

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ВЕРТОЛЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Зильберберг В.Л., Куприянов Л.А., Мусеев А.А.

АО «ОДК-Климов», г. Санкт-Петербург

vzilberberg@klimov.ru, LKupriyanov@klimov.ru, museev_aa@klimov.ru

Ключевые слова: газотурбинный двигатель (ГТД), цифровой двойник.

В статье приведены основные положения разработки цифрового двойника вертолетного двигателя. С учетом опыта коллег из смежных отраслей машиностроения и работ, проводимых внутри корпоративного контура, инженерами АО «ОДК-Климов» сформирован комплект материалов и данных для создания цифрового двойника малоразмерного ГТД для этапов доводки и сертификации. На текущий момент выполняется подготовка комплексных компьютерных моделей для проведения цифровых испытаний.

На протяжении последних пяти лет термин «цифровой двойник» из абстрактного понятия перешел во вполне осязаемые границы своего определения [1, 2]. В частности, когда решается задача разработки газотурбинного двигателя в условиях сжатых сроков опытно-конструкторских работ, цифровой двойник изделия (далее – ЦДИ), как инструмент, представляет собой комплексную компьютерную модель, состоящую из нескольких взаимосвязанных математических моделей разного уровня детализации. При этом используемые математические модели объединены общей информационной средой и имеют возможность уточнения (валидации) по данным экспериментов и эксплуатации [1]. Фактически цифровой двойник изделия – это аналог конструкторской PLM-системы, позволяющий управлять данными и моделями подразделений инженеров-расчетчиков за счет междисциплинарных связей внутри собственной среды функционирования.

Техническое задание на изделие, а также отраслевая нормативная и сертификационная документация, наделяют конструкцию газотурбинного двигателя конкретными свойствами, которые должны быть проверены на соответствие, в связи с чем данные свойства должны иметь количественный или логический формат представления и должны быть сопоставлены с требуемыми значениями или условиями. Отсюда формулируется критерий безусловного взаимодействия цифрового двойника с системой управления требованиями через спецификацию, или матрицу, требований. В свою очередь, комплексное представление состояния выполнения всех требований позволяет главному конструктору анализировать и принимать обоснованные решения в процессе разработки.

Применительно к проекту по созданию малоразмерного вертолетного двигателя в АО «ОДК-Климов» в соответствии с техническими требованиями на разработку ЦДИ ВК-650В выполнена подготовка к реализации комплексной компьютерной модели для этапа сертификации и дальнейшей доводки изделия в части увеличения его ресурсов.

В качестве оболочки для среды функционирования ЦДИ определена отечественная платформа CML-Bench, как ранее используемая в проектах организаций внутри корпоративного контура [3]. В качестве инженерного программного обеспечения, входящего в среду функционирования, определены коды, используемые на предприятии для решения типовых задач.

Наполнение ЦДИ, как было указано выше, должно отвечать набору требований, предъявляемых к изделию, соответственно, перечень математических моделей и связей между ними должны быть однозначно определены. В связи с этим, инженерами сформирована матрица требований, включающая в себя требования и ограничения разного уровня (от двигателя до детали), позволяющие контролировать те параметры и критерии «зачётности», которые в соответствии с сертификационными требованиями должны быть проверены (например, основные данные на режимах работы двигателя, запасы прочности по МЦУ для его основных деталей и т.д.). Кроме того, на основе функциональной схемы проектирования двигателя определены ветви, отвечающие за вычисление указанных параметров и критериев.

Следующим шагом выполнена схематизация выбранных ветвей и определен перечень автоматизированных расчетных цепочек (далее – АРЦ) и компьютерных моделей (далее – КМ), необходимых для формирования комплексной компьютерной модели. Стоит отметить, что, если для решения отдельных задач термодинамики, гидравлики, прочности применяются традиционно выбранные программные коды и отраслевые методики, то построение АРЦ представляет собой проблему, решение которой требует привлечения дополнительных программных продуктов и специалистов с навыками программирования. Для проекта ЦДИ ВК-650В в качестве средств автоматизации выбраны внутренние инструменты платформы CML-Bench и, как основной, программный комплекс отечественной разработки pSeven Enterprise.

На текущий момент реализация АРЦ выполняется с учетом геометрии типовой конструкции двигателя, предъявляемой на сертификацию, в номинальных размерах деталей для варианта ЦДИ «как спроектировано». По результатам работ предполагается получение сведений о состоянии конструкции двигателя относительно матрицы требований и переход к разработке вариантов ЦДИ «как изготовлено» (вариант экземпляра с учетом геометрических отклонений при производстве ДСЕ и сборке двигателя) и ЦДИ «как испытано» (вариант экземпляра с учетом особенностей геометрии препарированных ДСЕ, поставляемых для инженерных и сертификационных испытаний).

Список литературы

1. СТО ОДК 480-2022. Стандарт организации. Управление разработкой. Цифровой двойник изделия. – АО «ОДК». Москва, 2022. 25 с.
2. ГОСТ Р 57700.37-2021. Национальный стандарт Российской Федерации. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения. – Российский институт стандартизации. Москва, 2021.
3. Елисеев В., Мусеев А., Тамм А., Гаврилов П. Разработка цифрового двойника турбовинтового двигателя ТВ7-117СТ-01/Rational Enterprise Management. №1. 2020. С. 48-53.

Сведения об авторах

Зильберберг В.Л., и.о. ведущего инженера-конструктора – руководителя бригады систем инженерного анализа. Область научных интересов: разработка ГТД, расчеты долговечности роторных деталей двигателя, расчеты трещиностойкости.

Куприянов Л.А., инженер-конструктор 3 категории. Область научных интересов: разработка ГТД, расчеты долговечности статорных деталей, расчеты трещиностойкости.

Мусеев А.А., заместитель начальника ОКБ по расчетам АО «ОДК-Климов». Область научных интересов: разработка ГТД, расчеты долговечности конструкций, расчеты трещиностойкости, ресурсные испытания ГТД и его основных деталей.

DIGITAL TWIN OF HELICOPTER ENGINE

Zilberberg V.L., Kupriyanov L.A., Museev A.A.

JSC «UEC-Klimov», Saint Petersburg

vzilberberg@klimov.ru, LKupriyanov@klimov.ru, museev_aa@klimov.ru

Keywords: gas-turbine engine (GTE), digital twin.

This article presents the main provisions for the development of a digital twin of a helicopter engine. Taking into account the experience of colleagues from related industries of mechanical engineering and work carried out within the corporation, the engineers of JSC «UEC-Klimov» have formed a set of materials and data for creating a digital twin of a small-sized GTE for the stages of development and certification. Currently, complex computer models are being prepared for digital testing.