



ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ПНСТ
928—
2024

Компьютерные модели и моделирование
**ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ АВИАЦИОННЫХ
ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**
Общие положения

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2024

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Государственным научным центром, федеральным автономным учреждением «Центральный институт авиационного моторостроения имени П.И. Баранова» (ГНЦ ФАУ «ЦИАМ им. П.И. Баранова»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 700 «Математическое моделирование и высокопроизводительные вычислительные технологии»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 августа 2024 г. № 44-пнст

Правила применения настоящего стандарта и проведения его мониторинга установлены в ГОСТ Р 1.16—2011 (разделы 5 и 6).

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии собирает сведения о практическом применении настоящего стандарта. Данные сведения, а также замечания и предложения по содержанию стандарта можно направить не позднее чем за 4 мес до истечения срока его действия разработчику настоящего стандарта по адресу: 111116 Россия, Москва, ул. Авиамоторная, д. 2, и/или в Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии по адресу: 123112 Москва, Пресненская набережная, д. 10, стр. 2.

В случае отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты» и также будет размещена на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (www.rst.gov.ru)

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2024

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

II

Содержание

1 Область применения1

2 Нормативные ссылки1

3 Термины и определения.....2

4 Сокращения6

5 Общие положения7

6 Общая классификация цифровых двойников авиационных газотурбинных двигателей8

7 Рекомендуемый состав цифровых двойников авиационных газотурбинных двигателей.....9

8 Рекомендуемый состав компьютерных моделей для цифровых двойников авиационных газотурбинных двигателей11

9 Цели и задачи применения цифровых двойников авиационных газотурбинных двигателей12

10 Требования к цифровому двойнику авиационного газотурбинного двигателя, устанавливаемые при его разработке14

11 Участники процесса разработки цифрового двойника авиационного газотурбинного двигателя . . .15

Приложение А (справочное) Комментарии к пункту 7.616

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Компьютерные модели и моделирование

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Общие положения

Computer models and simulation.
Digital twins of aviation gas turbine engines.
General provisions

Срок действия — с 2025—01—01
до 2028—01—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает общие положения в части требований к созданию и применению цифровых двойников авиационных газотурбинных двигателей гражданского назначения.

Порядок создания авиационного газотурбинного двигателя гражданского назначения установлен в ГОСТ Р 58849.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

- ГОСТ 4401 Атмосфера стандартная. Параметры
- ГОСТ 24631 Атмосферы справочные. Параметры
- ГОСТ 26352 Модель влажности воздуха в северном полушарии
- ГОСТ Р 2.102 Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов
- ГОСТ Р 50.1.028 Информационные технологии поддержки жизненного цикла. Методология функционального моделирования
- ГОСТ Р 53392 Интегрированная логистическая поддержка. Анализ логистической поддержки. Основные положения
- ГОСТ Р 53460 Глобальная справочная атмосфера для высот от 0 до 120 км для аэрокосмической практики. Параметры
- ГОСТ Р 54084 Модели атмосферы в пограничном слое на высотах от 0 до 3000 м для аэрокосмической практики. Параметры
- ГОСТ Р 57188 Численное моделирование физических процессов. Термины и определения
- ГОСТ Р 57700.1 Численное моделирование для разработки и сдачи в эксплуатацию высокотехнологичных промышленных изделий. Сертификация программного обеспечения. Требования
- ГОСТ Р 57700.2 Численное моделирование для разработки и сдачи в эксплуатацию высокотехнологичных промышленных изделий. Сертификация программного обеспечения. Общие положения
- ГОСТ Р 57700.22 Компьютерные модели и моделирование. Классификация
- ГОСТ Р 57700.23 Компьютерные модели и моделирование. Валидация. Общие положения
- ГОСТ Р 57700.24 Компьютерные модели и моделирование. Валидационный базис
- ГОСТ Р 57700.25 Компьютерные модели и моделирование. Процедуры валидации

Издание официальное

1

ГОСТ Р 57700.37 Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения

ГОСТ Р 58299 Управление данными об изделии. Порядок представления результатов проектно-конструкторских работ в электронной форме. Общие требования

ГОСТ Р 58300 Управление данными об изделии. Термины и определения

ГОСТ Р 58849 Авиационная техника гражданского назначения. Порядок создания. Основные положения

ГОСТ Р 59194 Управление требованиями. Основные положения

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:
3.1

адекватность модели: Соответствие модели моделируемому изделию (процессу, явлению) по обоснованному перечню характеристик.

Примечания

1 Факторы, влияющие на разработку цифровых моделей высокого уровня адекватности изделию:

- квалифицированные кадры (инженеры);
- технологии;
- высокопроизводительные вычислительные системы;
- сроки;
- финансирование.

2 График качественной зависимости адекватности цифровых моделей изделия от различных факторов приведен на рисунке 1.

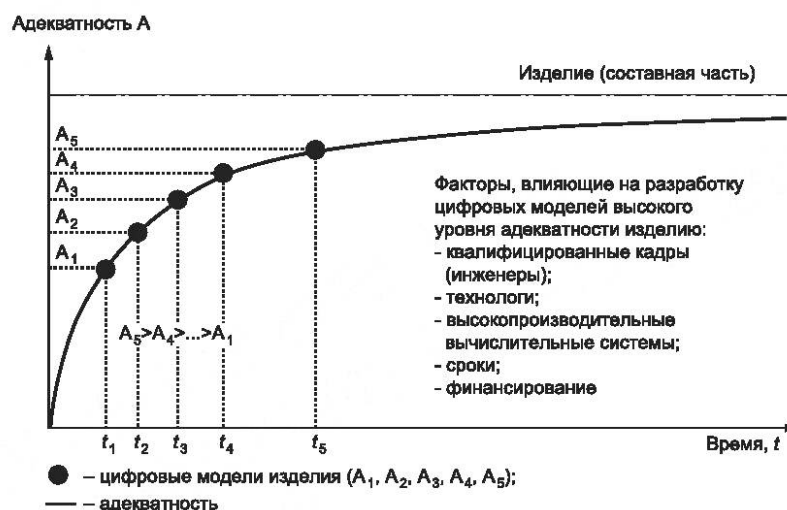


Рисунок 1

[ГОСТ Р 57700.37—2021, пункт 3.1]

3.2 база данных по материалам авиационного газотурбинного двигателя: База данных, содержащая в себе информацию о материалах, применяемых в авиационном газотурбинном двигателе на всех стадиях его жизненного цикла.

3.3

валидация модели изделия: Подтверждение адекватности модели моделируемому изделию.

Примечания

1 Валидация модели изделия выполняется для выбранного множества характеристик и заданной степени точности.

2 Определение распространяется на математические, компьютерные, цифровые модели.

[ГОСТ Р 57700.37—2021, пункт 3.2]

3.4

валидационный базис: Упорядоченная система данных, содержащая результаты натурных экспериментов и результаты компьютерного моделирования, которые позволяют доказать с заданной точностью соответствие компьютерной модели или программного обеспечения компьютерного моделирования объекту моделирования.

[ГОСТ Р 57700.24—2020, пункт 3.1.4]

3.5

ведущий научно-исследовательский институт по направлению: Определенная уполномоченным федеральным органом исполнительной власти научно-исследовательская организация авиационной промышленности, проводящая опережающие и прикладные исследования, а также осуществляющая формирование и реализацию единой государственной научно-технической политики в определенной области авиационной науки и техники.

[ГОСТ Р 56080—2014, пункт 2.3]

3.6

воздушное судно: Летательный аппарат, поддерживаемый в атмосфере за счет взаимодействия с воздухом, отличного от взаимодействия с воздухом, отраженным от поверхности земли или воды.

[ГОСТ Р 58849—2020, пункт 3.1.7]

3.7

газотурбинный двигатель: Тепловая машина, предназначенная для преобразования энергии сгорания топлива в кинетическую энергию реактивной струи и (или) в механическую работу на валу двигателя, основными элементами которой являются компрессор, камера сгорания и газовая турбина.

[ГОСТ 23851—79, пункт 1]

3.8

головной разработчик: Юридическое лицо, являющееся разработчиком авиационной техники, координирующее работу разработчиков составных частей авиационной техники и отвечающее за разработку авиационной техники в целом.

[ГОСТ Р 58849—2020, пункт 3.1.13]

3.9

жизненный цикл: Совокупность явлений и процессов, повторяющаяся с периодичностью, определяемой временем существования типовой конструкции изделия от ее замысла до утилизации или конкретного экземпляра изделия от момента завершения его производства до утилизации.

[ГОСТ Р 58849—2020, пункт 3.1.15]

3.10

изделие: Предмет или набор предметов производства, подлежащих изготовлению в организации по конструкторской документации.

Примечания

1 Изделиями могут быть: устройства, средства, машины, агрегаты, аппараты, приспособления, оборудование, установки, инструменты, механизмы, системы и др.

2 Число изделий может измеряться в штуках (экземплярах).

3 К изделиям допускается относить завершённые и незавершённые предметы производства, в том числе заготовки.

4 К изготовлению могут быть отнесены операции по сборке, монтажу, подключению, установке, а также иные виды работ (например, выполняемые на месте эксплуатации и направленные на приведение изделия в состояние готовности к эксплуатации).

[ГОСТ Р 2.005—2023, статья 1]

Примечание — В рамках настоящего стандарта под изделием понимается авиационный газотурбинный двигатель.

3.11

компьютерная модель (электронная модель): Модель, выполненная в компьютерной (вычислительной) среде и представляющая собой совокупность данных и программного кода, необходимого для работы с данными.

[ГОСТ Р 57412—2017, пункт 3.1.7]

Примечания

1 В основе компьютерной модели лежат математическая модель, реализованная в виде программного кода, и данные, определяющие конкретный объект моделирования. Для применения компьютерной модели в процессе моделирования необходимо использовать программное обеспечение компьютерного моделирования.

2 Для правильного применения компьютерная модель должна сопровождаться методическим аппаратом.

3.12

многоуровневая система требований: Иерархическая система взаимосвязанных структур данных, содержащих формализованные требования к изделию и его составным частям.

Примечания

1 В процессе создания цифрового двойника требования верхних уровней декомпозируются, в том числе на целевые показатели и ресурсные ограничения для нижних уровней. Достижение целевых показателей и (или) удовлетворение ресурсным ограничениям всех нижних уровней должно обеспечивать удовлетворение требований более высокого уровня.

2 Частным случаем многоуровневой системы требований является многоуровневая матрица требований (включая целевые показатели и ресурсные ограничения).

3 Данные, поступающие от эксплуатируемого изделия, используются для уточнения многоуровневой системы требований, доработки цифровых моделей с целью прогнозирования поведения изделия в различных условиях эксплуатации, оптимизации затрат на техническое обслуживание, ремонт, а также для модернизации изделия.

[ГОСТ Р 57700.37—2021, пункт 3.16]

3.13

натурные испытания: Испытания объекта в условиях, соответствующих условиям его использования по прямому назначению с непосредственным оцениванием или контролем определяемых характеристик свойств объекта.

[ГОСТ 16504—81, статья 56]

3.14

объект моделирования: Явление, объект или свойство объекта реального мира.

[ГОСТ Р 57412—2017, пункт 3.1.2]

3.15

программное обеспечение компьютерного моделирования; ПО КМ: Программы, выполняющие математические расчеты, и программы, предназначенные для подготовки исходных данных, обработки результатов расчета, а также другие вспомогательные программы. Программное обеспечение компьютерного моделирования не является программным обеспечением средств измерений согласно ГОСТ Р 8.654.

[ГОСТ Р 57700.2—2017, пункт 3.1.1]

3.16 система функционирования цифрового двойника: Интегрированная автоматизированная система, предназначенная для разработки, функционирования компьютерных моделей и обмена данными об изделии, необходимыми для формирования и применения цифрового двойника изделия.

Примечание — В состав указанной интегрированной автоматизированной системы по ГОСТ Р 59853 могут входить различные автоматизированные системы, обеспечивающие разработку и функционирование компьютерных моделей разного назначения и поставляемые разными производителями программного обеспечения компьютерного моделирования.

3.17

цифровой двойник изделия; ЦД: Система, состоящая из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием (при наличии изделия) и (или) его составными частями.

Примечания

1 Цифровой двойник разрабатывается и применяется на всех стадиях жизненного цикла изделия.

2 При создании и применении цифрового двойника изделия участникам процессов жизненного цикла (по ГОСТ Р 56135) рекомендуется применять программно-технологическую платформу цифровых двойников.

[ГОСТ Р 57700.37—2021, пункт 3.24]

3.18

цифровые (виртуальные) испытания: Определение количественных и (или) качественных характеристик свойств объекта испытаний как результата исследования свойств цифровой модели (или цифрового двойника) этого объекта.

Примечания

1 В настоящем стандарте под объектом испытания подразумевается изделие.

2 В зависимости от вида цифровых (виртуальных) испытаний (см. ГОСТ 16504—81, приложение 2) может быть использован как сам объект испытаний, так и его составные части.

3 Для проведения цифровых (виртуальных) испытаний рекомендуется использовать программно-технологические платформы видов испытаний, определенных ГОСТ 16504.

[ГОСТ Р 57700.37—2021, пункт 3.27]

3.19

цифровая модель изделия: Система математических и компьютерных моделей, а также электронных документов изделия, описывающая структуру, функциональность и поведение вновь разрабатываемого или эксплуатируемого изделия на различных стадиях жизненного цикла, для которой на основании результатов цифровых и (или) иных испытаний по ГОСТ 16504 выполнена оценка соответствия предъявляемым к изделию требованиям.

Примечания

1 Цифровая модель создается с использованием ПО КМ и (или) инструментальных программных и иных средств.

2 Цифровая модель должна описывать структуру, функциональность и поведение разрабатываемого или эксплуатируемого изделия на тех стадиях жизненного цикла, которые установлены в соответствующих технических заданиях.

3 Наполнение и функциональность цифровой модели зависит от стадии жизненного цикла изделия.

4 Оценка соответствия цифровой модели изделия в общем случае включает в себя процедуры верификации и валидации математических моделей по ГОСТ Р 57188, компьютерных моделей и ПО КМ по ГОСТ Р 57700.1, ГОСТ Р 57700.2, ГОСТ Р 57700.24, ГОСТ Р 57700.25.

5 Под электронными документами понимаются электронные документы по ГОСТ 2.001, ГОСТ 3.1001, ГОСТ 3.1102, ГОСТ 19.101, ГОСТ 34.601, ГОСТ Р 58301.

[ГОСТ Р 57700.37—2021, пункт 3.23]

3.20

цифровой (виртуальный) испытательный полигон: Система, в общем случае состоящая из технических средств программного, методического и организационного обеспечения и квалифицированного персонала, предназначенная для проведения полигонных испытаний, как результата исследования свойств цифровой модели (или цифрового двойника) объекта испытаний.

Примечание — Цифровая модель для проведения полигонных испытаний должна обеспечивать испытания объекта в условиях, близких к условиям эксплуатации объекта.

[ГОСТ Р 57700.37—2021, пункт 3.25]

3.21

цифровой (виртуальный) испытательный стенд: Система, в общем случае состоящая из технических средств программного, методического и организационного обеспечения и квалифицированного персонала, предназначенная для проведения стендовых испытаний, как результата исследования свойств цифровой модели (или цифрового двойника) объекта испытаний.

[ГОСТ Р 57700.37—2021, пункт 3.26]

3.22 составная часть цифрового двойника авиационного газотурбинного двигателя; СЧ ЦД АГТД: Система компьютерных моделей, данных и двусторонних информационных связей между ними (при наличии), структурированная и объединенная согласно схеме взаимодействия СЧ АГТД или стадии жизненного цикла АГТД.

Примечание — Схема взаимодействия может быть разработана в виде IDEF0-диаграммы по ГОСТ Р 50.1.028.

4 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

АГТД — авиационный газотурбинный двигатель;

ВБ — валидационный базис;

ДСЕ — детали сборочной единицы;

ЖЦ — жизненный цикл;

ИКАО — международная организация гражданской авиации;

КМ — компьютерная модель;

МСА — Международная стандартная атмосфера;

НИР — научно-исследовательская работа;

ОКР	— опытно-конструкторская работа;
ПО КМ	— программное обеспечение компьютерного моделирования;
РКД	— рабочая конструкторская документация;
СЧ	— составная часть;
ТЗ	— техническое задание;
ТОиР	— техническое обслуживание и ремонт;
ЦД	— цифровой двойник изделия;
ЦД-П	— цифровой двойник, наполнение и функциональность которого определяют в ходе реализации стадии производства изделия;
ЦД-Р	— цифровой двойник, наполнение и функциональность которого определяют в ходе реализации стадии разработки изделия;
ЦД-Э	— цифровой двойник, наполнение и функциональность которого определяют в ходе реализации стадии эксплуатации изделия;
ЦИП	— цифровой (виртуальный) испытательный полигон;
ЦИС	— цифровой (виртуальный) испытательный стенд.

5 Общие положения

5.1 ЦД АГТД разрабатывают на любой стадии ЖЦ АГТД, за исключением стадий «Исследования в обеспечение создания опережающего научно-технического задела для образца авиационного двигателя (до 4-го уровня готовности технологии включительно)» и «Утилизация» по ГОСТ Р 58849.

5.2 Требования к ЦД АГТД устанавливает заказчик разработки ЦД АГТД в ТЗ на разработку/модернизацию (модификацию) ЦД АГТД.

Примечание — В зависимости от стадии ЖЦ АГТД, на которой осуществляется разработка ЦД АГТД, основанием для разработки ЦД АГТД может быть ТЗ на НИР, на техническое предложение, разработку/модернизацию АГТД, а также контракт или ТЗ на разработку ЦД АГТД в инициативном порядке.

5.3 Если в процессе ЖЦ АГТД выявлена необходимость уточнения (дополнения) отдельных требований к ЦД АГТД, заказчик разработки ЦД АГТД выпускает дополнение к ТЗ на разработку или модернизацию ЦД АГТД. По решению заказчика разработки ЦД АГТД уточнение (дополнение) требований к КМ допускается оформлять в виде совместного решения в произвольной форме.

5.4 Отдельные КМ узлов АГТД (компрессор, турбина, камера сгорания, система автоматического управления и диагностирования и т. д.) могут являться СЧ ЦД АГТД, но не ЦД АГТД в целом.

5.5 Перед валидацией ЦД АГТД должен быть проверен на предмет наличия:

- а) всех КМ, требования к которым предъявлены в ТЗ на разработку ЦД АГТД;
- б) двусторонних информационных связей цифровой модели с АГТД (при наличии), требования к которым предъявлены в ТЗ на разработку ЦД АГТД;
- в) других данных, приведенных в 7.7, требования о наличии и составе которых приведены в ТЗ на разработку ЦД АГТД.

5.6 КМ, включаемые в состав ЦД АГТД начиная со стадии проектирования АГТД, должны быть валидированы в соответствии с требованиями и исключениями, определенными ГОСТ Р 57700.23 и ГОСТ Р 57700.25.

5.7 ВБ для ЦД АГТД должен быть разработан в соответствии с требованиями ГОСТ Р 57700.24.

5.8 Валидация ЦД АГТД осуществляется в соответствии с правилами заказчика разработки ЦД АГТД и должна быть выполнена для системы КМ с учетом влияния валидированных КМ друг на друга с использованием ВБ в соответствии с требованиями ГОСТ Р 57700.23 и ГОСТ Р 57700.25. Целью валидации ЦД АГТД является определение того, насколько точно созданный ЦД воспроизводит физическую действительность АГТД в области его предполагаемого применения.

5.9 Для поддержания необходимой степени адекватности реальному АГТД в случае внесения изменений в АГТД и в ЦД АГТД требуется проведение повторной валидации ЦД АГТД. Порядок, объем и правила повторной валидации разработчик ЦД АГТД согласует с заказчиком разработки ЦД АГТД.

5.10 Для выполнения требований 5.5 — 5.9 следует привлекать ведущие научно-исследовательские институты по направлениям к экспертизе ЦД АГТД, а также к его валидации (или повторной валидации при необходимости). Результаты экспертизы и валидации фиксируют в заключении, оформляемом в виде акта, в который при необходимости может быть включен перечень требуемых изменений ЦД. Регламент

проведения экспертизы, требования к ее содержанию, ее периодичность, степень участия ведущих научно-исследовательских институтов по определенным направлениям в валидации ЦД АГТД и форма акта согласуются между заказчиком разработки ЦД АГТД, его разработчиком и представителями научно-исследовательских институтов по соответствующим направлениям и определяются в ТЗ на его разработку.

Примечание — Помимо научно-исследовательских институтов по направлениям к экспертизе и валидации ЦД АГТД могут быть привлечены наиболее квалифицированные организации, имеющие научно-производственный опыт и кадры в области разработки, производства и эксплуатации АГТД и ЦД изделий.

5.11 Разработчик АГТД должен единовременно оповещать всех участников процесса разработки и применения ЦД АГТД обо всех изменениях документации разработчика АГТД, связанных с изменением конструкции и правил эксплуатации и влияющих на достоверность функционирования ЦД АГТД.

5.12 Обновление ЦД АГТД осуществляется в соответствии с правилами разработчика ЦД АГТД, по согласованию с заказчиком разработки ЦД АГТД, с учетом правил по изменению цифровой модели ЦД АГТД по ГОСТ Р 57700.37.

5.13 При необходимости включения в процесс валидации ЦД АГТД дополнительных правил и требований для соблюдения положений 5.5, 5.8—5.12 заказчик разработки ЦД АГТД должен согласовать их с разработчиком ЦД АГТД и определить в ТЗ на его разработку.

5.14 ЦД АГТД должен функционировать в системе функционирования ЦД АГТД, посредством которой должно осуществляться взаимодействие с системой управления данными об изделии по ГОСТ Р 58299 и ГОСТ Р 58300, с целью обеспечения в процессе ЖЦ АГТД наполнение его ЦД актуальными данными (расчетные, экспериментальные, эксплуатационные и т. д.).

5.15 Для применения ЦД АГТД по назначению на стадии испытаний АГТД в ходе разработки и проведения сертификационных работ должна быть создана система сбора, хранения и обработки экспериментальных данных и должно быть обеспечено ее взаимодействие с ЦД АГТД.

5.16 Для применения ЦД АГТД по назначению на стадии эксплуатации должна быть создана система мониторинга технического состояния АГТД и должен быть обеспечен своевременный обмен информацией с системой управления данными об АГТД с целью дальнейшей модернизации АГТД и накопления ВБ по результатам эксплуатации.

Примечание — В рамках настоящего стандарта в качестве системы сбора, хранения и обработки экспериментальных данных и системы мониторинга технического состояния АГТД рассмотрен комплекс организационно-технических мероприятий, реализация которых позволит обеспечить обмен данными между АГТД и его ЦД на соответствующей стадии ЖЦ АГТД.

5.17 В контракт (договор) поставки АГТД и (или) воздушного судна должны быть включены обязательства по передаче эксплуатирующей организацией разработчику АГТД и ЦД АГТД данных по согласованному им перечню предоставляемой информации, ее периодичности и способах передачи/получения применительно к конкретному экземпляру АГТД с оформленным формуляром согласно требованиям раздела 6.

6 Общая классификация цифровых двойников авиационных газотурбинных двигателей

6.1 В дополнение к требованиям ГОСТ Р 57700.37 и с учетом описания ЖЦ АГТД, представленном в ГОСТ Р 58849, ЦД АГТД по назначению подразделяют на следующие варианты:

- ЦД АГТД разработчика АГТД (включает в себя варианты ЦД-Р и ЦД-П по ГОСТ Р 57700.37);
- ЦД АГТД разработчика воздушного судна (вариант ЦД-Э по ГОСТ Р 57700.37);
- ЦД АГТД эксплуатирующей организации, служб ТОиР (вариант ЦД-Э по ГОСТ Р 57700.37).

6.2 ЦД АГТД разработчика АГТД (включает в себя варианты ЦД-Р и ЦД-П по ГОСТ Р 57700.37) — ЦД АГТД, используемый(ые) головным разработчиком АГТД и разработчиками СЧ АГТД для решения конструкторских задач в ходе создания АГТД, расчетного и экспериментального подтверждения его соответствия ТЗ, серийного производства, а также сопровождения АГТД в процессе его ЖЦ.

6.3 ЦД АГТД разработчика воздушного судна (вариант ЦД-Э по ГОСТ Р 57700.37) — СЧ ЦД воздушного судна, применяемая разработчиком соответствующего воздушного судна.

6.4 ЦД АГТД эксплуатирующей организации, служб ТОиР (вариант ЦД-Э по ГОСТ Р 57700.37) — ЦД-Э конкретных экземпляров АГТД в составе воздушного судна, используемый(ые) для выполнения задач эксплуатации, ТОиР.

Примечание — ЦД АГТД эксплуатирующей организации, служб ТОиР существует в нескольких экземплярах, количество экземпляров соответствует количеству эксплуатируемых АГТД.

6.5 Вариант ЦД АГТД разработчика АГТД может подразделяться на следующие варианты:

- ЦД АГТД разработчика АГТД на этапе НИР;
- ЦД АГТД разработчика АГТД на этапе ОКР и серийного производства;
- ЦД АГТД разработчика модификации АГТД.

6.6 Вариант ЦД АГТД разработчика АГТД на этапе НИР содержит в себе цифровую модель, данные и двусторонние информационные связи с демонстрационным двигателем и/или прототипом (при наличии), его системами, узлами и деталями, которые создаются при проведении совокупности теоретических и экспериментальных работ по обоснованию путей создания перспективных АГТД и их СЧ, в том числе оценку достижимых уровней параметров, характеристик и других показателей качества АГТД с учетом использования новых технических и конструктивных решений систем и узлов.

6.7 Вариант ЦД АГТД разработчика АГТД на этапе ОКР и серийного производства содержит в себе цифровую модель, данные и двусторонние связи с серийным двигателем и опытными образцами (при наличии). С целью обеспечения преемственности данный вариант базируется на варианте ЦД АГТД разработчика АГТД на этапе НИР.

6.8 Вариант ЦД АГТД разработчика модификации АГТД содержит в себе цифровую модель, данные и двусторонние связи (при их наличии) для новой модификации двигателя. С целью обеспечения преемственности данный вариант базируется на варианте ЦД АГТД разработчика АГТД на этапе ОКР и серийного производства.

7 Рекомендуемый состав цифровых двойников авиационных газотурбинных двигателей

7.1 Каждый вариант ЦД АГТД разработчика АГТД может иметь следующие СЧ:

а) СЧ ЦД АГТД для сопровождения проектирования, которая включает в себя совокупность КМ разного уровня сложности, структурированных с учетом подходов к проектированию, включая требования РКД (при ее наличии), которые применяет разработчик АГТД, а также данные о РКД, на основании которой разработан ЦД, и о результатах оценки соответствия характеристик ЦД предъявляемым к АГТД требованиям. Разработчик АГТД использует данную СЧ ЦД АГТД для решения конструкторских задач в ходе создания АГТД и расчетного подтверждения его соответствия ТЗ;

б) СЧ ЦД АГТД для сопровождения испытаний, которая включает в себя структурированную согласно требованиям к порядку проведения испытаний на стадии разработки (ОКР) в ходе выполнения сертификационных работ и на стадии серийного изготовления совокупность КМ, включая средства измерения и доработанные ДСЕ для испытаний, а также с учетом данных о РКД, конфигурации объектов испытаний и о результатах оценки соответствия характеристик ЦД АГТД требованиям, предъявляемым к АГТД. Такие КМ входят в ЦИС и ЦИП и разрабатываются для подготовки, моделирования испытаний и анализа их результатов. СЧ ЦД АГТД используют специалисты испытательных центров и лабораторий для расчетного и расчетно-экспериментального подтверждения соответствия разрабатываемого образца АГТД требованиям ТЗ и сертификационного базиса, а также для подтверждения соответствия серийно изготавливаемого образца АГТД требованиям конструкторской документации на его утвержденную типовую конструкцию;

в) СЧ ЦД АГТД для сопровождения эксплуатации, которая включает в себя КМ, разработанные с учетом предпочтений эксплуатанта ЦД АГТД при сопровождении эксплуатации конкретных экземпляров АГТД, а также данные о РКД и конфигурации конкретных экземпляров АГТД, на основании которых создается ЦД-Э этих экземпляров АГТД, и данные о результатах оценки соответствия характеристик конкретного ЦД-Э требованиям, предъявляемым к АГТД. В данной СЧ создаются ЦД-Э АГТД эксплуатирующей организации, служб ТОиР для каждого конкретного экземпляра АГТД с применением КМ, валидированных и доработанных с учетом особенностей этого конкретного экземпляра. Также в этой СЧ собираются и обрабатываются данные, которые получает и передает разработчику АГТД эксплуатирующая организация в процессе эксплуатации АГТД, отдельно для каждого экземпляра двигателя. На базе предоставленных данных разработчик ЦД АГТД осуществляет дополнительную доработку и валидацию КМ, входящих в конкретные экземпляры ЦД АГТД эксплуатирующей организации, служб ТОиР.

Примечание — На этапе НИР данная СЧ содержит КМ, с помощью которых на базе демонстрационного двигателя прототипа прорабатывается идеология бортовой и наземной систем диагностики и прогнозирования состояния двигателя и системы автоматического управления. Информация, полученная на этой стадии ЖЦ и сохраненная в ЦД АГТД разработчика АГТД, будет использована для разработки аналогичных систем на этапах ОКР, серийного изготовления и эксплуатации.

7.2 Состав ЦД-Э АГТД разработчика воздушного судна и требования к КМ определяются разработчиком воздушного судна и описываются в ТЗ на разработку ЦД АГТД. ЦД-Э АГТД разработчика воздушного судна появляется на заключительном этапе ОКР после проведения всех категорий испытаний в рамках разработки АГТД и завершения сертификационных работ. По итогам испытаний и сертификации АГТД проводят доработку КМ, используемых в данном варианте ЦД-Э АГТД. Уточнения и дополнения могут быть внесены по итогам модификации АГТД.

7.3 Состав и требования к КМ для ЦД-Э АГТД эксплуатирующей организации и служб ТОиР определяют в ТЗ на разработку ЦД АГТД. Разработчик по итогам испытаний в рамках разработки и сертификации АГТД, а также в ходе серийного производства АГТД вносит уточнения и дополнения в отношении каждого ЦД-Э конкретного экземпляра АГТД и в процессе эксплуатации ЦД-Э на основе статистических данных, периодически предоставляемых эксплуатирующей организацией.

7.4 В состав ЦД-Э конкретного экземпляра АГТД рекомендуется включать:

- а) данные о подготовке, проведении, обработке и анализе результатов испытаний конкретного экземпляра АГТД;
- б) данные об эксплуатации конкретного экземпляра АГТД;
- в) КМ АГТД, его систем, узлов и деталей, моделирующие процесс эксплуатации АГТД и используемые для определения и прогнозирования технического состояния АГТД;
- г) информацию об уточнениях и изменениях, вносимых в конкретный экземпляр АГТД и его ЦД-Э в процессе эксплуатации.

Примечание — Если в качестве источников сведений об экземпляре АГТД используют внешние базы данных, электронные документы, информационные объекты, наборы данных и информационные системы, то между данными источниками и ЦД-Р и ЦД-Э АГТД рекомендуется обеспечить информационное взаимодействие, порядок и требования к которому целесообразно определять в ТЗ на разработку ЦД АГТД.

7.5 С использованием получаемых от эксплуатирующей организации данных и результатов применения КМ, входящих в состав ЦД АГТД эксплуатирующей организации, служб ТОиР конкретных экземпляров АГТД, разработчик АГТД предоставляет эксплуатирующей организации информацию о текущем техническом состоянии экземпляра АГТД, рекомендации и указания по дальнейшей эксплуатации как экземпляра АГТД, так и всего парка АГТД в целом.

7.6 При поставке эксплуатирующей организации ЦД-Э АГТД¹⁾ между разработчиком АГТД и эксплуатирующей организацией должен быть заключен договор о передаче ЦД-Э АГТД эксплуатирующей организации и предоставлении данных по установленному разработчиком АГТД перечню необходимой информации, периодичности и способах ее передачи/получения в соответствии с обязательствами, установленными в 5.17.

7.7 В состав ЦД АГТД и его вариантов должно входить описание состава программных средств и информационных систем, применяемых для создания и применения ЦД АГТД.

7.8 В состав ЦД АГТД и его вариантов могут также входить:

- а) многоуровневая система требований, предъявляемая к АГТД по ГОСТ Р 57700.37 в качестве источника исходных и проектных требований, соответствие которым определяют посредством применения ЦД АГТД. В случае реализации многоуровневой системы требований в виде базы данных или совокупности электронных документов по ГОСТ Р 59194 должно быть обеспечено их информационное взаимодействие с ЦД АГТД в виде обмена информацией о целевых значениях требований и о соответствии характеристик АГТД указанным целевым значениям;
- б) РКД;
- в) конфигурация АГТД;
- г) база данных материалов, применяемых в конструкции АГТД, в качестве источника сведений о физико-механических свойствах материалов, необходимых для компьютерного моделирования функционирования АГТД и его СЧ;
- д) база данных экспериментов;

¹⁾ Пояснения к данному пункту приведены в приложении А.

- е) база данных дефектов, их влияния на ресурсные показатели и безопасность эксплуатации, истории доведения АГТД и внедренных мероприятий;
- ж) ВБ, методики и результаты валидации;
- и) расчетные методики;
- к) прочие базы данных, электронные документы и информационные объекты, необходимые для создания, функционирования ЦД АГТД и его вариантов и анализа результатов его применения.

Полный перечень данных, входящих в состав ЦД АГТД и его вариантов и предъявляемых по результатам его создания, определяет заказчик по согласованию с разработчиком ЦД АГТД посредством включения в ТЗ на разработку ЦД АГТД. Способ, уровень взаимодействия и конкретные требования к предоставляемым данным должны быть определены в ТЗ на разработку ЦД АГТД.

Примечания

1 На стадии «Прикладные научно-исследовательские работы в обеспечение создания образцов авиационных двигателей, их систем и СЧ» по ГОСТ Р 58849 целесообразно создать многоуровневую систему требований ЦД АГТД и базу данных по материалам АГТД, дополняя и обосновывая их на всех последующих этапах ЖЦ.

2 В многоуровневую систему требований ЦД АГТД целесообразно включать требования из ТЗ, федеральных авиационных правил, касающихся сертификации авиационной техники, норм прочности, норм летной годности, требований технических условий (стандарта организации) на АГТД, требований ИКАО и других принятых в отрасли регламентирующих документов в зависимости от этапа ЖЦ, на котором разрабатывается ЦД АГТД, и целей разработки ЦД АГТД.

8 Рекомендуемый состав компьютерных моделей для цифровых двойников авиационных газотурбинных двигателей

8.1 В состав СЧ ЦД АГТД для сопровождения проектирования могут входить КМ:

- а) для анализа основных термодинамических параметров АГТД;
- б) анализа аэродинамических и газодинамических характеристик основных узлов АГТД;
- в) анализа прочности и ресурса ДСЕ ротора и статора;
- г) проведения расчетов системы электрооборудования;
- д) расчета надежности АГТД, его узлов и систем;
- е) системы автоматического управления и ее элементов;
- и) моделирования работы топливной и масляной систем;
- к) оценки роторной вибрации АГТД и критических частот вращения роторов;
- л) анализа перемещений конструкции АГТД и оценки динамики радиальных зазоров;
- м) анализа гидравлических характеристик вспомогательных систем, системы вторичных полостей и опор;
- н) анализа процесса горения в камере сгорания;
- п) анализа акустических характеристик АГТД;
- р) анализа огнестойкости и огнепронецаемости деталей и узлов АГТД;
- с) анализа работоспособности АГТД при неблагоприятных условиях эксплуатации (дождь, град, обледенение, вулканический пепел и др.);
- т) анализа работоспособности конструкции АГТД и его ДСЕ при аварийных ситуациях (попадание посторонних предметов, обрыв лопатки, пожар и т. д.);
- у) работы двигателя в МСА в рамках параметров определяемых ГОСТ 24631, ГОСТ 26352, ГОСТ 4401, ГОСТ Р 54084, ГОСТ Р 53460;
- ф) междисциплинарные и имитирующие работу группы узлов;
- х) другие КМ.

8.2 В состав СЧ ЦД АГТД для сопровождения испытаний могут быть включены КМ:

- а) входящие в состав ЦИС и ЦИП для моделируемых физических процессов, приведенных в 8.1, но с учетом программы испытания и стендового оборудования, на котором проводят испытания;
- б) для термомеханического моделирования газогенератора в составе испытательного стенда, прогнозирующие кинетику его теплового состояния и зазоров в процессе испытаний;
- в) теплового и прочностного моделирования ресурсных стендовых испытаний с имитацией полетных условий для определения оптимальной программы эквивалентно-циклических испытаний;
- г) теплового и прочностного моделирования разгонных испытаний с имитацией стендовых условий;
- д) моделирования динамического состояния двигателя;

- е) моделирования испытаний двигателей и газогенератора на стендах с имитацией высотно-скоростных условий (в термобарокамере);
- ж) моделирования испытаний двигателя с повышенной температурой газа перед турбиной;
- и) моделирования состояния двигателя в ходе заводских летных испытаний;
- к) другие КМ.

Примечание — Для натурных и сертификационных испытаний может применяться разное стендовое оборудование. Программа их проведения, а также методики сбора и обработки результатов также могут отличаться. Поэтому рекомендуется выделить в СЧ для сопровождения испытаний отдельные СЧ ЦД АГТД для разных типов испытаний двигателя, его систем, узлов и деталей.

8.3 В состав СЧ ЦД АГТД для сопровождения эксплуатации могут входить КМ:

- а) различного уровня сложности для моделирования реальных или возможных случаев эксплуатации, применяемые для расчетных исследований возможных причин отказов или поломки АГТД (или его системы, узла, ДСЕ) в ходе эксплуатации;
- б) различного уровня сложности, применяемые для формирования множества расчетных эксплуатационных случаев, на базе которых в совокупности с большим объемом данных из реальной эксплуатации будут проводиться уточнение и отладка упрощенных КМ;
- в) упрощенные для мониторинга и прогнозирования технического состояния АГТД, его систем, узлов и ДСЕ;
- г) другие КМ.

8.4 В состав ЦД-Э АГТД разработчика воздушного судна могут входить:

- а) электронная модель АГТД по ГОСТ Р 2.102;
- б) КМ для анализа основных термодинамических параметров АГТД;
- в) КМ системы управления двигателем;
- г) другие КМ.

8.5 В состав ЦД-Э экземпляров АГТД могут входить:

- а) электронная модель по ГОСТ Р 2.102 конкретного экземпляра двигателя с учетом особенностей его изготовления и сборки;
- б) КМ для оценки выработки ресурса;
- в) КМ для контроля технического состояния;
- г) КМ для диагностирования неисправностей;
- д) КМ для прогнозирования технического состояния;
- е) КМ системы управления и термодинамическая модель данного экземпляра двигателя, уточняемая по результатам испытаний и эксплуатации этого экземпляра;
- ж) другие КМ.

8.6 При переходе между стадиями разработки АГТД разработчику ЦД АГТД рекомендуется:

- фиксировать текущее состояние ЦД в проектной документации;
- проводить анализ применимости на следующем этапе ранее разработанных КМ;
- определять необходимость доработки имеющихся КМ или разработки новых в соответствии с ТЗ на ЦД АГТД.

8.7 Требуемый перечень КМ (и требования к ним), которые должны входить в ЦД АГТД, варианты ЦД АГТД и его СЧ на разных стадиях ЖЦ АГТД приводят в ТЗ на разработку ЦД АГТД. При этом перечень КМ, приведенный в 8.1—8.5, не является исчерпывающим и может быть дополнен в рамках ТЗ на разработку ЦД АГТД.

9 Цели и задачи применения цифровых двойников авиационных газотурбинных двигателей

9.1 ЦД АГТД предназначен для обеспечения выполнения требований, предъявляемых к АГТД в рамках соответствующей стадии ЖЦ АГТД, а также для последующего контроля и мониторинга характеристик АГТД в процессе испытаний и эксплуатации.

9.2 На стадии выполнения НИР при создании образца АГТД ЦД АГТД может быть применен:

- а) для проведения сравнительного анализа параметров и характеристик различных вариантов конструкции АГТД;
- б) обоснования принятия решений по выбору конструкции и функциональности АГТД при проведении ОКР;

в) формирования проекта ТЗ на ОКР с учетом расчетного подтверждения достижимости заявленных характеристик.

9.3 На стадии проектирования образца АГТД, на этапах ОКР «Эскизный проект» и «Технический проект» ЦД АГТД может быть применен:

а) для проведения исследования основных эксплуатационно-технических параметров (характеристик) АГТД;

б) проведения сравнительного анализа параметров и характеристик различных вариантов конструкции АГТД, для проверки соответствия нормам летной годности, нормам прочности, требованиям ИКАО к экологическим характеристикам;

в) оптимизации проекта программы сертификационных работ на АГТД с учетом применения цифровых испытаний в качестве метода определения соответствия;

г) подтверждения соответствия АГТД требованиям ТЗ при предъявлении его электронного макета макетной комиссии (если применимо) и при формировании методов определения соответствия пунктам нормативной и технической документации.

9.4 На стадии проектирования образца АГТД, на этапе ОКР «Разработка РКД» ЦД АГТД может быть применен:

а) для расчетного подтверждения готовности конструкции к началу изготовления опытного образца;

б) подтверждения соответствия АГТД требованиям ТЗ после конструкторской проработки;

в) анализа эффективности выбранных технических решений.

9.5 На стадии подготовки и освоения производства образца АГТД ЦД АГТД может быть применен:

а) для подтверждения готовности образца АГТД к началу испытаний на заданных режимах;

б) проверки совокупного влияния производственных отклонений (отступлений от РКД) на выполнение требований к АГТД;

в) определения мест постановки средств измерений и оценки влияния средств измерения и стендового оборудования на характеристики АГТД;

г) проверки соответствия АГТД требованиям после технологической проработки.

9.6 На стадии испытаний и сертификации образца АГТД ЦД АГТД может быть применен:

а) для расчетной оценки влияния средств измерения и стендового оборудования на характеристики АГТД;

б) проведения цифровых испытаний совместно или взамен натурных и стендовых испытаний (если применимо) при доведении опытного образца АГТД до надлежащего уровня с целью сокращения сроков и снижения стоимости доводочных работ;

в) расчетного подтверждения готовности опытного образца АГТД к заводским летным испытаниям, государственным (сертификационным) испытаниям, а также для проведения цифровых испытаний совместно или вместо натурных испытаний (если применимо);

г) проведения цифровых испытаний совместно или взамен натурных и стендовых испытаний (если применимо) при проведении сертификационных испытаний опытного образца АГТД на предмет соответствия требованиям ТЗ, нормам летной годности и требованиям ИКАО.

9.7 На стадии серийного производства АГТД ЦД АГТД может быть применен:

а) для оценки влияния производственных отклонений на тактико-технические характеристики экземпляра АГТД;

б) оценки и учета влияния технологии изготовления на конструкцию экземпляра АГТД;

в) проведения цифровых испытаний совместно или взамен стендовых испытаний (если применимо) в рамках периодических испытаний серийно изготавливаемых образцов АГТД;

г) проведения цифровых испытаний при разработке рекомендаций по настройке, регулировке и сервисному обслуживанию данного экземпляра АГТД.

9.8 На стадии эксплуатации, модернизации и модификации АГТД ЦД АГТД применяют:

а) для проведения цифровых испытаний совместно или взамен стендовых испытаний (если применимо) в рамках типовых испытаний серийно изготавливаемого АГТД в ходе его модернизации при изменении (улучшении) конструкции и/или совершенствовании технологии изготовления;

б) моделирования технического состояния АГТД в условиях эксплуатации, приближенных к реальным;

в) анализа полученного опыта технической эксплуатации образца и его отдельных экземпляров с целью оценки безопасности и отказоустойчивости АГТД и его СЧ, корректировки процедур ТОиР, планирования ТОиР, подготовки предложений по внесению изменений в конструкцию образца, для выпол-

нения иных мероприятий, предусмотренных процедурами анализа логистической поддержки в соответствии с требованиями ГОСТ Р 53392;

г) прогнозирования показателей надежности АГТД с сохранением характеристик экземпляра на заданном уровне или их изменения с заданным уровнем деградации с учетом накопленного опыта эксплуатации;

д) анализа поступивших рекламаций и выявления возможных причин, приведших к отказам и дефектам в ЦД АГТД.

10 Требования к цифровому двойнику авиационного газотурбинного двигателя, устанавливаемые при его разработке

10.1 Заказчиком разработки ЦД АГТД, как правило, должны быть установлены следующие требования:

- а) к назначению ЦД АГТД с учетом требований разделов 5 и 6;
- б) к комплекту поставки ЦД АГТД;
- в) к управлению конфигурацией ЦД;
- г) к двусторонним информационным связям с АГТД;
- д) к работе в реальном времени;
- е) к составу и значениям параметров (характеристик) АГТД и связанных и (или) воздействующих на него физических процессов, подлежащих исследованиям при компьютерном моделировании, в том числе к параметрам МСА в соответствии с требованиями ГОСТ 24631, ГОСТ 26352, ГОСТ 4401, ГОСТ Р 54084, ГОСТ Р 53460;
- ж) к реализации взаимосвязей с многоуровневой системой требований к АГТД;
- и) к реализации взаимосвязей с базой данных по материалам ЦД АГТД;
- к) к наличию и структуре СЧ ЦД АГТД для сопровождения проектирования, СЧ ЦД АГТД для сопровождения испытаний, СЧ ЦД АГТД для сопровождения эксплуатации;
- л) к функциональным возможностям применяемого ПО КМ (по моделируемым физическим процессам и методам решений математических уравнений, с учетом классификации КМ и в соответствии с требованиями ГОСТ Р 57700.22, ГОСТ Р 57188);
- м) к использованию верифицированного ПО КМ в соответствии с требованиями ГОСТ Р 57700.1 и ГОСТ Р 57700.2;
- н) к версии ПО КМ для обеспечения работоспособности КМ, включенных в ЦД АГТД;
- п) к интероперабельности ЦД АГТД и КМ в его составе [способности взаимодействовать (функционировать) с другими ЦД, КМ и/или ПО КМ];
- р) к используемым методикам компьютерного моделирования;
- с) к включению результатов моделирования в состав ВБ (требования к ВБ — в соответствии с требованиями ГОСТ Р 57700.24, ГОСТ Р 57700.25);
- т) к выполнению валидации КМ, входящих в состав ЦД АГТД;
- у) к характеристикам вычислительной техники (производительность, объем оперативной памяти, емкость дискового пространства и т. п.) и сетевой инфраструктуры, необходимой ЦД АГТД для выполнения поставленных целей и задач;
- ф) к форме и формату представления результатов разработки ЦД АГТД и цифровых испытаний;
- х) к перечню исходных данных, необходимых для разработки ЦД АГТД;
- ц) к частоте обновления входных и выходных данных ЦД АГТД, необходимых для проведения моделирования;
- ч) к методике валидации ЦД АГТД;
- ш) к перечню необходимого дополнительного оборудования для обеспечения двусторонних информационных взаимосвязей ЦД АГТД с АГТД;
- щ) к составу сопроводительной документации к ЦД АГТД;
- э) к точности вычисления ЦД АГТД каждого моделируемого параметра реального АГТД;
- ю) к вопросам, связанным с передачей конфиденциальной и секретной информации, связанной с АГТД.

10.2 Установленный перечень требований к ЦД АГТД является минимально необходимым и может быть расширен.

11 Участники процесса разработки цифрового двойника авиационного газотурбинного двигателя

11.1 В общем случае участниками процесса разработки и применения ЦД АГТД являются:

- а) заказчик разработки ЦД АГТД;
- б) разработчик ЦД АГТД;
- в) разработчик воздушного судна;
- г) эксплуатирующая ЦД АГТД организация.

11.2 В качестве заказчика разработки ЦД АГТД могут выступать заказчик разработки АГТД и разработчик воздушного судна.

11.3 Заказчик разработки ЦД АГТД:

- а) устанавливает в ТЗ требования к ЦД АГТД;
- б) утверждает ТЗ;
- в) устанавливает правила валидации ЦД АГТД и КМ, входящих в его состав;
- г) согласовывает изменения ЦД АГТД;
- д) принимает ЦД АГТД в эксплуатацию.

11.4 В тех случаях, когда заказчиком ЦД АГТД выступает государственный заказчик, разработчик воздушного судна может только:

- а) определять требования ЦД АГТД разработчика воздушного судна;
- б) принимать в эксплуатацию ЦД АГТД разработчика воздушного судна;
- в) совместно с разработчиком ЦД АГТД и/или эксплуатирующей организацией создавать и обеспечивать функционирование двусторонних информационных взаимосвязей.

11.5 В качестве разработчика ЦД АГТД может выступать только разработчик АГТД.

11.6 Для разработки СЧ ЦД АГТД разработчик ЦД АГТД может привлекать сторонние организации, имеющие подтвержденный опыт в области компьютерного моделирования.

11.7 Разработчик ЦД АГТД:

- а) разрабатывает ЦД АГТД;
- б) осуществляет валидацию ЦД АГТД и КМ, входящих в его состав;
- в) осуществляет поставку ЦД АГТД в соответствии с условиями контракта;
- г) вносит изменения в состав ЦД АГТД по результатам проведенных испытаний АГТД, цифровых или натурных, или применения по назначению;
- д) актуализирует ВБ ЦД АГТД по результатам натурных испытаний и/или результатов эксплуатации АГТД (при необходимости);
- е) с разработчиком воздушного судна и/или эксплуатирующей ЦД АГТД организаций создает и обеспечивает функционирование двусторонних информационных взаимосвязей;
- ж) осуществляет контроль за техническим состоянием конкретного АГТД на основании передаваемых эксплуатирующей ЦД АГТД организацией данных с ЦД-Э и формирует рекомендации и указания по его дальнейшей эксплуатации.

11.8 Организация, эксплуатирующая ЦД АГТД:

- а) применяет ЦД АГТД в процессе эксплуатации АГТД;
- б) совместно с разработчиком ЦД АГТД и разработчиком воздушного судна создает и обеспечивает функционирование двусторонних информационных взаимосвязей;
- в) предоставляет разработчику ЦД АГТД результаты эксплуатации АГТД;
- г) обеспечивает разработчика ЦД АГТД информацией о результатах мониторинга технического состояния АГТД в процессе эксплуатации.

Приложение А
(справочное)

Комментарии к пункту 7.6

Разработку КМ, входящих в состав ЦД экземпляра АГТД, осуществляет разработчик ЦД АГТД, который также вносит уточнения и дополнения по результатам испытания этого экземпляра АГТД и в процессе его эксплуатации.

В процессе эксплуатации экземпляра АГТД эксплуатирующая организация осуществляет сбор актуальных данных и результатов применения КМ, входящих в ЦД АГТД эксплуатирующей организации, служб ТОиР и ее экземпляра АГТД, и передает их разработчику АГТД. Состав, объем, способ передачи данных, периодичность сбора и передачи согласовывают эксплуатант и разработчик АГТД заранее, что фиксируется в контракте (договоре).

Разработчик АГТД хранит и обрабатывает данные, полученные в ходе эксплуатации каждого экземпляра АГТД, в СЧ ЦД АГТД для сопровождения эксплуатации. В этой же СЧ ЦД АГТД проводится уточнение КМ ЦД экземпляров АГТД и сохраняется вся история их модификации.

Уточнение КМ в ходе эксплуатации, входящих в ЦД каждого экземпляра, осуществляет разработчик АГТД (или может привлекать сторонние организации, имеющие подтвержденный опыт в области компьютерного моделирования) на основе данных, которые ему передает эксплуатирующая организация. Эксплуатирующая организация может осуществлять доработку КМ, входящих в ЦД ее экземпляра, только если это отдельно установлено в ТЗ или других документах и при согласовании и участии разработчика АГТД.

В ходе эксплуатации экземпляра АГТД разработчик АГТД может несколько раз осуществлять уточнение/доработку ЦД ее экземпляра и входящих в КМ. Порядок уточнения регламентируется в ТЗ или в других документах.

УДК 006.354:004.942

ОКС 01.040.01

Ключевые слова: компьютерная модель, цифровой двойник, авиационный газотурбинный двигатель

Редактор Л.С. Зимилова
Технический редактор В.Н. Прусакова
Корректор С.И. Фирсова
Компьютерная верстка М.В. Малеевой

Сдано в набор 26.08.2024. Подписано в печать 11.09.2024. Формат 60×84%. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 1,86.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
www.gostinfo.ru info@gostinfo.ru