

0.1. Данилов М.Н. О разработке цифровых двойников датчиков и их применении в измерении физических величин

Математические модели физических процессов и систем, основанные на уравнениях математической физики, а также на фундаментальных законах и принципах физики, и наиболее проверенных и развитых научных теориях (физико-математические модели), в настоящее время широко применяются при решении различных научно-технических задач. Такие модели включают различные физические константы и переменные, которые имеют строгий физический смысл и являются физическими величинами. К ним предъявляются требования адекватности и универсальности. Полные физико-математические модели, учитывающие максимальное количество факторов, определяющих состояние моделируемой системы, позволяют с высокой точностью предсказывать физические процессы. Такие модели используются, например, в современных конечноэлементных программных комплексах, таких как Ansys, Abaqus и других системах численного моделирования физических процессов и систем. Решение математических задач в них выполняется с помощью эффективных численных методов. В совокупности с современными вычислительными технологиями решения задач на многопроцессорных электронных вычислительных системах, которые в настоящее время могут быть очень компактными и энергоэффективными, численное решение математической задачи, решаемой в рамках моделирования физической системы, может быть получено достаточно быстро. В конечном счете, все это привело к появлению так называемой концепции цифрового двойника реально существующей технической системы [1, 2].

Под цифровым двойником подразумевается некоторая компьютерная (математическая, численная) модель реального физического изделия, имитирующая изменение его состояния в процессе эксплуатации. При этом, состояние «виртуального» изделия приводится в соответствие с состоянием физического изделия посредством корректировки параметров модели на основании данных, получаемых с различных датчиков, установленных на физическом изделии. В свою очередь на основании анализа результатов моделирования производится корректировка режима работы физического изделия посредством управляющих воздействий. Таким образом, осуществляется синхронизация реального изделия и его цифрового двойника (реализуется обратная связь).

Настоящая работа посвящена проблемам разработки и применения полных физико-математических моделей и цифровых двойников сложных технических систем в измерении физических величин. Измерительно-вычислительные комплексы и систе-

мы, включающие высокопроизводительные ЭВМ, позволяют реализовать концепцию цифрового двойника, что позволит решить целый ряд проблем, связанных с проведением экспериментов.

В качестве примера рассмотрена процедура разработки математической модели, численной модели и цифрового двойника шестикомпонентных аэродинамических весов [3–5], использующихся при проведении весовых испытаний моделей перспективных летательных аппаратов в аэродинамических трубах. Создана новая методика получения функции преобразования [5] для многокомпонентного тензометрического датчика, основанная на использовании цифрового двойника датчика. Преимуществом предложенной методики является сокращение трудоемкости выполнения тарировки (калибровки) многокомпонентных тензометрических датчиков [5, 6]. Показано, что в перспективе физическая тарировка весов (многофакторный физический эксперимент) может быть заменена на «виртуальную», предполагающую вычисление калибровочных коэффициентов. Кроме того, на основе метода топологической оптимизации разработана технология автоматизированного проектирования упругого элемента тензометрического датчика весов (первичного аналогового преобразователя). Применение полных физико-математических моделей в измерении физических величин позволяет создавать датчики нового типа и следующего поколения, а также повысить точность и адекватность результатов измерений.

Список литературы

- [1] Комраков А.В., Сухорук А.И. Концепция цифрового двойника в управлении жизненным циклом промышленных объектов // Научная идея. 2017. № 3 (3). С. 1–7.
- [2] Манвелян В.С. Шестикомпонентные вращающиеся тензометрические весы для испытания соосных винтов // Вестник Московского авиационного института. 2020. Т. 27. № 1. С. 53–64.
- [3] Богданов В.В., Волобуев В.С. Многокомпонентные тензометрические весы // Датчики и системы. 2004. № 3. С. 3–8.
- [4] Альгин В.Б., Ишин Н.Н. Надежность технически сложных изделий в свете «индустрии 4.0» // Актуальные вопросы машиноведения. 2017. № 6. С. 43–54.
- [5] DANILOV M.N., BARDAEV P.P. Finite element and neural network approximations to measure forces using sixcomponent wind tunnel balance // Proc. Conf. «XXVI Conference on High-Energy Processes in Condensed Matter (HEPCM-2019)». Russia, Novosibirsk: AIP Conference Proceedings, 2019. Vol. 2125. N. 030091. P. 1–11.
- [6] Волобуев В.С., Горбушин А.Р., Судакова И.А., Тихомиров В.И., Два способа калибровки тензометрических весов на калибровочных стендах ЦАГИ // Ученые записки ЦАГИ. 2017. Т. 48. № 2. С. 62–70.