



ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ПНСТ
950—
2024

Цифровая промышленность.
Системы промышленной автоматизации
и интеграция

**КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ
ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СФЕРЫ**

Часть 2
Эталонная архитектура

(ISO 23247-2:2021, NEQ)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2024

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Обществом с ограниченной ответственностью «Информационно-аналитический вычислительный центр» (ООО ИАВЦ) и Федеральным государственным бюджетным учреждением «Российский институт стандартизации» (ФГБУ «Институт стандартизации»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 459 «Информационная поддержка жизненного цикла изделий»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 ноября 2024 г. № 102-пнст

4 Настоящий стандарт разработан с учетом основных нормативных положений международного стандарта ИСО 23247-2:2021 «Системы автоматизации и интеграция. Структура цифрового двойника производства. Часть 2. Эталонная архитектура» (ISO 23247-2:2021 «Automation system and integration — Digital twin framework for manufacturing — Part 2: Reference architecture», NEQ)

5 Некоторые элементы настоящего стандарта могут быть объектами патентных прав. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии не несет ответственности за установление подлинности каких-либо или всех таких патентных прав

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: 117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31 к. 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 ссылки.1

3 Термины и определения2

4 Сокращения3

5 Эталонная архитектура цифрового двойника производства: цели и задачи3

6 Эталонная архитектура цифрового двойника производства3

 6.1 Общие положения3

 6.2 Эталонная модель на основе доменов.4

 6.3 Эталонная модель на основе сущностей5

7 Функциональное представление типовой архитектуры цифрового двойника производства6

 7.1 Общие положения6

 7.2 Функциональные элементы субсущности сбора данных6

 7.3 Функциональные элементы сущности цифрового двойника7

 7.4 Функциональная сущность пользовательского интерфейса7

 7.5 Функциональные элементы кросс-системной сущности7

Введение

Стандарты серии «Концептуальная модель цифровых двойников для производственной сферы» определяют структуру, обеспечивающую создание цифрового двойника (ЦД) физических элементов для производственной сферы, таких как персонал, оборудование, материалы, производственные процессы, производственные объекты, окружающая среда, продукты и сопроводительная документация.

ЦД по ГОСТ Р 57700.37 разрабатывают и применяют на всех этапах жизненного цикла (ЖЦ) изделия, изменяя на каждой стадии. ЦД помогает обнаруживать аномалии на всех этапах ЖЦ (научно-исследовательские разработки, опытно-конструкторские разработки, серийное производство, эксплуатация, утилизация). ЦД позволяет контролировать свой физический производственный элемент, постоянно обновляя соответствующие операционные данные и данные о состоянии окружающей среды. Благодаря прозрачности процессов и их выполнению, обеспечиваемыми ЦД, улучшаются все процессы всех этапов ЖЦ.

Тип производственной сферы, поддерживаемый представленной в настоящем стандарте структурой, зависит от стандартов и технологий, доступных для моделирования физических производственных элементов (ФПЭ). В различных областях производства допустимо применять собственные стандарты данных. Настоящий стандарт не предписывает использовать в качестве структуры конкретные форматы данных и протоколы связи.

Серия стандартов под общим наименованием «Концептуальная модель цифровых двойников для производственной сферы» состоит из следующих частей:

- часть 1. Общие положения и основные принципы к разработке цифровых двойников для производственной сферы;
- часть 2. Эталонная архитектура с функциональными представлениями;
- часть 3. Цифровое представление производственных элементов;
- часть 4. Технические требования к обмену информацией между сущностями в рамках типовой архитектуры.

На рисунке 1 показана взаимосвязь четырех частей данной серии стандартов.

В ПНСТ 952—2024 (приложения А—Е) представлены примеры использования, демонстрирующие структуру цифрового двойника производства (ЦДП).

Сценарии использования относятся к области дискретного производства, а ЦД моделируют на основе стандартов серии обмена данными модели продукта (STEP), определяющих способы представления информации о продукте, пригодной для интерпретации компьютером, и обмена данными о продукте и процессе (см., например, ГОСТ Р ИСО 10303-203—2003, ГОСТ Р ИСО 10303-239—2008, ГОСТ Р ИСО 10303-242—2019, ГОСТ Р ИСО/ТС 10303-421—2011, ГОСТ Р ИСО/ТС 10303-439—2016). В других областях допускается использовать собственные стандарты и технологии. Например, в нефтегазовой промышленности для моделирования ЦД применяют стандарты серии ГОСТ Р ИСО 15926, а в строительстве — стандарты серии ГОСТ Р 10.0.02.



Рисунок 1 — Структура стандартов серии «Концептуальная модель цифровых двойников для производственной сферы»

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Цифровая промышленность.
Системы промышленной автоматизации и интеграция

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СФЕРЫ

Часть 2
Эталонная архитектура

Digital industry. Industrial automation systems and integration. Conceptual model of digital twins for manufacturing.
Part 2. Reference architecture

Срок действия — с 2025—07—01
до 2027—07—01

1 Область применения

В настоящем стандарте представлена эталонная архитектура для цифрового двойника производства (ЦДП), включая следующие аспекты:

- эталонная модель с точки зрения домена в сущности;
- функциональное представление, определяющее функциональную сущность (ФС), поддерживаемые типовой моделью на основе сущностей.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

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

ГОСТ Р 70924 (ИСО/МЭК 30141:2018) Информационные технологии. Интернет вещей. Типовая архитектура

ПНСТ 949—2024 Системы промышленной автоматизации и интеграция. Концептуальная модель цифровых двойников для производственной сферы. Часть 1. Общие положения и основные принципы

ПНСТ 951—2024 Системы промышленной автоматизации и интеграция. Концептуальная модель цифровых двойников для производственной сферы. Часть 3. Цифровое представление производственных элементов

ПНСТ 952—2024 Системы промышленной автоматизации и интеграция. Концептуальная модель цифровых двойников для производственной сферы. Часть 4. Обмен информацией»

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 термины по ПНСТ 949—2024, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1

домен (domen): Совокупность одномерных элементов, которые могут быть упорядочены и позиционированы применительно к заданному методу измерения.
[ГОСТ Р 57317—2016, статья 2.1.14]

3.2 **домен пользователя** (user domen): Пространственная/логическая/функциональная область, использующая приложения и сервисы, предоставляемые доменом цифрового двойника.

3.3 **домен связи устройств** (device communication domen): Пространственная/логическая/функциональная область, использующая датчики для сбора данных из физического производственного домена и предоставляющая сервисы для мониторинга производственного процесса и контроля производственных устройств.

3.4 **домен цифрового двойника** (digital twin domen): Пространственная/логическая/функциональная область, предоставляющая функции управления цифровыми двойниками, такие как визуализация, представление данных, синхронизация, архивирование информации за прошлые периоды, аналитика данных, моделирование и оптимизация.

3.5 **сущность пользователя** (user entity): Пользователи, приложения и системы, которые используют сервисы, предоставляемые сущностью цифрового двойника.

Пример — ERP-система, которая использует интерфейсы прикладного программирования (API), предоставляемые приложением цифрового двойника для обновления текущего состояния ресурсов в своей базе данных.

3.6 **сущность устройства связи** (device communication entity): Система (набор систем) или устройство, обеспечивающее связь устройств.

Пример — Контроллер ячейки, отправляющий инструкции устройствам производственной ячейки и собирающий данные с датчиков на устройствах.

3.7 **сущность цифрового двойника** (digital twin entity): Система (набор систем), предоставляющая(их) функции для цифровых двойников, такие как реализация, управление, синхронизация и моделирование.

Пример — Система с функциями моделирования, синхронизации и анализа данных для производственной ячейки.

3.8 **физический производственный домен** (observable manufacturing domain): Пространственная/логическая/функциональная область физических производственных ресурсов.

3.9

функциональная сущность (functional entity): Конструкция, являющаяся специализацией конструкции «ресурсы», которая отображает агрегирование ресурсов и операционных ролей, способных выполнять исключительно своими средствами функциональную операцию (класс функциональных операций), необходимых для деятельности предприятия, и осуществлять связь с соответствующей системой управления.

Примечание — Характеристика функционального объекта отражает его способность принимать, обрабатывать, хранить и пересылать информацию.

[ГОСТ Р 57317—2016, статья 2.6.35]

3.10

эталонная архитектура (reference architecture): В сфере архитектуры программного обеспечения или архитектуры предприятия определяемое понятие устанавливает проверенное типовое решение для архитектуры определенной предметной области, а также задает словарь общепринятых понятий для обсуждения реализаций этой архитектуры.

[ГОСТ Р 70466—2022/ISO/IEC TR 20547-1:2020, пункт 3.2]

3.11

эталонная модель (reference model): Модель, имеющая рекомендательный характер и которую обычно используют и признают приемлемой для получения конкретных моделей.

[ГОСТ Р 70991—2023, пункт 3.13]

4 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

ЖЦ	— жизненный цикл;
САМ	— система автоматизированного моделирования;
САПР	— система автоматизированного проектирования;
ФПД	— физический производственный домен;
ФПЭ	— физические производственные элементы;
ФС	— функциональная сущность;
ЦД	— цифровой двойник;
ЦДП	— цифровой двойник производства;
ERP	— система управления планированием производства (Enterprise Resource Planning);
MES	— система управления производством (manufacturing execution system);
PLM	— управление жизненным циклом продукта (Product Lifecycle Management).

5 Эталонная архитектура цифрового двойника производства: цели и задачи

Эталонная архитектура ЦДП содержит руководящие указания по развертыванию ЦДП. С ее помощью все заинтересованные стороны (производители устройств, разработчики приложений и конечные пользователи) могут лучше понять методику развертывания ЦД. Наполнение и функциональность ЦДП по ГОСТ Р 57700.37 зависят от стадии ЖЦ изделия.

Эталонная архитектура ЦД строится на основе эталонной архитектуры промышленного Интернета вещей (IIoT), описанной в ГОСТ Р 70924. Согласно принципам, изложенным в ПНСТ 949—2024, настоящий стандарт предлагает рекомендации по проектированию и развертыванию ЦДП.

В настоящем стандарте представлены следующие дополнения к требованиям, установленным в ГОСТ Р 70924:

- эталонные модели, основанные на доменах и сущностях, для ЦДП;
- функциональное представление ЦДП.

6 Эталонные модели цифрового двойника производства

6.1 Общие положения

Настоящий стандарт описывает эталонную модель ЦДП в контексте доменов и сущностей.

Домены разбивают структуру ЦДП на области, в которых сущности выполняют задачи.

Сущности разбивают каждый домен на уровни систем и подсистем.

6.2 Эталонная модель на основе доменов

6.2.1 Домены цифрового двойника производства

На рисунке 2 представлена эталонная модель, основанная на доменах.

Домены подразделяют на четыре категории:

- домен пользователя;
- домен цифрового двойника;
- домен связи устройств;
- ФПД.

Примечание — ФПД находится за пределами структуры ЦД, но изображен для лучшего понимания структуры.

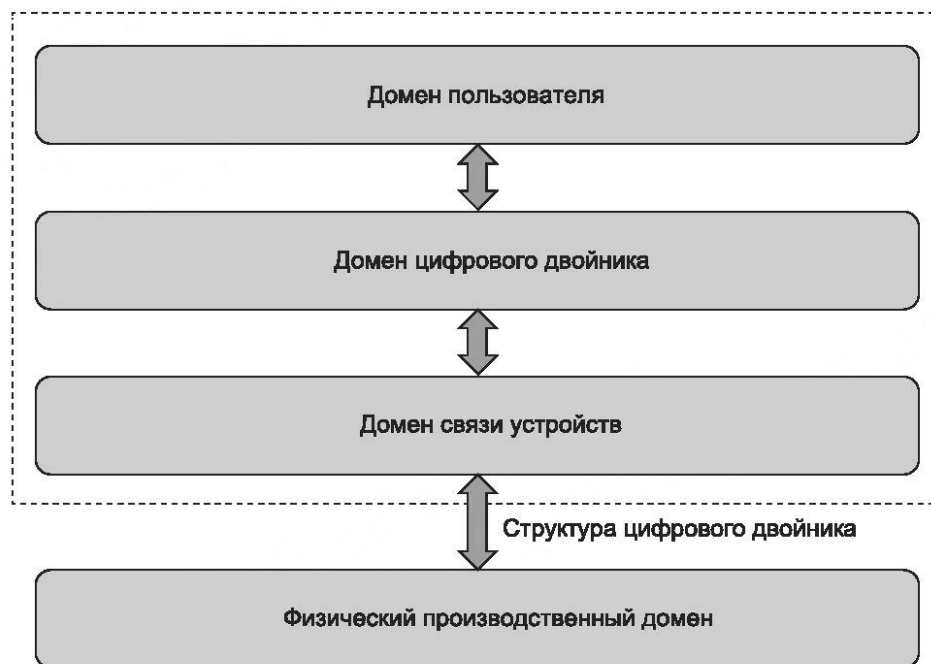


Рисунок 2 — Эталонная модель ЦДП, основанная на доменах

Реализация структуры должна включать домены пользователя, ЦД и связи устройств.

Эти домены должны соответствовать требованиям ГОСТ Р 70924.

Сущности должны разбивать каждый домен на уровни систем и подсистем, описанные в 6.3.

Системы и подсистемы должны обладать функциональными возможностями, описанными в разделе 7.

Каждый домен должен моделировать информацию, описанную в ПНСТ 951—2024.

Каждый домен должен быть взаимосвязан с другими доменами и физическим производственным доменом посредством протоколов, описанных в ПНСТ 952—2024.

6.2.2 Физический производственный домен

ФПД включает в себя физические производственные ресурсы, такие как персонал, оборудование, материалы, процессы, производственные объекты и окружающая среда. ФПД контролируется доменом связи с устройством.

6.2.3 Домен связи устройств

Домен связи устройств отслеживает и собирает данные с датчиков в ФПД, а также контролирует и активирует устройства в этом домене. Домен связи устройств связывает ФПЭ с их ЦД в целях синхронизации.

6.2.4 Домен цифрового двойника

Домен ЦД синхронизирует ФПЭ и их ЦД. Он содержит приложения и сервисы, взаимодействующие с цифровыми двойниками, например в целях моделирования и анализа. Он создает ЦД в начале сессии на основе данных, предоставленных доменом пользователя. Он обновляет ЦД во время сессии с использованием данных, предоставленных доменом связи устройств. Он возвращает конечный ЦД в домен пользователя по окончании сессии.

6.2.5 Домен пользователя

В домене пользователя размещаются приложения, анализирующие модели ЦД для людей и систем. В начале сессии приложение предоставляет данные для создания ЦД. По окончании сессии приложение архивирует конечные значения ЦД. В течение сессии различные приложения отслеживают текущие значения ЦД и используют их для принятия решений по производственным вопросам.

6.3 Эталонная модель на основе сущностей

6.3.1 Сущности структуры цифрового двойника производства

Эталонная модель на основе сущностей разбивает структуру ЦДП на системы и подсистемы, которые управляют доменами, описанными в 6.2.

На рисунке 3 показана эталонная модель на основе сущностей. Реализация должна включать эти или аналогичные сущности для создания необходимой функциональности для каждого домена.

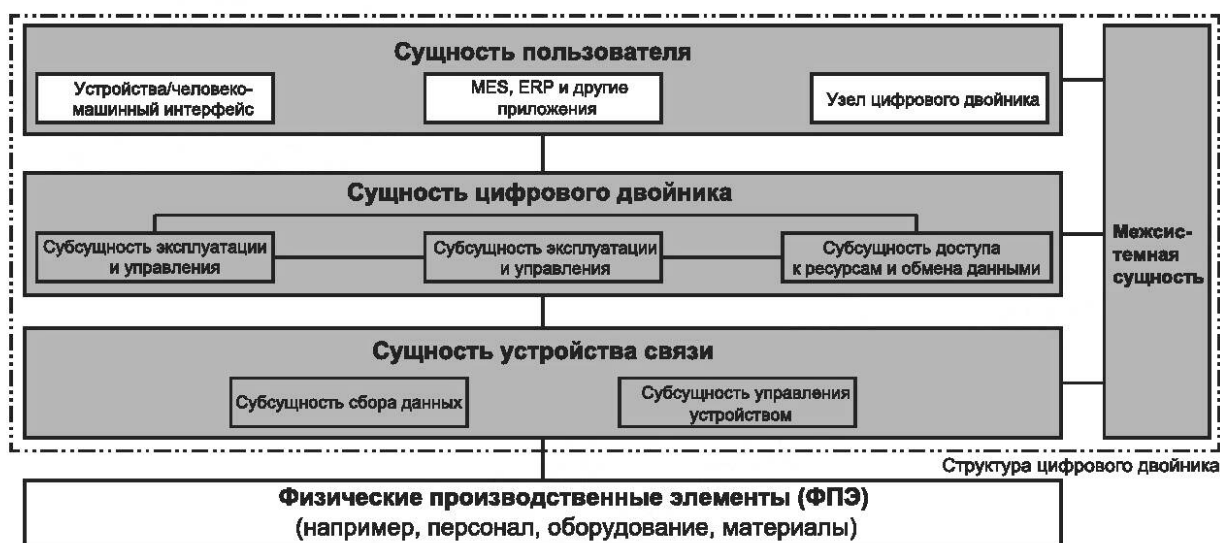


Рисунок 3 — Эталонная модель ЦДП на основе сущностей

6.3.2 Сущность устройства связи

6.3.2.1 Общие сведения

Сущность связи устройств включает в себя субсущность сбора данных, осуществляющую сбор данных от ФПЭ, и субсущность управления устройством, осуществляющую управление ФПЭ.

6.3.2.2 Субсущность сбора данных

Субсущность сбора данных собирает данные от ФПЭ. Сущность ЦДП использует собранные данные для синхронизации ЦДП с соответствующим ФПЭ. Субсущность сбора данных может включать исполняемые файлы в виде компьютерной программы (агента).

6.3.2.3 Субсущность управления устройством

Субсущность управления устройством используется для контроля и активации таких ФПЭ, как станки с числовым программным управлением (ЧПУ) или загрузчики деталей. Она может включать в себя исполняемые файлы в виде компьютерной программы (агента).

6.3.3 Сущность цифрового двойника

6.3.3.1 Общие сведения

Сущность ЦД состоит из субсущности эксплуатации и управления, субсущности приложений и сервисов, а также субсущности доступа к ресурсам и обмена данными. Сущность ЦД представляет ФПЭ в цифровом формате.

6.3.3.2 Субсущность эксплуатации и управления

Субсущность эксплуатации и управления отвечает за процессы эксплуатации ЦД и управление им. Субсущность эксплуатации и управления отвечает за поддержку информации о ФПЭ, в том числе для целей цифрового моделирования, представления, отображения и синхронизации, обеспечивая совместимость данных с производственными системами САПР/CAM.

6.3.3.3 Субсущность приложений и сервисов

Субсущность приложений и сервисов предоставляет функциональные возможности, связанные с приложениями и сервисами, включая моделирование, анализ данных, полученных от ФПЭ, составление отчетности о состоянии производства.

6.3.3.4 Субсущность доступа к ресурсам и обмена данными

Субсущность доступа к ресурсам и обмена данными предоставляет сущности пользователя, доступ к функциям сущности ЦД через контролируемые интерфейсы для функций приложений и сервисов, административных функций и бизнес-функций, обеспечивая взаимодействие.

6.3.4 Сущность пользователя

Сущность пользователя содержит приложения структуры.

6.3.5 Кросс-системная сущность

Кросс-системная сущность — это сущность, расположенная в различных доменах и предоставляющая такие общие функции, как конвертирование данных, обеспечение качества данных и безопасности.

7 Функциональное представление типовой архитектуры цифрового двойника производства

7.1 Общие положения

На рисунке 4 показано функциональное представление эталонной архитектуры ЦД. Оно включает в себя ФС для реализации модели, основанной на сущностях. Реализация должна включать эти или аналогичные ФС для создания необходимой функциональности для каждой сущности.

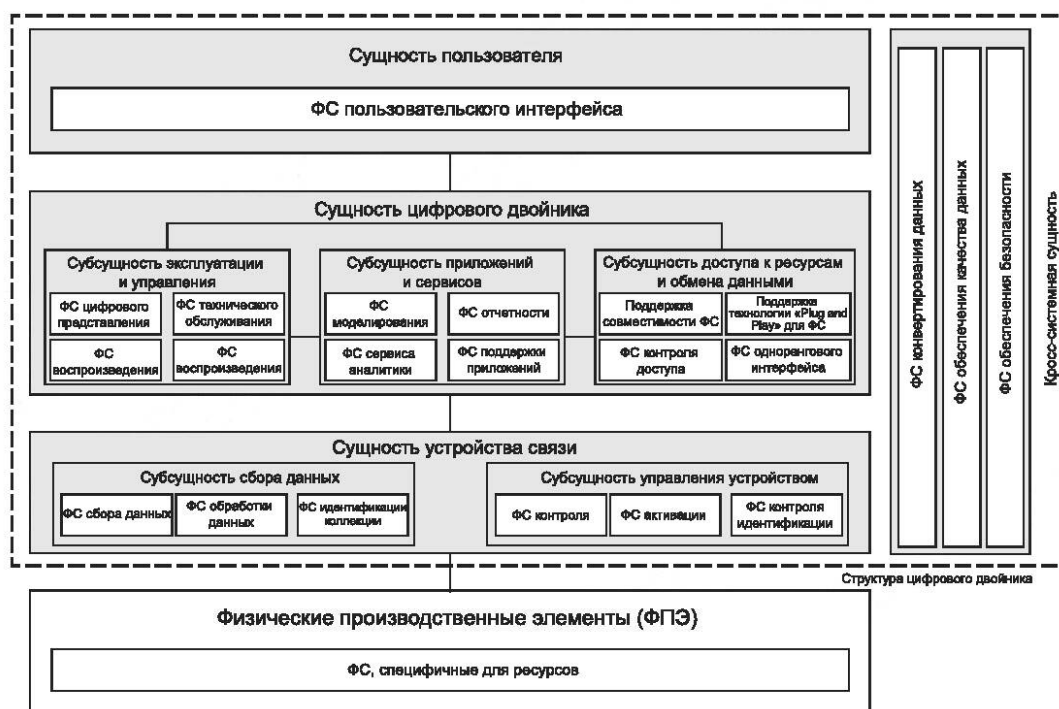


Рисунок 4 — Функциональные представления

7.2 Функциональные элементы сущности сбора данных

7.2.1 Функциональные элементы субсущности сбора данных

ФС сбора данных собирает информацию от ФПЭ.

ФС предварительной обработки данных обрабатывает собранные данные. Примерами предварительной обработки являются фильтрация и агрегация.

ФС идентификации коллекции идентифицирует необходимые данные от ФПЭ.

7.2.2 Функциональные элементы субсущности управления устройством

Управляющая ФС контролирует ФПЭ, отправляя устройствам команды на понятном им языке.

ФС активации приводит в действие ФПЭ в ответ на запрос от сущности пользователя или сущности цифрового двойника.

ФС контроля идентификации выполняет идентификацию ФПЭ как уникального и однозначного объекта управления.

7.3 Функциональные элементы сущности цифрового двойника

7.3.1 Функциональные элементы субсущности эксплуатации и управления

7.3.1.1 ФС синхронизации

ФС синхронизации согласует состояние ЦД с состоянием соответствующего ФПЭ.

7.3.1.2 ФС воспроизведения

ФС воспроизведения представляет информацию (возможно, в сочетании с цифровым представлением ФС) в необходимом формате, например в виде текста, изображения, таблицы, диаграммы, видео или аудио, подходящем для обработки человеко-машинным интерфейсом (ЧМИ).

7.3.1.3 ФС цифрового представления

ФС цифрового представления моделирует информацию от ФПЭ для отображения его физических характеристик, состояния и т. д.

7.3.1.4 ФС технического обслуживания

ФС технического обслуживания поддерживает работоспособность ЦД, включая мониторинг показателей, выявление ошибок и устранение аномалий.

7.3.2 Функциональные элементы субсущности приложений и сервисов

7.3.2.1 ФС моделирования

ФС моделирования прогнозирует поведение ФПЭ.

7.3.2.2 ФС сервиса аналитики

ФС сервиса аналитики анализирует данные, собранные от ФПЭ, и результаты моделирования, а также управляет этими аспектами.

7.3.2.3 ФС отчетности

ФС отчетности генерирует отчеты о показателях производства, прогнозах моделирования и результатах анализа данных.

7.3.2.4 ФС поддержки приложений

ФС поддержки приложений предоставляет сервисы для развертывания приложений, таких как приложения для предиктивного и реагирующего технического обслуживания, приложения с открытым и замкнутым контуром.

7.3.3 Функциональные элементы субсущности доступа к ресурсам и обмена данными

7.3.3.1 Поддержка совместимости ФС

Поддержка совместимости ФС позволяет интегрировать ЦД с другими системами, такими как ERP и PLM.

7.3.3.2 ФС контроля доступа

ФС контроля доступа управляет доступом пользователей к ФПЭ наряду с ФС обеспечения безопасности.

7.3.3.3 Поддержка технологии «Plug and Play» для ФС

Поддержка технологии «Plug and Play» для ФС позволяет динамически подключать ФПЭ к его ЦД.

7.3.3.4 ФС однорангового интерфейса

ФС однорангового интерфейса предоставляет интерфейсы для других ЦД в сочетании с поддержкой совместимости ФС.

7.4 Функциональная сущность пользовательского интерфейса

ФС пользовательского интерфейса связывает сущность пользователя с сущностью ЦД.

7.5 Функциональные элементы кросс-системной сущности

7.5.1 ФС обеспечения качества данных

ФС обеспечения качества данных гарантирует точность и целостность данных в сочетании с ФС обеспечения безопасности.

7.5.2 ФС обеспечения безопасности

ФС обеспечения безопасности отвечает за безопасность ЦДП, включая функции аутентификации, авторизации, сохранения конфиденциальности и целостности.

7.5.3 ФС конвертирования данных

ФС конвертирования данных осуществляет преобразование форматов данных, которыми обмениваемых сущности, описанные в 6.3. К функциям конвертирования относятся преобразование протокола, адаптация синтаксиса, семантическая осведомленность и т. д.

УДК 006.34:004.056:004.056.5:004.056.53:006.354

ОКС 35.240.50

Ключевые слова: цифровой двойник, цифровой двойник производства, эталонная модель, эталонная архитектура

Редактор *Н.В. Таланова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Р.А. Ментова*
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 10.12.2024. Подписано в печать 17.12.2024. Формат 60×84 $\frac{1}{8}$. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,58.

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