

Куликов Г.Г., Ризванов К.А., Петров Ю.Е. Гейтовая система формирования цифрового двойника при проектировании и производстве авиационного газотурбинного двигателя. // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике: Сб. статей XIX Междунар. научно-техн. конф. – Пенза: ПДЗ, 2019. – С. 162-165.

УДК 004

## **ГЕЙТОВАЯ СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ И ПРОИЗВОДСТВЕ АВИАЦИОННОГО ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Г.Г. Куликов, К.А. Ризванов, Ю.Е. Петров

### **GATE SYSTEM OF DIGITAL TWIN FORMATION IN THE DESIGN AND MANUFACTURE OF AVIATION GAS TURBINE ENGINE**

G.G. Kulikov, K.A. Rizvanov, Yu.E. Petrov

**Аннотация.** Рассмотрен жизненный цикл авиационного ГТД. Для цифрового двойника при проектировании и производстве авиационного ГТД предложено сформировать гейтовую систему.

**Ключевые слова:** цифровой двойник, авиационный ГТД, жизненный цикл, гейтовая система.

**Abstract.** This article discusses the life cycle of an aircraft gas turbine engine. It is proposed to form a gate system for the digital twin in the design and production of aviation gas turbine engines.

**Keywords:** digital twin, aviation gas turbine engine, life cycle, gate system.

В настоящее время в авиадвигателестроении актуальной задачей является переход на концепцию проектирования и производства газотурбинных двигателей (ГТД) с применением цифровых двойников. Для определения структуры цифрового двойника авиационного ГТД опишем основные этапы жизненного цикла (ЖЦ) реального ГТД. Рассмотрим этап ЖЦ ГТД – функциональное проектирование. На данном этапе создается 0D модель ГТД с применением различных CAD/ERP/PLM-систем, включающая в себя основные характеристики ГТД, такие как масса, размеры, стоимость и т.д. По окончании данного этапа формируется техническое задание на ГТД, начинается его разработка, создается модель виртуального ГТД. На следующих этапах проектирования и изготовления разрабатываются полная 3D твердотельная модель ГТД на основе CAD/PLM-систем, 3D аэротермодинамическая и прочностная модель с применением CAE/PLM-систем, отрабатываются технологии производства на основе CAM/PLM-систем и оценивается стоимость создания в ERP-системе. По окончании проектирования

создается электронный макет ГТД, производится его виртуальная сертификация. По окончании изготовления появляется реальный ГТД, готовый для проведения стендовых испытаний. На этапе испытания и сертификации формируется полная модель ГТД на основе идентифицируемых узлов. На этапах серийного производства и эксплуатации начинается серийное производство ГТД, разрабатываются виртуальное руководство, диагностическая модель ГТД и сопровождение ЖЦ конкретного ГТД. Вся информация, получаемая на рассмотренных стадиях ЖЦ ГТД, попадает в БД цифрового двойника ГТД. Анализ рассмотренной схемы показывает, что цифровой двойник ГТД должен динамически развиваться на протяжении всего ЖЦ. Поэтому целесообразно разработать для него гейтовую систему.

Гейтовая система позволяет эффективно управлять проектом разработки цифрового двойника ГТД, включающего в себя:

1) организацию поиска и сбора необходимой конструкторско-технологической документации, включающей в себя методическое обеспечение, для подготовки к эксплуатации в автоматизированном режиме:

- разработку технического задания на создание цифрового двойника ГТД;

- разработку календарного плана и ресурсного и информационного обеспечения создания цифрового двойника ГТД;

2) классификацию и формализацию экспериментальных данных, получаемых при испытаниях, отвечающих требованиям идентифицируемости и прослеживаемости в едином информационном пространстве конструкторско-технологической документации;

3) организацию построения цифрового двойника ГТД методами «машинного обучения» в форме базы знаний и хранилищ данных, применения нейросетевых моделей и др.;

4) организацию коллективного доступа к цифровому двойнику ГТД для обучения и его изменения по результатам эксплуатации [1-3].

Опишем основные стадии гейтовой системы цифрового двойника ГТД:

1) формулировка бизнес-идеи. На данной стадии должны быть определены источники информации для ГТД и его узлов, а также различные схемы организации единого информационного пространства (ЕИП);

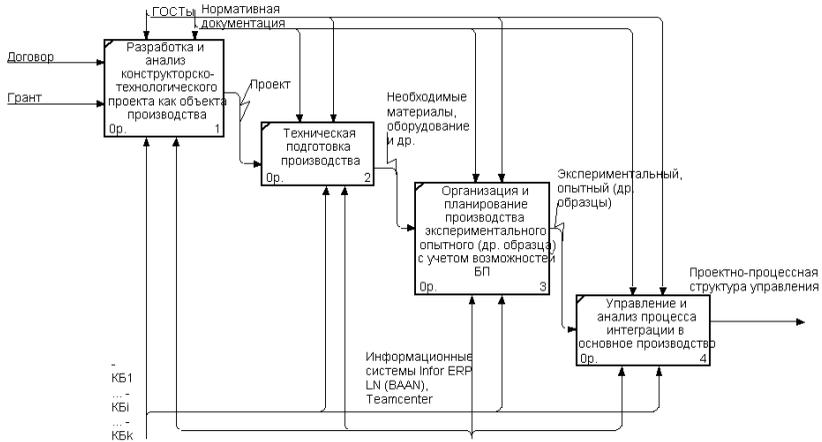
2) определение бизнес-возможностей. На данной стадии оцениваются возможности получения информации от участников создания и эксплуатации в организованное ЕИП;

3) разработка концепции. На данной стадии формируется концепция цифрового двойника ГТД;

4) концептуальное проектирование и оценка выполнимости. На данной стадии выбирается схема организации доступа к цифровому двойнику ГТД

(централизованное хранилище данных или территориально-распределенное хранилище данных) и осуществляется сбор информации с уже имеющихся ГТД или проектирование цифрового двойника ГТД для вновь создаваемого ГТД;

5) определение продукта и процессов. На данной стадии описываются все процессы и разрабатывается цифровой двойник. Например, на рис. 1 [4] приведена проектно-процессная структура управления цифрового двойника ГТД;



*Проектно-процессная структура управления цифрового двойника ГТД*

6) демонстрация продукта и процессов. На данной стадии производится согласование цифрового двойника ГТД с заказчиком;

7) управление конфигурацией. На данной стадии осуществляется управление конфигурацией для каждого реального ГТД.

Применение цифрового двойника ГТД позволяет существенно сократить сроки разработки и поставки продукта на рынок, делает работу более эффективной и прозрачной, как для разработчиков, так и для эксплуатантов ГТД.

#### Библиографический список

1. Куликов Г.Г., Ризванов К.А., Христоробов В.Л. Организация единого информационного пространства для распределенного выполнения проектов в авиадвигателестроении // Вестник УГАТУ: науч. журн. Уфимск. гос. авиац. техн. ун-та. Сер. Управление в социальных и экономических системах. Т.16. 2012. № 6 (51). С. 202-210.

2. Ризванов К.А., Никулина Н.О. Построение единого информационного пространства на примере INFOR ERP LN для управления проектами //

Материалы V Всерос. науч.-техн. конф. Уфа: ОАО УМПО, 2011. С. 290-293.

3. Речкалов А.В., Артюхов А.В., Ризванов К.А. Концепция структурно-информационной организации ситуационного центра для оперативного управления машиностроительным дивизионом с территориально-распределенным производством // Вестник УМО. Экономика, статистика и информатика / МЭСИ. 2014. № 3. С. 192-195.

4. Куликов Г.Г., Ризванов К.А., Денисова С.С. Архитектура интегрированной информационной модели для разработки, производства и эксплуатации ГТД совместно с его системой автоматического управления, контроля и диагностики // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева. Спец. выпуск, подгот. по материалам Межд. науч.-техн. конф. «Проблемы и перспективы развития двигателестроения». 2009. № 3 (19). Часть 1. С. 244-252.

**Куликов**

**Геннадий Григорьевич**

Уфимский государственный  
авиационный технический  
университет,  
г. Уфа, Россия

**Kulikov G.G.**

Ufa State Aviation Technical  
University, Ufa, Russia

**Ризванов**

**Константин Анварович**

Уфимский государственный  
авиационный технический  
университет,  
г. Уфа, Россия  
E-mail: rizvanovk@bk.ru

**Rizvanov K.A.**

Ufa State Aviation Technical  
University, Ufa, Russia

**Петров**

**Юрий Евгеньевич**

Уфимский государственный  
авиационный технический  
университет,  
г. Уфа, Россия

**Petrov Yu.E.**

Ufa State Aviation Technical  
University, Ufa, Russia