётных испытаний.

Литература

1. Крылов В.Я. Александр Федорович Можайский. Жизнь замечательных людей. Л.: Молодая гвардия, 1951.
2. Крылов В.В., Матвеев Е.В. Определение массовых параметров изделий: – Серия 13. Обзор N52. – Челябинск: ЦНТИ «Поиск», 1990. – 91 с.
3. Прогрессивное оборудование для определения массоинерционных характеристик изделий. Каталог. 922.68.073-ЛУ. – ЦНТИ «Поиск», 1988. – 65 с.

4. Патент на изобретение RU 2263283, Способ комплексных испытаний летательного микроаппарата (ЛМА) с интегральной бесплатформенной инерциальной навигационной системой (ИБИНС) и устройство для его осуществления. Заявка № 2004131151/28, 27.10.2004.