



ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ПНСТ
992—
2024
(МЭК 63339:2024)

Умное производство

**УНИФИЦИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ
ДЛЯ УМНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

(IEC 63339:2024, Unified reference model for smart manufacturing, MOD)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2025

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (ФГАОУ ВО «СПбПУ») и Некоммерческим партнерством «Русское общество содействия развитию биометрических технологий, систем и коммуникаций» (Некоммерческое партнерство «Русское биометрическое общество») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 194 «Кибер-физические системы»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 декабря 2024 г. № 120-пнст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту МЭК 63339:2024 «Унифицированная типовая модель для умного производства» (IEC 63339:2024 «Unified reference model for smart manufacturing», MOD) путем изменения отдельных фраз (слов, значений показателей, ссылок), которые выделены в тексте курсивом.

Внесение указанных технических отклонений направлено на учет потребностей национальной экономики Российской Федерации.

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ Р 1.5—2012 (пункт 3.5)

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: 115324 Москва, Овчинниковская набережная, д. 20, стр. 2, помещ. 34, e-mail: info@tc194.ru, и/или в Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии: 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)

© IEC, 2024

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2025

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 Сокращения4

5 УМУП в концепциях умного производства5

6 Концепции типовой модели6

7 Измерения УМУП15

8 Использование УМУП.....24

9 Варианты использования УМУП28

10 Семейство эталонных моделей, основанных на УМУП.....32

Библиография35

Введение

«Производство» относится к ряду видов человеческой деятельности, от ручной работы до высоких технологий, и обычно применяется к промышленному производству, где сырье и детали преобразуются в готовые товары в малых и больших масштабах с помощью ряда взаимосвязанных процессов. Умное производство (УП) является новой характеристикой производства, достигнутой с помощью цифровых технологий, постепенно выстроенной посредством цифровой трансформации, сочетающей разнообразие и единообразие, демонстрирующей непрерывную поставку ценности с помощью очень сложного набора процессов, взаимодействующих в разных временных масштабах. В современном промышленном ландшафте производство характеризуется уже не как набор последовательных процессов, а как тесно взаимосвязанный набор распределенных процессов, которые могут взаимодействовать в разных временных масштабах. Набор контрольных процессов обеспечивает координацию этих распределенных процессов с помощью связей, которые позволяют динамически реагировать на изменяющиеся условия спроса, предложения, окружающей среды, энергии и других человеческих или естественных вероятностных событий. Поскольку эти вероятностные события неизвестны до возникновения, они часто являются разрушительными и приводят к изменению условий.

Цель умного производства — приспособиться к разрушительным событиям, одновременно поддерживая внедрение новых технологий и методов скоординированным образом среди различных клиентов, поставщиков и заинтересованных сторон на различных этапах цепочки создания стоимости.

Настоящий стандарт определяет унифицированную эталонную модель для умного производства (УМУП) для создания специальных моделей доменов и приложений для инициатив умного производства, указывая необходимую структуру и терминологию для описания таких моделей. УМУП применима во многих доменах и приложениях, существующих на производственном предприятии. На рисунке 1 показан подход к анализу метамоделирования для типовых моделей умного производства.

Типовые модели умного производства (ТМУП), которые соответствуют требованиям настоящего стандарта, предоставляют разработчикам стандартов и практикующим специалистам УП лучшие возможности для внедрения моделей производственных систем и продуктов, которые в полной мере используют преимущества технологических инноваций. Эти инновации происходят:

- во время анализа и синтеза с использованием производственных моделей;
- применения новых материалов, процессов и оборудования;
- понимания появления концепций цифровых двойников и других технологий умного производства.

УМУП не является визуализацией или реализацией одной модели. УМУП — это спецификация для семейства типовых моделей с общими структурными и поведенческими свойствами, предназначенная для содействия взаимодействию.

Примечание — Дополнительная информация об отношениях между моделями и между их производными описана в 8.2.

Для поддержания разнообразия существующих типовых моделей, их адаптации к новым вариантам применения и появления новых типовых моделей, использующих преимущества эволюции производственных технологий, УМУП объединяет концепции существующих стандартов и практик.

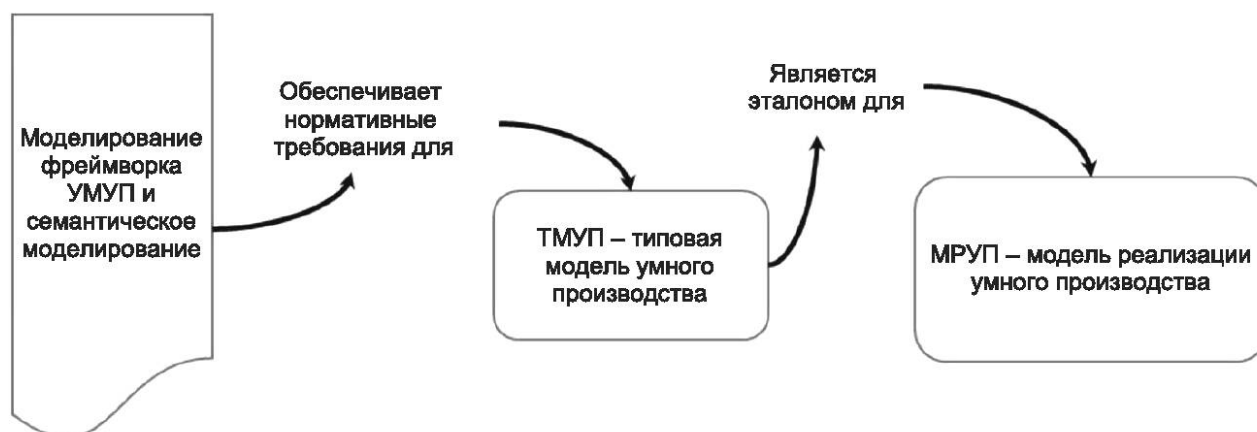


Рисунок 1 — Использование УМУП

Подход к УМУП имеет два основных компонента. Первый — это моделирование фреймворка, который учитывает различные расположения производственных элементов в конфигурациях, соответствующих областям производственных предприятий. Второй — концептуализация семантических моделей, которые находятся в рамках моделируемой структуры. Краткая терминология УМУП поддерживает как моделирование фреймворка, так и концептуальные семантические модели.

Умное производство:

- достигается с использованием цифровых технологий;
- спроектировано для снижения уровня сложности;
- постепенно наращивается посредством цифровой трансформации;
- демонстрирует непрерывную поставку ценности;
- координирует все заинтересованные стороны.

УМУП предоставляет средства для создания ТМУП, которые позволяют проектировать цифровые решения для поставки дополнительной ценности от производственных операций. Результатом являются улучшенные аспекты производительности с интегрированным и грамотным использованием процессов и ресурсов в кибернетической, физической и человеческой сферах для создания и поставки продуктов и услуг, которые также взаимодействуют с другими областями в цепочках создания стоимости.

В настоящем стандарте определяется набор критериев для организации аспектов умного производства в виде типовых моделей. Важные взаимосвязи между производственными элементами позволяют проводить полезные исследования и проектировать производные модели для достижения определенной цели, а также поддерживать и улучшать полученную систему с помощью методов анализа и синтеза.

УМУП обеспечивает понимание моделирования аспектов производственных элементов, которые следует учитывать при разработке новых элементов. Методы интеллектуальной поддержки для осуществления этой разработки или модификации могут потребовать перехода от существующей практики к более унифицированному подходу на основе моделей.

УМУП выходит за рамки репрезентативных промышленных элементов и позволяет использовать моделирование для изучения взаимодействий между этими элементами и для решения проблем, возникающих в производстве.

УМУП обеспечивает:

- изучение ценности в рамках сети создания ценности;
- существование ряда соответствующих библиотек, описывающих варианты использования, интерфейсы и семантические модели;
- представление в виде многомерного пространства различных аспектов производства, продукции и умных технологий и их взаимосвязей на протяжении их соответствующих жизненных циклов;
- однозначное понимание информации, данных и языков моделирования;
- создание индивидуальных моделей умного производства, которые решают конкретные проблемы заинтересованных сторон.

УМУП поддерживает все три модальности взаимодействия (унифицированную, интегрированную и федеративную), которые могут сосуществовать в рамках моделирования фреймворка, хотя и с различной степенью эффективности и результативности (см. *ГОСТ Р ИСО 11354-1*). Наличие формального понимания моделирования фреймворка позволяет более эффективно использовать эту структуру.

В разделе 5 рассмотрены аспекты производства, связанные с «умным производством».

В разделе 6 представлена концепция, необходимая для построения типовых моделей умного производства.

В разделе 7 установлены критерии проверки взаимодействия аспектов производства.

В разделе 8 описаны способы использования УМУП для создания типовых моделей для достижения конкретных целей.

В разделе 9 представлены варианты использования УМУП и прогресса маркеров возможностей.

В разделе 10 рассматриваются способы использования типовых фреймворков для расширенного анализа и синтеза систем, используемых в умном производстве.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Умное производство

УНИФИЦИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ УМНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Unified reference model for smart manufacturing

Срок действия — с 2025—02—01

до 2028—02—01

1 Область применения

Настоящий стандарт определяет унифицированную модель для умного производства (УМУП), а также устанавливает критерии для создания типовых моделей в качестве специализаций, поддерживающих умное производство. Терминология и структура содержат набор общих элементов моделирования, их ассоциаций и критериев соответствия. Общие элементы моделирования затрагивают аспекты и перспективы продуктов и производства, а также аспекты их жизненного цикла.

УМУП обеспечивает подход к созданию нескольких моделей на основе типовой модели, которой достаточно для понимания существенных взаимоотношений между организациями, участвующими в умном производстве (УП), а также для разработки стандартов и других спецификаций.

Спецификации УМУП в настоящем стандарте охватывают последовательные и совместимые специализации для соответствующих аспектов производственных систем, состоящих из оборудования, продуктов и услуг в сфере производства. Положения настоящего стандарта применимы для типовой модели умного производства (ТМУП) или развития существующих возможностей ТМУП, например улучшения возможностей анализа и синтеза технологических достижений, а также улучшения совместимости новых и существующих систем.

Вопросы совместимости и схемы данных моделей выходят за рамки настоящего стандарта.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 57100/ISO/IEC/IEEE 42010:2011 Системная и программная инженерия. Описание архитектуры

ГОСТ Р 59556 Измерения и управление в производственных процессах. Структуры и элементы данных в каталогах производственного оборудования. Часть 10. Перечни свойств для измерений и управления в производственных процессах для электронного обмена данными. Основные положения

ГОСТ Р 59557 Измерения и управление в производственных процессах. Структуры и элементы данных в каталогах производственного оборудования. Часть 11. Перечни свойств измерительного оборудования для электронного обмена данными. Общие структуры

ГОСТ Р 59558 Измерения и управление в производственных процессах. Структуры и элементы данных в каталогах производственного оборудования. Часть 12. Перечни свойств оборудования для измерения потока для электронного обмена данными

ГОСТ Р 59559 Измерения и управление в производственных процессах. Структуры и элементы данных в каталогах производственного оборудования. Часть 13. Перечни свойств оборудования для измерения давления для электронного обмена данными

ГОСТ Р 59560 Измерения и управление в производственных процессах. Структуры и элементы данных в каталогах производственного оборудования. Часть 92. Перечни свойств (LOP) измерительного оборудования для электронного обмена данными. LOP аспектов

ГОСТ Р 59794/ISO/TS 15926-12:2018 Системы автоматизации производства и интеграция. Интеграция данных жизненного цикла перерабатывающих предприятий, включая нефтяные и газовые производственные предприятия. Часть 12. Онтология объединения жизненного цикла в сетевом языке онтологий (OWL)

ГОСТ Р 59799 Умное производство. Модель эталонной архитектуры индустрии 4.0 (RAMI4.0)

ГОСТ Р 70232 Измерения и управление в производственных процессах. Структуры и элементы данных в каталогах производственного оборудования. Часть 14. Перечни свойств оборудования для измерения температуры для электронного обмена данными

ГОСТ Р 70233 Измерения и управление в производственных процессах. Структуры и элементы данных в каталогах производственного оборудования. Часть 15. Перечни свойств оборудования для измерения уровня для электронного обмена данными

ГОСТ Р 70234 Измерения и управление в производственных процессах. Структуры и элементы данных в каталогах производственного оборудования. Часть 16. Перечни свойств оборудования для измерения плотности для электронного обмена данными

ГОСТ Р ИСО 11354-1 Усовершенствованные автоматизированные технологии и их применение. Требования к установлению интероперабельности процессов промышленных предприятий. Часть 1. Основа интероперабельности предприятий

ГОСТ Р ИСО 13584-1 Системы атоматизации производства и их интеграция. Библиотека деталей. Часть 1. Обзор и основные принципы

ГОСТ Р ИСО 19440 Интеграция предприятия. Конструкции для моделирования предприятий

ГОСТ Р ИСО 22745-1 Системы промышленной автоматизации и интеграция. Открытые технические словари и их применение к основным данным. Часть 1. Общие сведения и основополагающие принципы

ГОСТ Р МЭК 61360-2 Стандартные типы элементов данных с ассоциированной схемой классификации электрических компонентов. Часть 2. Словарная схема EXPRESS

ГОСТ Р МЭК 61512-1 Управление серийным производством. Часть 1. Модели и терминология

ГОСТ Р МЭК 61987-1 Измерения и управление в производственных процессах. Структуры и элементы данных в каталогах производственного оборудования. Часть 1. Измерительное оборудование с аналоговыми и цифровыми выходами

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 аспект (aspect): Маркированное обозначение набора понятий в определенном контексте.

Пример — *Функциональный, структурный, информационный аспекты; аспект безопасности, доступности.*

Примечания

- 1 Аспект часто выражается как взгляд на одну или несколько моделей производственной системы.
- 2 Элементы аспекта могут иметь функциональные, нефункциональные или другие виды дескрипторов.
- 3 Определение аспекта часто является результатом предшествующих знаний, опыта и практики в области, к которой применим этот аспект.

3.2 аспектное взаимодействие (aspect interaction): Связь между двумя или более аспектами, когда один аспект влияет или находится под влиянием другого аспекта.

Примечание — Влияние включает, помимо прочего, зависимость и контроль.

3.3 бизнес (business): Ряд процессов, каждый из которых имеет четко понимаемую цель, реализуемых посредством обмена информацией и направленных на достижение некоторой взаимно согласованной цели, продолжающихся в течение определенного периода времени, при участии одного или нескольких человек.

3.4 комплексный <контекст> (complex): Ситуация принятия решения, характеризующаяся неупорядоченными переменными решения и плохо определенными категориями, критериями и зависимостями.

3.5 сложный <контекст> (complicated): Ситуация принятия решения, характеризующаяся четко определенными переменными решения, категориями, критериями и зависимостями.

3.6 проблема (concern): Вопрос, имеющий отношение или важность для заинтересованной стороны, касающийся производственной системы или ее элемента.

3.7 измерение (dimension): Последовательный набор аспектов, относящихся к производственной области.

3.8 элемент (element): Материальная или нематериальная составляющая производственной системы или продукта.

Примечание — Составляющая может варьироваться от атомов сырья, логических конструкций, элементов информации до производственных моделей, оборудования, фабрик, заводов, цепочек поставок, сети добавленной стоимости, готовых товаров, программного обеспечения и услуг.

3.9 фасет (facet): Структура, состоящая из одного или нескольких измерений.

Примечание — Правила композиции для последовательных измерений отличают фасеты от других структур моделирования.

3.10 детализация (granularity): Степень специфичности.

3.11 жизненный цикл (life cycle): Ряд различных фаз (стадий) и этапов в рамках фаз, которые проходит сущность от ее создания до окончания существования.

Примечание — Фазы встроенного предприятия могут быть этапами в рамках жизненного цикла вменяющего предприятия.

3.12 производство (manufacture): Любая или все виды деятельности по проектированию, закупкам, строительству, вводу в эксплуатацию, развертыванию, проверке, тестированию, производству, хранению, маркировке, упаковке или распространению продукции и производственных систем.

3.13 производственная область (manufacturing domain): Часть бизнеса, связанная с производством продукции.

3.14 метамодель (meta-model): Описание элементов моделирования для использования при построении моделей, относящихся к предметной области.

Примечание — Метамодель всегда соотносится с моделью, в которой присутствуют ее элементы моделирования.

3.15 модель (model): Упрощенное, целенаправленное представление определенных сущностей, их характеристик и отношений либо с использованием формального подхода или с использованием устоявшихся парадигмы, подхода или техники специально разработанного моделирования.

Примечания

- 1 Специально разработанную модель сложнее выполнить, используя общепринятые технологии проектирования.
- 2 Модель может быть частью более крупной модели.

3.16 вид модели (model kind): Категория модели, отличающаяся своими ключевыми характеристиками и соглашениями о моделировании.

Примечание — Примеры видов модели включают функциональные модели, модели деятельности, структурные модели, модели вариантов использования, геополитические модели, аналитические модели, экономические модели.

3.17 точка зрения (perspective): Способ мышления об интересующем объекте.

3.18 эталонная архитектура (reference architecture): Набор общих архитектурных элементов для определенного домена и их общих отношений, которые можно использовать для получения конкретной архитектуры для достижения определенной цели в этом домене.

3.19 эталонная модель (reference model): Абстрактное описание или онтология, специфичная для предметной области, состоящая из взаимосвязанного набора четко определенных понятий.

Примечание — Эталонная модель может представлять собой составные части любой последовательной идеи, от бизнес-функций до системных компонентов, при условии, что она представляет собой полный набор.

3.20 семантическая модель (semantic model): Вид модели, который передает смысловое содержание по отношению к элементам модели или к модели в целом.

3.21 заинтересованная сторона, правообладатель (stakeholder): Индивидуум, команда, организация или их группы, имеющие интерес в системе.

3.22 цепь поставок (supply chain): Совокупность организаций со взаимосвязанным набором ресурсов и процессов, каждая из которых выступает в качестве приобретающей стороны, поставщика или одновременно в качестве обеих сторон, для формирования последовательных отношений с поставщиками, установленных при размещении заказа на поставку, заключении договора или другого официального контракта на поставку.

3.23 система (system): Комбинация взаимодействующих элементов, организованных для достижения одной или нескольких поставленных целей.

3.24 вариант использования (use case): Способ ввода потенциальных функциональных требований, предусматривающий использование одного или более сценариев, которые сообщают, каким образом система должна взаимодействовать с конечным пользователем или другой системой для достижения конкретной цели.

Примечание — Обычно при реализации вариантов использования система представляется как «черный ящик», и взаимодействия с системой, включая ответы системы, распознаются за пределами системы.

3.25 цепочка создания стоимости (value chain): Последовательность действий, которая позволяет получать ценность в виде продуктов или услуг.

3.26 представление (view): Селективное восприятие или отображение модели, которая особо выделяет некоторые конкретные особенности или характеристики и игнорирует другие.

4 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

АТД	— абстрактный тип данных;
МРУП	— модель реализации умного производства;
МСБ	— малый и средний бизнес;
РБНФ	— расширенная форма Бэкуса — Наура (расширенная Бэкус — Наурова форма);
ТМУП	— типовая модель умного производства;
УМУП	— унифицированная модель для умного производства;
IIC	— Консорциум промышленного интернета (The Industry IoT Consortium);
OMG	— группа управления объектами (Object Management Group);
OWL	— язык веб-онтологий (Web Ontology Language);
RAMI 4.0	— модель эталонной архитектуры индустрии 4.0 (Reference Architecture Model Industrie 4.0);
RDFS	— схема структуры описания ресурсов (Resource Description Framework Schema);
SysML	— язык моделирования систем (System Modelling Language);
UML	— унифицированный язык моделирования (Universal Modelling Language);

URI	— унифицированный идентификатор ресурса (Universal Resource Identifier);
UUID	— универсальный уникальный идентификатор (Universally Unique Identifier);
XML	— расширяемый язык разметки (eXtensible Markup Language).

5 УМУП в концепциях умного производства

Используя подход семейства моделей, при котором множество моделей, соответствующих заданным целям, могут быть выведены из одной и той же парадигмы, УМУП квалифицирует методологии для изучения воздействия умных технологий в контексте умного производства и позволяет выявить многие проблемы, встречающиеся на практике.

УМУП — это набор принципов и практик, касающихся:

- построения репрезентативных структур для умного производства;
- рекомендаций по внедрению типовых моделей умного производства;
- предложений или примеров существующих или потенциальных представлений типовых моделей умного производства;
- критериев для определения элементов моделирования, необходимых для принятия решений в контексте умного производства.

Чтобы улучшить представление и последующее изучение задач умного производства, в настоящем стандарте определены три категории, которые являются общими для всех производственных ситуаций и могут охватывать весь жизненный цикл производства и его цепи поставок. Такими фундаментальными категориями для понимания возможностей умного производства и достижения положительных результатов являются:

- элементы, включающие производство и продукцию от сырья до готовых продуктов, находящихся в эксплуатации;
- отношения между элементами, отражающими динамические взаимодействия элементов производства и продукции;
- производство и жизненные циклы продукции в производственной среде.

Эти фундаментальные категории по-разному характеризуют задачи умного производства. В центре внимания настоящего стандарта находится типовая модель, которая предлагает унифицированный способ представления разнообразия и использования моделей для изучения взаимодействия производственных элементов в контексте умного производства.

Моделирование структуры обладает двумя основными качествами, связанными с целенаправленным взаимодействием производственных элементов: 1) аналитическим — для идентификации элементов производства и их взаимосвязей, образующих единое целое для производственного предприятия, относительно целевой операционной системы; и 2) синтетическим — для идентификации элементов и отношений внутри производственного предприятия, которые должны взаимодействовать для создания нового целого или его части в качестве операционной системы.

Аналитическое качество предлагает подход декомпозиции, тогда как синтетическое качество предлагает композиционный подход. Для умного производства аналитическое качество позволяет изучить потенциально разрушительные последствия, которые возникают, когда новые технологии и новые методологии внедряются в устоявшуюся операционную систему. Синтетическое качество позволяет создавать новые конфигурации производственных элементов и отношений, включающие технологии и методологии умного производства, после устранения любых разрушительных воздействий и появления новых возможностей взаимодействия.

Использование аналитического и синтетического качеств обеспечивает основу для базовых вариантов использования типовых моделей в умном производстве. И для аналитического, и для синтетического качества понимание прочной основы моделирования, а также полезности и пригодности этой основы для достижения цели моделирования имеют важное значение для эффективного использования структуры [1].

В настоящем стандарте определены четыре концептуальные области, связанные с умным производством:

- аспекты производства и продуктов, которые идентифицируют элементы производства в конкретной области умного производства;
- перспективы производства и продуктов, которые определяют характеристики, важные для заинтересованных сторон в этой области;

- основы жизненного цикла, влияющие на аспекты и перспективы;
- моделирование элементов производства с использованием семантических моделей.

Примечание — Аспекты связаны с характеристиками продукции или производственной системы (моделируемого объекта); перспективы связаны с соображениями заинтересованных сторон (пользователя продукта).

В настоящем стандарте семантическое моделирование определяется как средство выражения содержания моделирования для трех концептуальных областей, связанных с умным производством. Различные степени семантического моделирования позволяют достаточным образом проработать аспекты умного производства, что позволяет анализировать возможности, синтезировать передовые технологии и улучшать функциональную совместимость, связанную с концептуальными областями умного производства.

6 Концепции типовой модели

6.1 Моделирование умного производства

Моделирование является эффективным подходом к систематизации деятельности по разработке и эксплуатации систем с использованием передовых информационных технологий. Цифровая трансформация деятельности в области моделирования, произошедшая за последние 30 лет, теперь предлагает большую вычислительную мощность и широкий набор функций репозитория, необходимых для управления представлением очень сложных систем способами, которые ранее были невозможны. Однако для обеспечения совместимости компонентов и систем необходимо выявление общих черт моделей умного производства.

Типовая модель дает представление об аспектах системы, которые следует учитывать при разработке новой системы или модификации существующей системы, и может предоставить соответствующие механизмы для осуществления разработки или модификации. Типовые модели, основанные на УМУП, обеспечивают общую основу для разработки отдельных систем и позволяют интерпретировать их как целостную систему путем повторного использования общих характеристик отдельных систем.

Не все ТМУП соответствуют требованиям и рекомендациям УМУП, однако цель настоящего стандарта состоит в том, чтобы обеспечить создание УМУП, соответствующей ТМУП, либо в виде новой модели, либо путем развития существующих ТМУП.

Использование термина ТМУП в настоящем стандарте всегда относится к моделям, которые соответствуют требованиям и рекомендациям УМУП. Многие существующие ТМУП хотя бы частично соответствуют УМУП.

ТМУП, соответствующая УМУП, определяет ее предполагаемое использование в соответствующей производственной области с соответствующими действиями, процессами, ресурсами и информацией, а также их взаимосвязями.

УМУП определяет, что соответствующие аспекты производства включают составляющие их виды деятельности, процессы, ресурсы и информацию, а также их отношения. Начиная с ТМУП, можно систематически создавать более конкретные модели для достижения целевой конфигурации и реализации системы.

Уточнение и стандартизация УМУП на различных уровнях абстракции ТМУП необходимы для повышения эффективности процессов разработки за счет повторного использования составляющих ресурсов при разработке и эксплуатации системы.

Для улучшения согласованности семантических моделей и уточнения соответствующих взаимосвязей между производством, продукцией соответствующими внешними эффектами ТМУП должна учитывать широкий спектр точек зрения и предлагать способы отфильтровать те точки зрения, которые мало или вообще не имеют отношения к конкретной цели (см. 6.9).

6.2 Цель моделирования

Предшественником любой деятельности, включающей создание модели, является четкое понимание цели моделирования. Кроме того, поскольку каждая модель представляет собой абстракцию, физическую или логическую, идентифицируемого артефакта, эта цель требует четкой связи с одним или несколькими аспектами этого артефакта.

Следует различать модель артефакта и сам артефакт. Это различие особенно важно в контексте анализа и синтеза цели типовой модели, где артефактом обычно является другая модель, а не существующая реализация. Аспект типовой модели может относиться к свойствам экземпляра, который в два или более раз удален от его логической, физической или описательной идентификации, специфичной для предметной области.

Пример — В фармацевтической промышленности понятие вакцины (экземпляра) реализовано в реальном мире. Однако при рассмотрении концепции новой вакцины этапы перевода вакцины из лаборатории в крупномасштабное производство очень сложны. «Модель» производства вакцины требует тщательной интеграции цепи поставок, начиная с источников (стеклянные флаконы, субстрат для вакцины и т. д.), реакторов для производства вакцин, наполнения и упаковки флаконов, отслеживания вакцины, обеспечивающего надлежащий экологический контроль, и распределения вплоть до доставки обществу.

Артефактом модели реализации является фактически действующая производственная система. Поскольку эта система имеет множество аспектов, может существовать множество моделей реализации одной и той же производственной системы. Каждая модель реализации относится к одному или нескольким аспектам артефакта.

Любая деятельность по моделированию должна начинаться с четко определенной цели, которая определяет контекст, задачи моделирования и фокусирует деятельность по моделированию.

Примечание — Задачи могут быть выражены разными способами, например требованиями, целями, возможностями, а также желаемыми эффектами.

Хотя типовую модель иногда можно использовать так же, как и модель реализации, в большинстве случаев типовая модель обеспечивает основу для создания более конкретных моделей реализации. Таким образом, в настоящем стандарте целью типовой модели является обеспечение возможности создания и понимания моделей реализации в области умного производства.

Вследствие широкого разнообразия современных производственных систем сегодня используется множество типовых моделей, специфичных для конкретной предметной области. Целью УМУП является установление критериев, которые будут служить ориентиром при разработке типовых моделей для конкретной предметной области, с использованием парадигмы умного производства.

6.3 Измерения моделирования

Производственные предприятия представляют собой сложный и часто комплексный набор ресурсов, людей, процессов и продуктов, каждый из которых состоит из множества различных переменных. Чтобы действовать эффективно и результативно в производственном контексте, где применяются знания проектирования и управления производством для повышения ценности продуктов, товаров и услуг, необходимо понимание масштабов и взаимосвязей между этими переменными.

Переменные должны быть отражены в моделях, которые могут отражать масштабы и взаимосвязи между переменными. При разработке модели применяют существующие знания для создания одной или нескольких моделей, представляющих подходы к решению проблем заинтересованных сторон, используя соответствующие методы моделирования. Модели используются для создания представлений модели, соответствующих определенным точкам зрения, для фокусировки на одной или нескольких проблемах и возможных способах их решения.

Представления модели, которые могут быть частями более крупной модели, содержат набор концепций в определенном контексте и, таким образом, соответствуют определению аспекта. Некоторые аспекты являются результатом агрегирования или композиции представлений более чем одной модели. Множество возможных аспектов составляет пространство решений, соответствующее пространству проблем. Однако чаще всего не все проблемы заинтересованных сторон и не все аспекты имеют отношение к цели моделирования.

Чтобы было возможно наилучшим образом анализировать и использовать знания, имеющиеся в аспектах производства, аспекты должны быть организованы в наборы, отделенные от всех идентифицированных аспектов таким образом, чтобы набор аспектов был согласован с представлениями модели, которые различают аспекты. Последовательный набор аспектов, состоящий из представлений модели, является измерением моделирования производства. Многие измерения производства описаны в стандартах.

УМУП учитывает существующие измерения моделирования, их эволюцию и способы появления новых измерений.

6.4 Согласованность измерений

Для обеспечения согласованности измерения должны соответствовать двум основным критериям: 1) каждый аспект измерения имеет четко определенный контекст и 2) контексты аспектов измерения имеют четко определенные общие контекстуальные отношения. Критерии определения контекста аспекта и измерения могут устанавливать порядок среди аспектов, хотя этот порядок не обязательно подразумевает последовательность, зависимость или иерархию между аспектами. Порядок аспектов может представлять собой независимые равнозначные по отношению к цели моделирования аспекты, организованные для этой цели и подлежащие реорганизации для другой цели (см. 7.2.1).

Модели аспектов могут варьироваться от абстрактных графических информационных моделей или текстовых описаний до подробных моделей данных или моделей деятельности. Модели такого типа относятся к широкому спектру методов моделирования и описательных методов. Часто для эффективного взаимодействия с разными группами заинтересованных сторон и разработчиками производственных элементов необходимы разные методы моделирования для одного и того же контекста.

Общие отношения между контекстами аспектов могут быть как простыми (например, идентичные артефакты модели, появляющиеся в каждом контексте аспекта), так и сложными (например, единая семантическая модель, охватывающая все аспекты измерения).

Примечание — Более формальные требования к контексту определены в 7.2.1.

Полезность измерения моделирования для анализа и синтеза в области умного производства напрямую связана с детализацией и точностью семантических моделей, которые обеспечивают описания контекста аспекта и общих контекстуальных отношений между аспектами измерения. Кроме того, по мере того как детализация и точность семантических моделей становятся более тесно связанными с действующей производственной реальностью, чувствительность моделей к обнаружению и выявлению последствий разрушительных изменений в производственной среде возрастает.

Примеры

1 Маркетингу требуется уровень детализации, отличный от производства. Если целью моделирования является обслуживание обеих этих заинтересованных сторон, то семантическая модель должна поддерживать оба варианта использования, позволяя получать определенные представления, извлеченные из одной или нескольких моделей, которые охватывают интересы обеих сторон.

2 В фармацевтическом производстве производство вакцины (продукта) требует детальной модели конструкции и работы реактора. Изменения в рецепте вакцины могут привести к детальным изменениям модели реактора или к упрощению этапов рецепта. Изменения в конструкции реактора также могут повлиять на производственную линию, которая расфасовывает и упаковывает вакцину во флаконы.

Примечание — Акцент и усилия по созданию «цифровых двойников» являются прямым результатом понимания полезности цифровых семантических моделей с высокой степенью детализации и высокой точностью для существующих производственных элементов физического мира.

6.5 Заинтересованные стороны

Настоящий стандарт в первую очередь актуален для двух типов заинтересованных сторон: разработчиков стандартов умного производства и практикующих специалистов умного производства.

Разработчики стандартов умного производства — это лица и организации, которым поручено определять требования, связанные с ведением деятельности системы умного производства. Их работа варьируется от разработки типовых моделей для описания архитектуры предприятия и системы (а также сценариев их использования) до методов семантического моделирования производственных элементов. Разработчики стандартов умного производства должны предоставить необходимые ресурсы, например инструменты и документацию для моделей, для последующих задач умного производства.

Практикующие специалисты умного производства — это люди и организации, которые участвуют в применении инструментов, технологий и методов в любой точке цепи поставок или создания стоимости для задач умного производства.

Как разработчики стандартов, так и практикующие специалисты умного производства могут разрабатывать, конструировать или использовать модели различных видов.

6.6 Проблематика

Проблема — это существенное, целенаправленное выражение интереса к одному или нескольким элементам производственной системы с точки зрения одной или нескольких заинтересованных сторон. Основной задачей разработчиков стандартов умного производства должно быть удовлетворение потребностей практикующих специалистов путем предоставления средств и методов для определения точки зрения относительно этих проблем.

Проблема практикующих специалистов умного производства обычно связана с информацией, специфичной для предметной области и конкретной цели, методами моделирования и ожиданиями от результатов моделирования. Поскольку проблемы практикующих специалистов тесно связаны с узкоспециализированными перспективами практического применения, разработчики стандартов умного производства должны предоставить комплексную типовую модель с широким спектром возможностей для выражения, изучения и обеспечения деятельности практикующих специалистов.

Выражение проблемы может принимать различные формы. Наиболее эффективными формами являются вопросы об особенностях или характеристиках, ключевые слова и ожидаемые показатели качества производственной системы или ее продуктов и услуг. Высокодетализированные варианты использования могут выявить проблемы, связанные с определенным сценарием применения умного производства.

6.7 Варианты использования

Эффективным способом документации проблемы является разработка варианта использования, который предусматривает один или несколько сценариев, отражающих взаимодействие производственного элемента с конечными пользователями или другими производственными элементами для достижения конкретной цели. Вариант использования позволяет определить одну или несколько проблем и таким образом сформулировать рекомендации для разработчиков моделей умного производства. Вариант использования особенно эффективен для выявления и представления поведения новых технологий или нового применения существующих технологий.

Практикующие специалисты умного производства должны разработать варианты использования, которые в достаточной степени детализируют производственный сценарий и ожидаемые результаты.

Варианты использования с несколькими сценариями и множеством задач часто используют больше точек зрения. Такие сложные варианты использования могут предоставить разработчикам моделей дополнительную информацию относительно соответствия точек зрения парадигме моделирования для задач умного производства.

Примечание — Вариант использования наиболее уместен, когда его объем полностью соответствует цели моделирования умного производства, для которой он разработан, и результаты, описанные в нем, однозначны.

Вариант использования может принимать одну из нескольких форм в зависимости от степени детализации цели, для которой он создан. Вариант использования может охватывать абстрактные или конкретные ситуации. Варианты использования в бизнесе, как правило, более абстрактны, имеют общий набор терминов из бизнес-сектора и могут существовать на разных уровнях организации, однако по мере повышения детализации терминология и методология начинают расходиться, а связь с бизнес-кейсом становится менее ясной.

Хотя сценарии применения вариантов использования могут распространяться на разные отрасли, репозиторий вариантов использования часто наиболее полезен для предприятий в промышленном секторе.

Примечание — Тема репозитория вариантов использования не рассматривается в УМУП явно.

Существует несколько шаблонов вариантов использования. Шаблоны вариантов использования и репозитории могут быть ресурсами для адаптации к конкретным проблемам предметной области.

Производственные мощности включают в себя ряд различных заинтересованных сторон и разные точки зрения и требования к вариантам использования, некоторые из которых могут быть общими или частично совпадать.

Примечание — Поскольку аспект связан с представлением, полученным в результате применения точки зрения, а точка зрения опирается на вариант использования, вариант использования концептуально является основой для аспекта умного производства.

6.8 Точки зрения

6.8.1 Использование точек зрения

Точка зрения в моделировании служит для четкого формулирования проблем заинтересованных сторон, а также для установления соглашений по созданию, интерпретации, анализу и использованию модельных представлений в отношении выявленных проблем. Точка зрения должна отражать проблемы практикующих специалистов и учитывать известные проблемы моделирования, чтобы обеспечить возможность создания моделей и модельных представлений, которые решают эти проблемы. Соглашения о точках зрения могут определять одну или несколько парадигм моделирования, которые будут использоваться при построении соответствующей модели, обычно в той или иной форме инженерной модели. Соглашения также могут включать менее формальные дескрипторы для управления выражением представлений.

Представления модели, либо в виде всей модели, либо в виде частей одной или нескольких моделей, должны предоставлять заинтересованным сторонам информацию о результатах, необходимую для принятия обоснованных решений о дальнейших действиях по моделированию или реализации.

УМУП определяет способы упорядочения или изучения семантической модели с нескольких точек зрения относительно конкретной цели моделирования. Термин «точка зрения заинтересованной стороны» означает способ, которым заинтересованная сторона концептуально думает о конкретной системе умного производства.

Семантическая модель системы умного производства должна включать в себя рассмотрение элементов каждого аспекта производства, важных для цели моделирования.

Для представления множества аспектов интересующей системы относительно цели моделирования и удовлетворения интересов заинтересованных сторон разработчик модели группирует представления производственных элементов в модели, связывающие эти элементы друг с другом. На основе этих моделей разработчик разрабатывает представления, позволяющие сформулировать аспекты системы, которая включает в себя производственные элементы, и соответствующие заданной цели моделирования. Часто тесно связанные аспекты группируются в измерения моделирования. Термин «аналитическая перспектива» означает способ, которым разработчик модели группирует производственные элементы по аспектам производства.

Часто аспекты модели объединяются в описательную структуру, удовлетворяющую точкам зрения заинтересованных сторон, для поддержки принятия решений. Структура моделирования обычно упорядочивает аспекты для достижения цели моделирования, что может обеспечить выражение нескольких точек зрения заинтересованных сторон путем проецирования соответствующих аспектов или предоставить аналитические структуры, необходимые для конкретных аналитических методов и методологий.

Примечание — Точки зрения заинтересованных сторон можно рассматривать как входные данные для моделирования, а аналитическую структуру — как результат моделирования.

6.8.2 Точки зрения заинтересованных сторон

Точки зрения заинтересованных сторон на задачи умного производства являются результатом их обязанностей, полномочий, обучения и опыта в производстве. Они стимулируют разработку вариантов использования и формулировку проблем заинтересованных сторон.

6.8.3 Аналитическая структура

Аналитическая структура связана с созданием и объединением аспектов в наборы — измерения умного производства. Каждое измерение или пересечение измерений формирует аналитическую ориентацию, которая дополняет точки зрения заинтересованных сторон. Аналитическая структура упорядочивает результаты моделирования точек зрения, чтобы обеспечить возможность изучения аспектов, связанных с целью моделирования.

6.9 Аспекты

Аспект — это способ охарактеризовать структуру, качество или поведение производственного элемента как единой концептуализации, потенциально состоящей из многих концепций. Метка или имя идентифицирует концептуализацию аспекта, который обычно включает в себя множество более конкретных концепций. Эта характеристика обычно применяется к производственному элементу в определенном контексте и может меняться при изменении контекста. Поэтому чаще всего аспектам даются широкие характеристики, которые могут применяться во многих контекстах, сохраняя при этом внимание к тем особенностям или свойствам, которые отличают аспект. Четко определенные аспекты

предлагают способ классифицировать особенности и свойства элементов, чтобы на них можно было ссылаться вместе и оценивать их в разных ситуациях, которые представляют собой разные точки зрения на один и тот же аспект, но в разных контекстах.

Каждый аспект в ТМУП должен быть выражен посредством семантической модели, которая определяет контекст и любые составляющие этого контекста, применимые к аспекту, используемому в ТМУП. Семантическая модель должна быть достаточной для включения аспекта в связный набор аспектов.

Поскольку аспекты применимы в разных ситуациях, их часто называют «сквозными проблемами», т. е. они встроены во множество различных проблем заинтересованных сторон, имеющих одну и ту же базовую характеристику, но разработанных для определенного контекста.

Аспекты часто обозначаются ссылкой на контекст с использованием краткого термина, например безопасность, функции элемента. Аспекты обычно можно разложить на подконтексты конкретных областей, например, физической безопасности. Контекст, связанный с аспектом, может быть функциональным или, чаще всего, нефункциональным, как и возможности для различных атрибутов качества, таких как устойчивость и совместимость.

Пример — Аспекты спецификации продукта для детали (производственного элемента) могут иметь набор характеристик и спецификацию материала. Функции, основанные на контексте проектирования продукта, рассматриваются в контексте производственной системы. Требования рынка определяют спецификации дизайна продукта, такие как материалы и характеристики детали. Изменение материала и характеристик приведет к изменению производственных процессов, необходимых для изготовления детали; изменение материала может повлиять на скорость и подачу процесса обработки. Оснастка, крепление, энергозатраты, очистка и обработка материалов — это процессы, связанные с первичным процессом механической обработки. Требования к объему и пропускной способности детали могут учитывать другие соображения, например, аддитивное производство. Единичная производственная партия по сравнению с большой партией или конкретными свойствами материала влияет на эти соображения, а также на размер, вес, необходимость использования нескольких машин и процессов для обеспечения характеристик продукта. Для крупного серийного производства можно рассмотреть возможность использования специализированной машины. Моделирование детали на основе этих спецификаций, а также производственных систем может позволить найти более целесообразный компромисс, если модель продукта и производственная модель имеют соответствующие семантические модели.

Идентификация и характеристика аспектов производственного элемента в соответствующем контексте, независимо от того, является ли этот элемент всем производственным предприятием или возможностями компонента, имеет важное значение для настройки и использования УМУП для создания ТМУП или модели реализации.

Чтобы максимизировать потенциал семантических моделей аспектов для обеспечения анализа и синтеза взаимодействий аспектов в контексте умного производства, модели аспектов должны использовать наиболее семантически выразительное доступное цифровое представление.

6.10 Моделирование жизненного цикла

Понятие жизненного цикла взято из биологии, где каждое живое существо испытывает одну и ту же закономерность — рождение, рост, зрелость, упадок и смерть — цикл жизни. Этот паттерн доминирует над всеми живыми существами и может быть расширен посредством абстракции на концептуальные вещи, например: системы. В более широком смысле понятие жизненного цикла применимо к предприятиям, услугам и продуктам умного производства, каждый из которых демонстрирует модель жизненного цикла в течение своего жизненного цикла. Одна и та же базовая модель жизненного цикла проявляется по-разному для разных целей и ситуаций. Поскольку каждое предприятие или система включает в себя множество различных вещей, существует множество жизненных циклов, по одному для каждой вещи. Каждый проект, компонент, артефакт и продукт имеет свой жизненный цикл, и, поскольку некоторые из них являются составными частями других, действия жизненного цикла повторяются и почти всегда перекрываются.

Характеристика жизненного цикла представляет собой сегментацию на фазы жизненного цикла с учетом взаимных зависимостей и сходства содержания модели. Разные фазы жизненного цикла могут иметь разные модели, и на отдельной фазе жизненного цикла могут существовать разные модели. Модели фаз жизненного цикла могут быть параллельными, повторяющимися или пустыми — в зависимости от ситуации моделирования.

ТМУП должна четко разграничивать фазы жизненного цикла.

Примечание — Передача информации о модели вперед и назад на этапах жизненного цикла позволяет выполнять итерации процессов с добавленной стоимостью, что повышает качество. Фазовая деятельность может изменить или расширить модель предыдущей фазовой деятельности с учетом развивающихся потребностей последующей фазовой деятельности.

Понятие истории жизни отражает хронологию действий фаз жизненного цикла, происходящих в течение жизни. История жизни часто делится на этапы. Хотя типовая модель чаще всего определяет представления статической модели, понимание последствий изменений может потребовать знания хронологической последовательности действий, испытываемых конкретным объектом в течение всего его существования.

6.11 Семантическое моделирование

6.11.1 Обзор семантического моделирования

Чтобы понять, что означает взаимодействие аспектов, необходима некоторая общая форма выражения, которую можно было бы использовать для сравнения и сопоставления их соответствующих свойств и поведения. Цифровые модели предоставляют синтаксические формы выражения, которые позволяют человеку быстрее проводить исследование в более широком диапазоне ситуаций. Чтобы в полной мере воспользоваться преимуществами цифровых технологий и дополнить или выйти за рамки человеческого изучения взаимодействий аспектов, форма выражения должна быть подходящей для машинных вычислений. За очень немногими исключениями, языки цифрового моделирования предоставляют только семантическую или осмысленную терминологию дополнительных форм, но не аксиомы, необходимые для обработки выводов на основе этих моделей.

Для большинства моделей, основанных на графических изображениях, значение элементов модели и их связей ограничивается синтаксическими выражениями, которые пригодны для взаимодействия, когда семантика однозначно изложена в виде текста, но не пригодны для анализа и синтеза, когда смысл только раскрывается, через импликацию или умозаключение. Значение модели тогда зависит от интерпретации наблюдателя-человека, что часто приводит к расхождению интерпретаций.

Примечание — Многие инструменты графического моделирования также обеспечивают неграфическое выражение модели, но чаще всего без явного семантически информативного содержания и полной спецификации семантики.

Различные представления, такие как текстовые описания, абстрактные информационные модели и модели данных или деятельности, могут моделировать аспекты, которые включают функциональные или нефункциональные особенности продуктов или производства. В случае умного производства основными артефактами моделирования являются информация, данные и деятельность, которые можно идентифицировать по аспектным характеристикам.

Единая семантическая модель, основанная на алгебре графов и типов данных, должна поддерживать представление, анализ и синтез сети, работающей с информацией, данными и действиями в контексте умного производства.

Модели и их инструменты, использующие алгебры графов и типов данных, представляют собой семантические модели, которые являются символически исполняемыми и, таким образом, формируют основу для семантического анализа и прогнозного обслуживания.

В нескольких статьях и официальных документах [2], [3] подробно обсуждаются вопросы, связанные с разработкой и использованием моделей с семантическим содержанием, достаточным для поддержки совместимости представлений цифровых систем. В частности, два формализма моделирования позволяют обмениваться информацией для поддержки автоматического взаимодействия — XML-схема [4] и язык моделирования OWL [5], где первый «предназначен для характеристики синтаксической структуры», а второй «предназначен для характеристики семантической структуры (или смысла)» [6].

Примечание — OWL использует RDFS (схему структуры описания ресурсов) для представления знаний об объектах, группах объектов и отношениях между объектами на языке, основанном на вычислительной логике. Знания, выраженные в OWL, могут использоваться компьютерными программами [5].

Пример — Класс рабочего колеса в модели насоса «WBX-456A» может быть определен с использованием ограничения OWL следующим образом:

```
ex-des:ImpellerInWBX-456A
owl:equivalentClass [
  owl:intersectionOf (
    ex-rdl:Impeller
    [ owl:onProperty lci:partOf; owl:allValuesFrom ex-des:WBX-456A ]
  )
];
rdfs:subClassOf ex-des: WI-57SS.
```

Из этого ограничения можно сделать вывод, что рабочее колесо, являющееся частью насоса типа «WBX-456A», относится к типу «WI-57SS» (см. ГОСТ Р 59794).

Инструменты моделирования, предназначенные для поддержки умного производства, должны предоставлять средства для обмена содержанием модели как в удобочитаемой, так и в машиноинтерпретируемой формах для использования другими разработчиками моделей и моделями. Как минимум, синтаксис должен быть правильно сформирован в соответствии с установленным стандартом.

Пример — Парадигмы моделирования, поддерживающие формы выражения XML-схемы, обычно подходят для процессов сопоставления схем посредством и человеческого анализа, и машинной автоматизации.

Примечание — Модели, которые представляют собой или содержат изображения с недифференцированным содержанием, хотя и полезны для некоторых приложений, включающих аспекты, не подходят для автоматизации анализа или синтеза. Маркировка изображения или средства «анализа» изображения на предмет инкапсулированного цифрового контента, связанного с одним или несколькими другими аспектами, могут добавлять к изображению дифференцированный контент, что делает по крайней мере эту часть изображения доступной для вычислений.

Выходя за рамки простого требования к синтаксическому представлению, парадигмы моделирования с формальным синтаксисом, например те, которые определены с использованием спецификации РБНФ синтаксиса языка моделирования (см. [7]), могут предоставить возможности для идентификации семантических отношений между аспектами из шаблонов моделирования, предусмотренных спецификацией РБНФ (см. ГОСТ Р ИСО 19440, [8]). Некоторые методы сопоставления схем моделей используют эту функцию.

Следующий шаг в предоставлении аспектно-семантических моделей включает использование метамodelей для конкретной области, где объем области может быть довольно большим. Стандарт ГОСТ Р ИСО 19440 (в контексте управления на основе модели) определяет конструкции для моделирования предприятия с использованием языка моделирования UML (см. [9]), который имеет функцию представления, соответствующую схеме XML, а затем предоставляет метамodelи как для производственно-ориентированных, так и для сервисно-ориентированных предприятий как конфигурации этих конструкций.

На вершине иерархии семантического моделирования находятся онтологические теории, которые придают значения понятиям по отношению к другим понятиям. К сожалению, общие онтологические теории имеют незначительную пользу для больших объемов знаний, поскольку такие базы знаний представляют собой сети взаимосвязанных концепций. Однако эти теории формируют основу для полезной предметно-специфичной онтологии, реализованной с использованием спецификаций OWL [10].

Пример — Цифровые представления могут основываться на использовании формальных языков, таких как OWL, комбинации логики и технологий теории алгебраических графов.

Понимание взаимосвязи семиотических концепций с концепциями моделирования необходимо для создания цифровых моделей, которые обеспечивают семантическую или содержательную дополнительную форму, необходимую для обработки выводов, что позволяет автоматизировать анализ и синтез. Более того, семантические модели языков моделирования сами по себе являются моделями и, как таковые, имеют свою жизненную историю, в которой значения могут меняться с течением времени.

Когда аспекты связаны в семантической модели, модель обычно определяет отношения, которые служат основой для взаимодействий. В зависимости от используемого синтаксического формализма взаимодействия могут быть явными или неявными, причем первые называются именованными или помеченными взаимодействиями, а вторые могут быть выведены из контекста.

Чтобы избежать пропущенных или неправильно интерпретированных взаимодействий, аспекты, появляющиеся в семантической модели, должны, насколько это возможно в рамках цели этой модели, явно указывать взаимодействия с другими аспектами.

6.11.2 Формы семантического представления

Еще одним важным моментом при создании семантической модели аспекта, предназначенным для понимания взаимодействия с другими аспектами, является различие между статическими объектами и динамикой, которая их создает, изменяет и устраняет. Поскольку большинство семантических моделей принимают форму информационных моделей того или иного вида, эти формы становятся центром определения соответствующего семантического содержания. Информационные модели имеют тенденцию идентифицировать либо статические сущности как объекты, которые существуют в зависимости от отношений между этими сущностями, либо динамические сущности как процессы, которые происходят с отношениями в качестве входных и выходных данных процесса (см. [11]).

Используемая форма информационной модели должна допускать представление ограничивающих отношений между двумя или более аспектами и может позволять этому представлению определять процессы, поддерживающие эти отношения.

Примечание — Все доступные инструменты, поддерживающие алгебру графов и типов данных, содержат два важных компонента для выполнения символически представленных спецификаций объектов. Первый — это графический интерфейс, который действительно применяет символы для представления подспецификаций, например, аспектов ветряных мельниц или солнечных батарей в общей умной энергосистеме. Второй компонент инструмента — это основанный на правилах манипулятор графиков и данных, который выполняет все указанные правила аспектов, которые становятся истинными или ложными в определенном контексте и в определенной ситуации, которая называется симуляцией. Результаты моделирования представлены изменением графических объектов в графическом интерфейсе, показывающих измененное состояние моделируемой системы.

Когда цель моделирования аспектов связана с взаимодействием аспектов, отношениями между статическими объектами должны быть процессы, которые создают, изменяют или устраняют их, обычно используя синтаксическую форму «существительное — глагол — существительное». Овеществление процессов, то есть перенос отношений в объекты, приводит к созданию последовательной модели синтаксической формы «глагол — существительное — глагол».

Примечание — Не все отношения между статическими вещами могут быть выражены как трансформации, опосредованные процессом.

Почти в каждой ситуации только часть модели аспекта участвует в семантической модели, которая связывает этот аспект с одним или несколькими другими аспектами. Однако в некоторых ситуациях степень взаимодействия может иметь большее влияние на обычно не участвующие части модели.

Пример — *Для аспекта взаимодействующей обработки скорость шпинделя и фрезы можно игнорировать в некоторых вариантах использования аспекта, но может потребоваться их изменение при введении нового исходного материала.*

Семантическая модель, представляющая взаимодействие аспектов, должна быть достаточно подробной, чтобы поддерживать взаимодействие и учитывать изменения в участниках.

Одной из очевидных трудностей является вариативность использования терминов внутри предметной области, что делает межпредметный обмен знаниями по меньшей мере неоднозначным. Четкая спецификация синтаксиса и семантики предметного языка в контексте должна предшествовать попыткам значимого обмена информацией для этого контекста.

Примеры

1 Семантические разрывы между информационными технологиями и операционными технологиями часто являются источником разногласий между подразделениями.

2 В судостроении необходимы разные инженерные профессии, работающие вместе для установки полного насоса, и каждая профессия имеет свой собственный язык.

Все элементы семантической модели, которые взаимодействуют с другими объектами за пределами этой семантической модели, должны быть однозначно идентифицированы и определены, независимо от того, является ли эта семантическая модель всем производственным предприятием или возможностями компонента.

6.11.3 Детализация семантических моделей

Чтобы максимизировать полезность семантических моделей, связанных с аспектами, для понимания взаимодействий аспектов степень детализации составляющих семантических моделей должна быть одинаковой, чтобы элементы одной семантической модели можно было идентифицировать в другой связанной семантической модели. Иногда перевод словаря семантической модели необходим для распознавания общих элементов модели.

Хотя появление методов UUID [12] и URI [13] для ссылок на элементы модели открывает возможности для создания кратких моделей, построенных путем ссылки на другие артефакты, эти методы ссылок также создают множество потенциальных трудностей для расширения связанной семантической модели путем включения элементов, на которые ссылаются.

Если в типовой модели элементы указаны по ссылке, эта модель должна указывать известную возможность отклонения от целостности семантической модели либо из-за разницы в степени детализации, либо из-за нарушения установленных критериев согласованности. Информация об отклонениях необходима для установления граничных условий для анализа и указания возможных полезных возможностей для улучшения производительности за счет синтеза новых возможностей.

При использовании типовой модели для определенной цели ее разработка часто приводит к специализации той части модели, которая относится к этой цели, что приводит к созданию семантической модели с различной степенью детализации составляющих элементов.

Семантическая модель должна идентифицировать различия в степени детализации смоделированных элементов путем аннотирования либо их исключения из целевой семантической модели, либо маркировки элементов разработанной модели дескриптором контекста, чтобы указать на разработку с более высокой степенью детализации.

7 Измерения УМУП

7.1 Определение аспектов взаимодействия умного производства

Некоторые аспекты систем умного производства, будь то в масштабе сложной цепи поставок или в масштабе машины, могут быть четко определены и ограничены таким образом, что возможность дублирования функциональности или структуры с другой системой умного производства исключается. Связь с другими системами или компонентами системы умного производства осуществляется через четко определенные интерфейсы. Для многих других аспектов систем умного производства, особенно тех, которые имеют более качественный характер, четко определенные интерфейсы не очевидны, и иногда понятие интерфейса не имеет значения. Однако в обеих этих ситуациях аспекты взаимодействуют друг с другом, иногда через четко определенные интерфейсы, а иногда способами, которые не являются ни хорошо известными, ни даже очевидными.

Для реализации умного производства необходимо определить аспекты взаимодействия, которые влияют на эффективность и результативность производства.

Пример — Машина взаимодействует с системами обработки материалов. Программы обработки детали являются динамичными и основаны на требованиях производственной операции к рабочей ячейке. В этой ситуации аспекты, относящиеся к детали, взаимодействуют с машиной, производящей деталь. Модель детали и машина имеют границы, на которые влияют изменения в характеристиках детали. Некоторые из этих аспектов можно объединить в такие измерения, как энергопотребление рабочего процесса, а также связь с жизненным циклом.

В [14] представлено описание десятков аспектов, касающихся умного производства. Большинство этих аспектов имеют базовое модельное представление, но разные модели для одной и той же метки аспекта являются результатом разных точек зрения на проблему или проблемы, включенные в различные модели в описании аспекта. Разные точки зрения часто являются результатом разных целей моделирования в отношении задач умного производства.

Аспекты, предназначенные для рассмотрения в типовых моделях умного производства, должны быть идентифицированы с учетом их конкретной цели и контекста моделирования. Кроме того, аспекты должны быть представлены в виде формальных моделей с использованием четкой нотации, позволяющей проводить анализ и синтез с использованием как человеческого анализа, так и вычислительных ресурсов.

Примечание — Хотя вычислительные ресурсы в настоящее время позволяют использовать технологии моделирования с гораздо большей производительностью и возможностями обработки, исследование человеком основы вычислений по-прежнему необходимо для проверки и подтверждения результатов анализа и синтеза.

При наличии соответствующих моделей существует множество методов выявления общих элементов модели, которые могут служить основой для выявления потенциального взаимодействия либо между разными моделями одного и того же аспекта, либо между аспектами, относящимися к разным проблемам. Учитывая внимание к различиям в определениях терминов и понятий, сопоставление схем моделей является одним из явных подходов к взаимодействию [15]. Идентификация структурных связей между аспектами является еще одним подходом к явному взаимодействию [16]. Однако взаимодействие некоторых аспектов неявно, и нелегко хорошо представить их в формальной модели; следовательно, необходима текстовая характеристика.

7.2 Уточнение измерений моделирования

7.2.1 Набор аспектов как измерение умного производства

Фундаментальным принципом измерения в моделировании [17]—[19] является двойной критерий зависимости между элементами измерения моделирования (далее — измерения) и независимости между измерениями для парного рассмотрения во время анализа и синтеза. В этом смысле измерение — независимая переменная. Измерение состоит из зависимых элементов.

Примечание — Поскольку измерения включают одно и то же проблемное пространство объекта, они не могут быть строго независимыми, но могут быть «достаточно независимыми», т. е. иметь достаточное различие для целей моделирования.

Простой ответ — совместное участие в объявлении определенного типа, характеризующего элементы измерения, где отношение сходства идентифицирует характеристики, присущие этому типу. Более сложный ответ возникает, когда «тип» рассматривается как абстракция, включающая не только статические, но и динамические свойства.

Измерение моделирования должно быть последовательным, если составляющие объявления его типа демонстрируют все статические и динамические свойства, определенные отношением подобия для этого типа. Объявления типов должны обеспечивать достаточную ясность членства, чтобы соответствовать критериям двойственности внутриразмерной зависимости элементов и независимости измерений для анализа и синтеза.

Примечания

1 Здесь выделяется понятие «тип», но отношение сходства допускает свободу в идентификации членов конкретного типа. Отношение сходства можно рассматривать как функцию, которая отображает аспект в тип с целью сбора аспектов с одинаковым обозначением типа в измерении. В [14] отношение подобия называется `*aspect_collection_coherence_rule`, а измерение моделирования — `*aspect_collection`.

2 В языках программирования объявлению типа присваивается обозначение абстрактного типа данных (АТД), хотя свойства и поведение выходят далеко за рамки понятия данных как таковых.

Пример — *Производство, продукт и жизненный цикл часто выделяют как аспекты производства, где участниками производства являются элементы, участвующие в производстве результата, продукт имеет элементы произведенного результата, а элементы жизненного цикла сегментируют деятельность, связанную либо с производством, либо с продуктом.*

Установив квалификацию типа для составляющей измерения, можно идентифицировать различные смоделированные аспекты умного производства относительно этого измерения, где характеристики аспекта включают объявление типа этого измерения.

Следующим условием для того, чтобы аспект был частью измерения, является участие в отношениях с другими составляющими измерения. Отношения могут иметь мереологическую природу, логический порядок сортировки или другое объявление логических отношений.

Примечание — Часто объявление типа вызывает логическое объявление среди составляющих одного и того же объявления типа.

Последней квалификацией аспекта как части измерения является выбор его соответствия цели моделирования. Обычно разработчик модели выбирает аспекты, которые решают проблемы заинтересованных сторон, среди тех аспектов, которые соответствуют двум другим критериям.

Пример — В документе [14] представлено подробное описание элементов аспекта, выбранных для соответствия целям моделирования различными эталонными архитектурами для трех различных измерений моделирования: жизненного цикла, иерархии и уровня.

Отношение сходства измерений, характеризующееся: 1) объявлением типа, 2) межаспектными отношениями и 3) выбором по значимости для целей моделирования, также может вызвать отношение включения, которое ограничивает участие аспектов в одном измерении.

Примечание — Для конкретного аспекта присвоение измерения может варьироваться в зависимости от цели моделирования, объявления типа и отношений аспектов или изменения характеристик аспекта.

7.2.2 Наборы измерений как аналитическая основа для умного производства

Структура моделирования может как направлять разработку новой системы или приложения, так и служить основой для анализа существующей системы или приложения. Исследование сущностей и отношений семантической модели, которая связывает аспекты внутри измерения, дает информацию, полезную для оценки проблем и возможностей, связанных с изменением моделируемой системы или приложения. Однако, поскольку аспекты относятся к одному и тому же типу и являются членами одной и той же семантической модели измерения, такое исследование вряд ли даст много информации об аспектах в других измерениях системы или приложения.

Чтобы адекватно понять последствия изменений, включая потенциально разрушительные события, необходимо также изучить последствия для аспектов, выходящих за рамки одного измерения.

Количество других аспектов и количество соответствующих им измерений обязательно зависят от доступных явных измерений моделирования, аспектов, включенных в эти измерения, и устойчивости семантической модели, относящейся к каждому измерению. Цель моделирования значительно влияет на выбор из доступных измерений, а также на то, какие аспекты включать и насколько надежна семантическая модель. Кроме того, степень абстракции должна быть подходящей для решения задач, которые становится трудно решить при наличии высокой детализации.

Примечание — Устойчивое качество семантической модели относится как к точности ее представления реальности, которую она призвана моделировать, так и к ее устойчивости к незначительным изменениям в этой реальности. Различные виды семантических моделей оцениваются разными способами, например, сравнительные примеры могут помочь определить надежность сверточной нейронной сети, используемой для машинного обучения [20], в то время как атрибуты надежности, полноты, ясности и лаконичности могут помочь определить надежность модели «объект-процесс» [21].

При исследовании более чем одного измерения необходимо убедиться, что степень абстракции и степень детализации примерно эквивалентны. Следовательно, при построении или анализе структуры многомерного моделирования участвующие измерения должны иметь примерно одинаковую степень абстракции, демонстрировать примерно одинаковую степень детализации в своих семантических моделях и соответствовать цели структуры моделирования. При отсутствии такой грубой эквивалентности процесс анализа должен выявить и компенсировать несопоставимые источники информации.

При объединении измерений, которые представляют собой совокупность аспектов, в фасет, состоящий из более чем одного измерения, следует применять еще два критерия выбора:

- измерение делает возможным более точно описать систему, что невозможно, если измерение неизвестно;
- измерение подразумевает, что выбор, сделанный при проектировании, изменит поведение так, как это невозможно, если измерение неизвестно.

Примечание — В метамодели [14] концепция структуры моделирования идентифицируется как фасет, а критерии включения в структуру моделирования идентифицируются как `facet_composition_rule`.

Кроме того, структура моделирования со слишком малым количеством измерений не способна достичь цели моделирования, поскольку отсутствует необходимое описательное разнообразие. В основанных на технологиях структурах часто отсутствует признание человеческого фактора принятия решений. И наоборот, структура моделирования со слишком большим количеством измерений не способна достичь цели моделирования, поскольку лишние аспекты перегружают пользователей, неспособных эффективно реагировать. Минималистичный подход к выбору измерений может сосредоточить человеческое внимание так, чтобы оно не превышало краткосрочные когнитивные способности и не перегружало его физиологию. Наконец, измерения помогают гарантировать, что при принятии решений максимально используются доступные знания [18]. Таким образом, измерения достаточного, но мини-

мального разнообразия могут обеспечить соответствие структуры моделирования той цели, для которой она создана и используется. Правильно выбранные измерения моделируемых аспектов являются предшественником описательной аналитики.

Примечание — Путем ослабления ограничений на набор аспектов или структуру измерений может стать аналитическая структура, которая предлагает больше возможностей для изучения взаимодействия аспектов. Однако, поскольку эти ограничения ослаблены, точность анализа находится под угрозой, и необходима большая осторожность, чтобы правильно выразить аналитические результаты таким образом, чтобы обеспечить достоверную интерпретацию.

7.2.3 Сбор данных об этапах жизненного цикла как аспект умного производства

Различие между фазой жизненного цикла и стадией жизненного цикла становится особенно важным, когда любая из них рассматривается как измерение аналитической или синтетической структуры моделирования. Семантическая модель измерения жизненного цикла должна быть сосредоточена на механизмах выявления зависимостей и сходств между моделями, используемыми на различных этапах жизненного цикла другими измерениями структуры моделирования.

Семантическая модель измерения жизненного цикла должна быть сосредоточена на механизмах сбора и записи случаев выполнения действий жизненного цикла, включая условия инициации, выходы и условия завершения. Первое обычно более полезно при синтезе с использованием эталонной модели, а второе — при анализе с использованием эталонной модели.

Примечание — В семантической модели измерения уже определены внутренние зависимости.

Поскольку истории жизни обычно не совпадают или совпадают только на определенных этапах, структура моделирования может потребовать более одного измерения для достижения поставленной цели, например, структура моделирования, которая требует измерения как для производства, так и для продукта. Они согласованы, поскольку продукт создается в производстве, но в остальном имеют совершенно разные жизненные истории и не могут взаимодействовать друг с другом в своих соответствующих аспектах, кроме производства.

Измерение должно четко определять свою цель в рамках моделирования и то, относятся его аспекты к идентификации и сегментации деятельности жизненного цикла или к регистрации жизненного цикла выполненных действий.

7.3 Использование семантической модели для аналитических рассуждений в умном производстве

Типовая модель умного производства должна позволять анализировать как существующие производственные операции, так и потенциальные последствия внесения изменений в эту операцию, особенно изменений разрушительного характера. Структура моделирования аспектов и связанных с ними семантических моделей позволяет напрямую исследовать явно идентифицированные объекты и отношения семантических моделей. Там, где существует общность объектов или закономерностей среди этих моделей, возможна определенная степень умозаключений о взаимодействиях.

Для облегчения изучения взаимодействий должны быть доступны инструменты поиска и навигации. Предпочтительными являются инструменты, которые интегрируют поиск по ключевым словам или фразам и навигацию на основе результатов поиска, которые можно применять ко многим различным типам структур моделирования.

Однако наличие мощных аналитических механизмов предоставляет дополнительные возможности для изучения, особенно в отношении последствий динамических изменений. Чтобы использовать большинство аналитических механизмов или методов, семантическим моделям необходимы формы, соответствующие входным спецификациям этого механизма или метода.

Если выйти за рамки изучения взаимодействий аспектов внутри измерения и перейти к взаимодействиям между аспектами разных измерений, то представляют интерес два наблюдения. Во-первых, когда два измерения аспектов помещаются в ортогональную конфигурацию, они образуют матрицу, индексированную каждой из коллекций аспектов измерений, и позволяют использовать различные методы манипулирования матрицей для анализа. Во-вторых, аспекты многих измерений характеризуются как слои аспектов, образующие многоуровневую сеть аспектных элементов, которая может совпадать с семантической моделью измерения или просто быть артефактом спецификаций аспектов. В любом случае методы многоуровневого сетевого анализа могут дать полезные аналитические результаты [21].

Также возможен подход, сочетающий манипуляции с матрицами в форме представления смежности и многоуровневого сетевого анализа [22].

7.4 Выбор размеров фасетов с учетом проблематики

Разработчики стандартов умного производства должны обладать экспертными знаниями о проблемах заинтересованных сторон и связанных с ними точках зрения, касающихся применения технологий умного производства. Из-за разнообразия проблем и технологий, с которыми могут столкнуться разработчики стандартов умного производства, результаты представления модели и результаты анализа определяют лучший выбор подходящих аспектов и измерений для структурирования аспектов, которые наилучшим образом отвечают потребностям заинтересованных сторон. Там, где это возможно и практически возможно, допускается использовать существующий фасет или его часть.

Пример — Целевым критерием значимости является возможность представить руководство по систематическому выделению аспекта, состоящего из одного или нескольких измерений, будь то для справки или реализации, по всему производству, уделяя особое внимание включению и развитию парадигмы умного производства.

Далее описан пример применения концепций, представленных в УМУП, к стандартной проблеме разработчика по согласованию проблем заинтересованных сторон с доступными аспектными ресурсами для решения этих проблем.

Когда разработчик стандартов умного производства имеет доступ к репозиторию существующих аспектов, связанных с умным производством, он может использовать многомерные фасеты для комбинации проблем заинтересованных сторон и связанных с ними точек зрения. Приведенный ниже подход определяет последовательность действий, с помощью которых разработчики стандартов могут выбрать подходящее содержимое модели из репозитория моделей для конкретной задачи умного производства. Этот подход адаптирует терминологию ГОСТ Р 57100 для характеристики артефактов, рассматриваемых и генерируемых с помощью аналитического механизма, от восприятия необходимости до реализации аспекта умного производства.

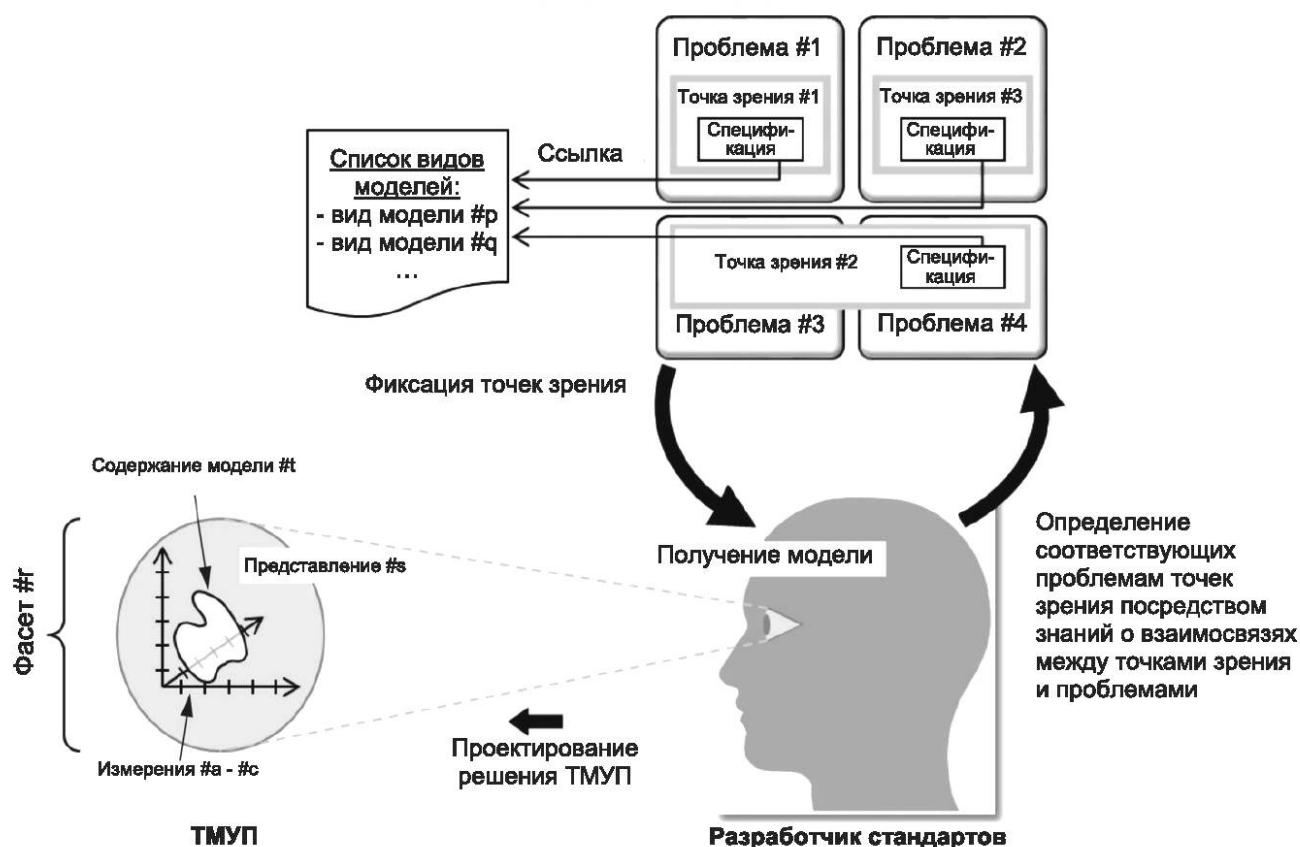


Рисунок 2 — Повторное использование фасетов с точки зрения разработчика стандартов умного производства

На рисунке 2 показан типичный сценарий повторного использования фасетов. Поскольку спецификация точки зрения идентифицирует тип модели #p и #q, а комбинация проблем и представлений, заданных точкой зрения, приводит к идентификации измерений #a — #c, фасет #r является источником соответствующего контента из связанных семантических моделей, которые используют парадигмы модельного типа.

Пример — Если семантическая модель одного из измерений включает в себя соответствующие стандарты или таксономию терминологии, то содержание фасета может представлять собой список соответствующих стандартов и соответствующих терминологий, отвечающих интересам заинтересованных сторон.

На рисунке 3 изображена структура процедуры, являющаяся результатом типичного сценария повторного использования фасетов с потоком справа налево. После обнаружения точек зрения, которые касаются выявленных проблем заинтересованных сторон, становятся доступными как парадигмы типов моделей, так и спецификации представлений. Эти представления связаны с аспектами, которые используют представления, и, следовательно, с измерениями, в которых появляются аспекты. Учитывая идентифицированные аспекты и измерения, доступны семантическая модель и содержание модели, выраженные в парадигме типа модели.

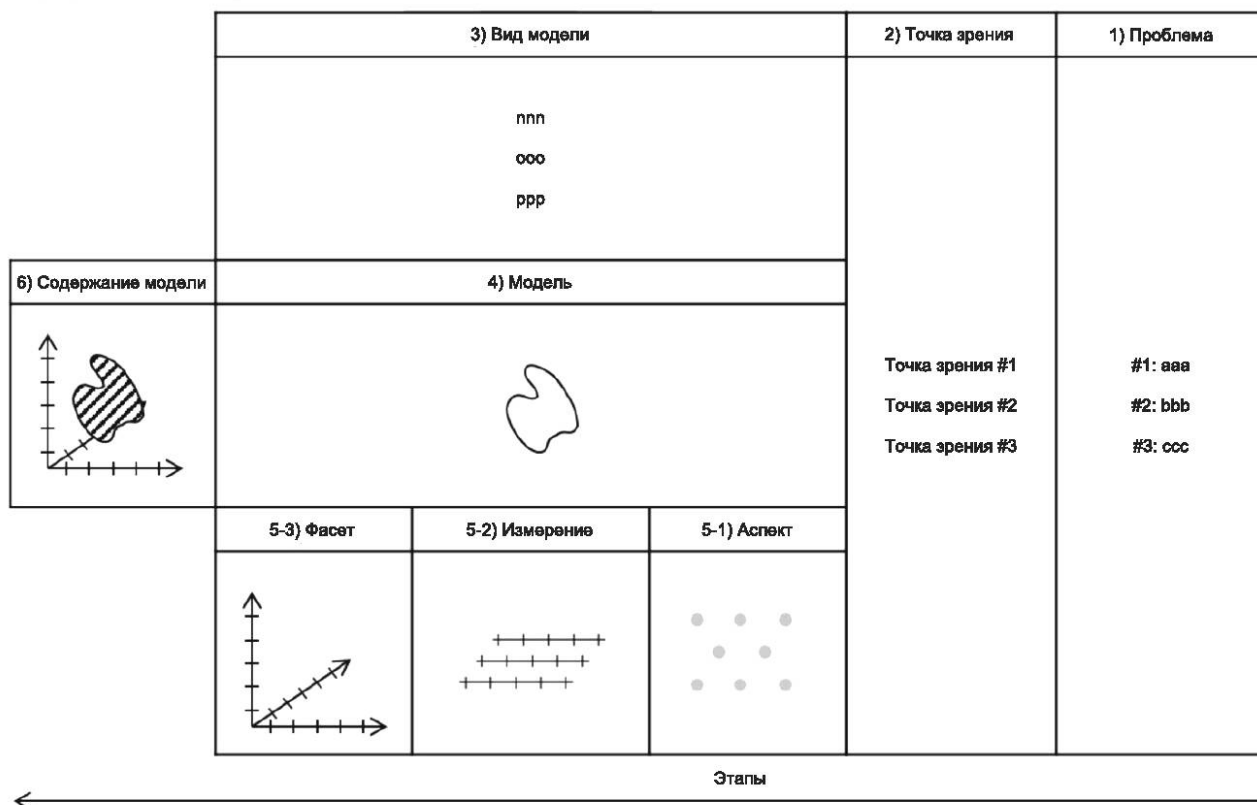


Рисунок 3 — Этапы проектирования для разработчиков стандартов

Аналогичный процедурный поток возможен, когда не существует аспекта, из которого можно было бы извлечь подходящий контент, отвечающий проблемам заинтересованной стороны. В этом сценарии с одной моделью и спецификацией представления содержимое модели создается для достижения конкретной цели моделирования следующим образом:

- документирование проблем заинтересованных сторон;
- определение точки зрения, соответствующей документально подтвержденной проблеме, посредством применения опыта моделирования умного производства;
- проверка соответствующего типа модели с точки зрения решения проблем;
- с использованием парадигмы типа модели создание модели, для которой проецируемый вид соответствует спецификации вида с точки зрения решения проблемы;

е) повторение следующих шагов до тех пор, пока построенный фасет не будет соответствовать требованиям релевантности:

- определение аспекта, составленного из вида модели (см. 5-1 на рисунке 3);
- определение измерения, подходящего для каждого определенного аспекта, с проверкой того, что аспекты одного и того же типа находятся в пределах одного и того же измерения относительно цели моделирования (см. 5-2 на рисунке 3);

- построение фасета на основе идентифицированного измерения (см. 5-3 на рисунке 3);

ф) создание экземпляров практического содержания представлений модели, определенных для фасета.

7.5 Определение значимых взаимодействий между измерениями

Не все взаимодействия аспектов, как внутри измерения, так и между измерениями, имеют практическое значение для целей использования эталонной модели. Только когда семантическая модель, связанная с аспектом, имеет одну или несколько общих характеристик с другими аспектами, их взаимодействие потенциально значимо.

В пределах и между измерениями интеллектуальная производственная модель должна идентифицировать все функции семантической модели, которые являются общими с семантической моделью другого аспекта.

Примечание — Общие характеристики являются отдельными элементами моделирования, часто воплощенными в семантической модели, связанной с критериями согласованности измерений, которые характеризуют аспекты, участвующие во взаимодействии.

Пример — *Измерение жизненного цикла продукта и измерение жизненного цикла производства имеют много общего в течение процесса производства, но имеют гораздо меньше или даже ничего общего в начале или конце их соответствующих жизненных циклов.*

Цель моделирования аспектов с использованием измерений также может влиять на значимость взаимодействий аспектов. Взаимодействия аспектов между измерениями, выходящие за рамки целей моделирования, обычно не имеют для них смысла. Следовательно, цель моделирования умного производства должна определять объем аспектных взаимодействий, значимых для этой цели.

Когда аспекты связаны как совокупность аспектов или характеристик аспектов в двумерной сетке или матрице, ячейки служат контейнерами для взаимодействия аспектов. Ни один столбец или строка не должны быть полностью лишены взаимодействия с другими измерениями. Многие аналитические методы полагаются на такую структуру, чтобы обеспечить попарное сравнение аспектных взаимодействий между соседними ячейками.

7.6 Фреймворки как визуализация взаимодействий

Визуальное представление взаимодействий аспектов может принимать разные формы: графические представления семантической модели, структуры с наборами аспектов или характеристик аспектов, сетки или матрицы, вложенные графические объекты и множественные измерения, поскольку проекции аспектов или наборы аспектов являются частыми формами структуры. Иногда несколько форм визуального представления объединяются в одну визуализацию.

Примечания

1 Графические визуализации являются репрезентативными, как и семантические представления, в которых используются различные классы артефактов.

2 При использовании более чем одной формы представления для одной визуализации необходимо следить за тем, чтобы зритель не смешивал интерпретацию различных представлений с интерпретацией одной визуализации, которая обычно объединяет несколько интерпретаций с совершенно разной степенью детализации в одну интерпретацию.

3 [14] описывает множество различных форм визуализации. Когда измерения представляют собой последовательный набор аспектов, результирующее изображение взаимодействий представляет собой фасетную визуализацию.

4 Пропущенные или неверно истолкованные взаимодействия аспектов могут быть значительными источниками риска.

Фасет ТМУП, соответствующий УМУП, должен состоять из контейнеров, возникающих в результате семантически пересекающихся аспектов внутри и между согласованными измерениями. Когда

аспекты связаны внутри фреймворка, структура фреймворка предоставляет контейнеры, в которых происходят взаимодействия или между которыми происходят взаимодействия. Контейнеры внутри каркаса возникают в результате перекрытия измерений каркаса и часто называются ячейками или локусами каркаса. Если фреймворк не имеет соответствующей семантической модели, то есть фреймворк не является фасетом, соответствующим УМУП, взаимодействия аспектов за пределами возможной последовательности выполнения обычно подразумеваются, и часто зависимости между аспектами скрыты. Вместо четко определенной семантической модели фреймворки обычно полагаются на текстовые описания ожиданий относительно содержимого контейнера фреймворка и отношений с другими контейнерами.

Как минимум, во фреймворках должны быть пронумерованы контейнеры, например, помеченные ячейки, локусы, узлы или объекты, как пересечения, которые обозначают аспекты или коллекции аспектов, имеющих отношение к предметной области приложения. Графически связи между контейнерами следует обозначать дугами, указывающими характер связи.

Фасет ТМУП, соответствующий УМУП, должен включать критерии согласованности для своих наборов аспектов. Семантическая модель или модели должны связывать эти аспекты друг с другом.

На рисунках 4, 5 и 6 изображены несколько видов визуализаций, которые представляют различные взаимодействия между аспектами умного производства.

Идентификация		Иерархия										Жизненный цикл														
Ссылка	Название	Иерархия оборудования				Функциональная иерархия						Тип продукта			Экземпляр продукта		Система продуктов									
Статус	Номер стандарта	Название стандарта																								
		Предприятие	Объект	Станция	Устройство	Связь с внешней средой	Бизнес (L4)	Управление операциями (L3)		Контроль (L2)	Датчики (L1)	Процесс (L0)	Продукт	Маркетинг	Разработка	Продажи	Поддержка	Производство	Транспортировка и хранение	Эксплуатация	Утилизация	Концепция	Дизайн	Реализация	Эксплуатация	Утилизация
	61158-2-2015	Сети для передачи производственных данных. Спецификации полевых шин. Часть 2. Спецификация физического уровня и определение услуг																								
	61158-X-Y	Сети для передачи производственных данных. Спецификации полевых шин. Часть X-Y. Определение услуг и спецификация протокола уровня канала передачи данных и уровня приложений. Элементы типа Y																								

Рисунок 4 — Одномерное представление фреймворка

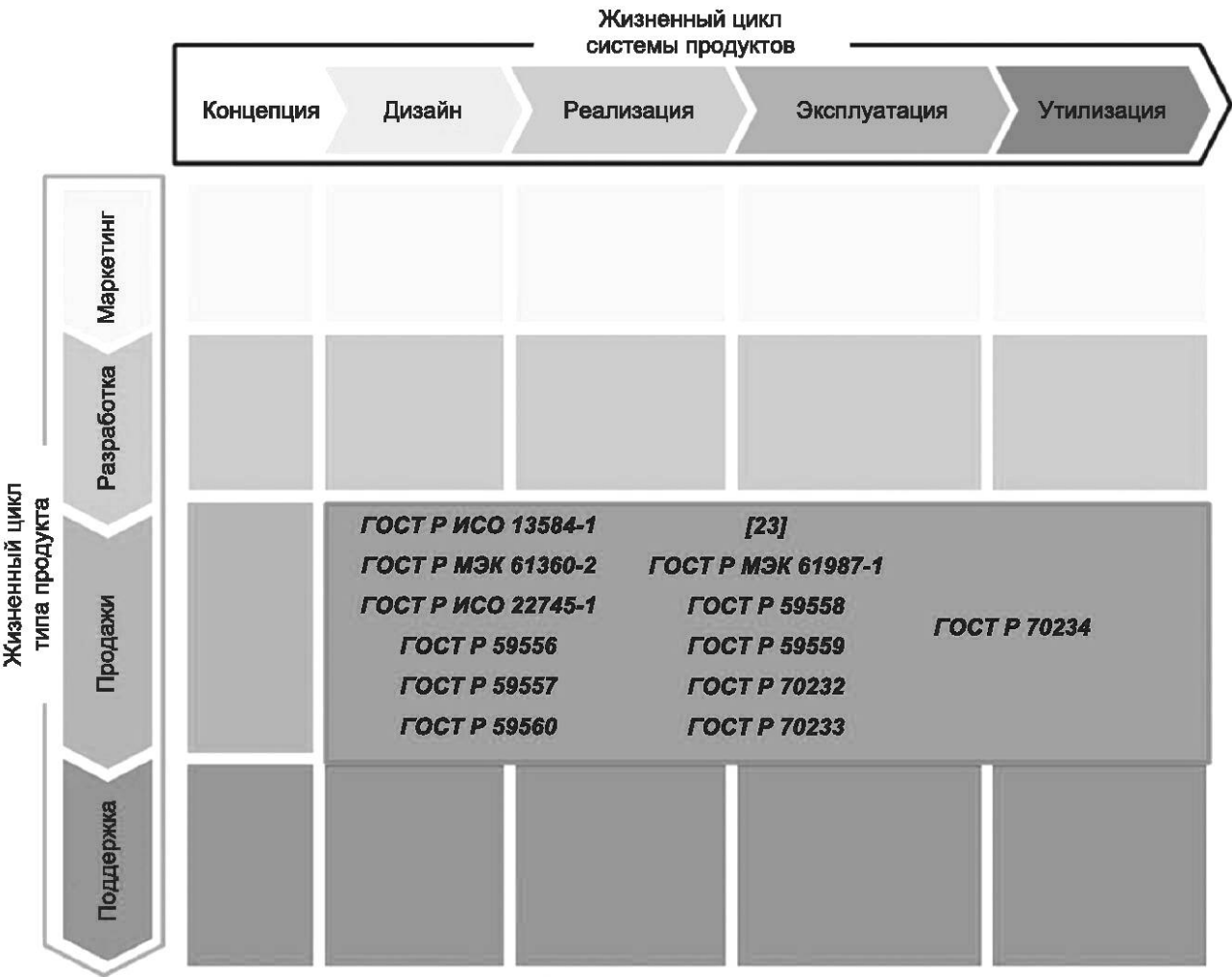


Рисунок 5 — Двумерное представление фреймворка

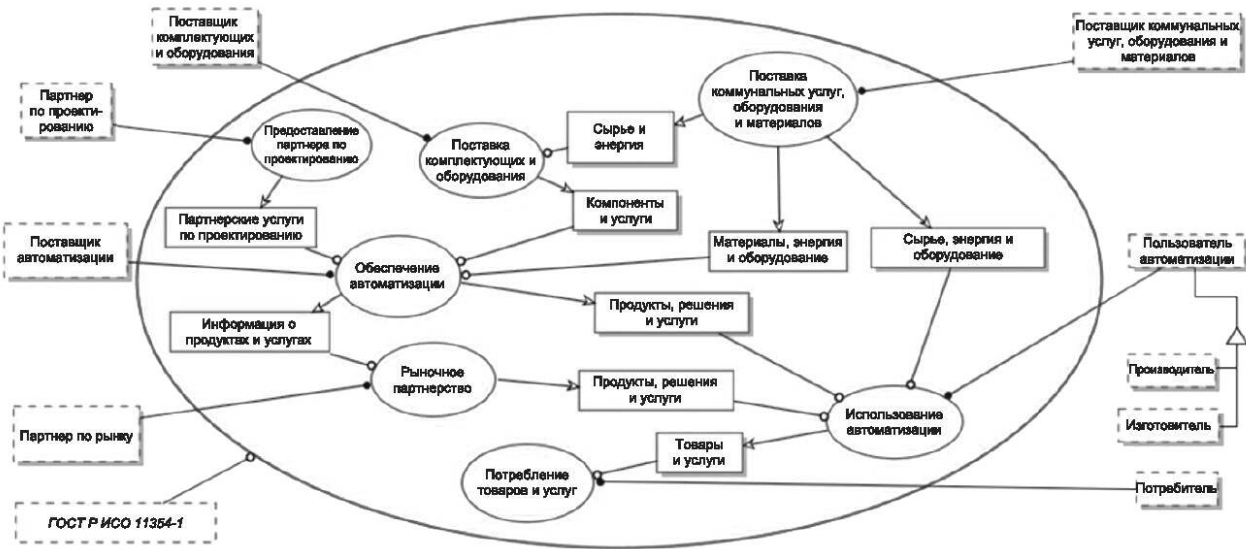


Рисунок 6 — Вложенные процессы (центральный овал) и пользователи (справа)

Графические изображения должны четко отличать включение, предназначенное для обозначения отношений взаимодействия, и включение, предназначенное для обозначения членства в группе.

Примечание — За вложенными графическими объектами стоит своего рода логика первого порядка для управления моделированием и, следовательно, оперативной семантикой указанной сеточной системы. Ожидание анализа, основанного на вложенных графических объектах, вводит в заблуждение, поскольку вложенные графические объекты служат только графическому интерфейсу симулятора графа, представляющему ситуацию, но не выполняют подразумеваемую семантику представления, выраженную назначенными взаимодействиями.

Когда аспекты связаны более чем в двух измерениях, обычно в виде проекций аспектов или совокупности аспектов из измерения, взаимодействие аспектов происходит как внутри, так и между локусами, образованными на пересечении измерений. Понимание этих взаимодействий осложняется большим количеством взаимодействующих аспектов.

Учитывая когнитивные трудности в правильной интерпретации, которые возникают при визуализации сложных или комплексных ситуаций моделирования, которые возникают при визуализации более трех измерений, при визуализациях более трех измерений следует использовать один из следующих методов визуализации:

- 1) свернуть два измерения в одно измерение с доработкой в виде единой семантической модели консолидированных аспектов;
- 2) расширить локус пересекающихся аспектов, используя вспомогательную структуру одного, двух или трех измерений, где аспекты, пересекающиеся в локусе, отличаются от аспектов внутри вспомогательной структуры;
- 3) создать несколько фреймворков, повторяя одно или два измерения в каждом, пока все соответствующие измерения не окажутся в одной или нескольких визуализациях фреймворка;
- 4) предоставить аннотации к визуализации структуры, указывающие дополнительные аспекты или наборы аспектов, которые имеют отношение к цели моделирования;
- 5) обеспечить сочетание форм визуализации в рамках одного графического изображения;
- 6) обеспечить наложение аннотаций для дополнительных связанных размеров.

Рекомендация по использованию одного из перечисленных методов визуализации не ограничивает использование других методов визуализации для графического представления сложных или комплексных ситуаций моделирования [24].

8 Использование УМУП

8.1 Полезность типовой модели для умного производства

УМУП устанавливает основу для использования коллекций сущностей и отношений, позволяющих создавать ТМУП, которые обеспечивают руководство по спецификации аспектов производства, от концептуализации производственной системы или произведенного продукта до его вывода из эксплуатации или утилизации. ТМУП должна идентифицировать эти аспекты производства и способы их применения при разработке модели умного производства для конкретного промышленного предприятия.

Система умного производства представляет собой сложную и часто комплексную систему систем, в которой множество взаимодействующих, конкурирующих и, возможно, конфликтующих систем связаны с использованием унифицированных, федеративных или интегрированных подходов [25], [14]. По мере роста количества взаимодействующих аспектов и увеличения соответствующих степеней свободы в поведении взаимодействующих процессов и концептуальных объектов детерминированное поведение часто переходит в неопределенные ситуации, а эмерджентное поведение приводит к сложности, которую трудно понять, проанализировать и которой трудно управлять. Для управления этим сложным и часто комплексным взаимодействием множества объектов, некоторые из которых представляют собой четко определенные системы, требуются соответствующие стандартизированные интерфейсы и гармонизированные бизнес-процессы для уменьшения запутанных взаимодействий. Моделирование предоставляет систематические методы, поддерживающие весь жизненный цикл разработки, использования и вывода из эксплуатации системы, обеспечивая все преимущества умного производства, одновременно управляя сложностями взаимодействия между компонентами.

ТМУП должна обеспечивать основу для подготовки взаимодействия между компонентами, а также руководство по созданию архитектуры и проектированию системы. Заинтересованные стороны должны

использовать ТМУП для поддержки процесса разработки, а разработчики стандартов должны использовать ТМУП для обеспечения согласованности и совместимости в разрабатываемом корпусе стандартов.

ТМУП определяет соответствующие аспекты производства с соответствующей абстракцией, включая составляющие виды деятельности, процессы, ресурсы и информацию с конкретными отношениями между составляющими. Начиная с ТМУП, соответствующей УМУП, можно систематически создавать более конкретные модели для создания модели конфигурации и реализации целевой системы.

Уточнение и стандартизация ТМУП на различных уровнях абстракции необходимы для повышения эффективности процессов разработки за счет повторного использования составляющих активов при разработке и эксплуатации системы.

8.2 Отраслевое применение УМУП

Системы умного производства разрабатываются во всем мире, что приводит к появлению множества возможных представлений систем и эталонных моделей, каждая из которых предназначена для разных целей. В документе [14] ясно указано на разнообразие существующих ТМУП и раскрывается необходимость гармонизации этих моделей для достижения единого понимания моделирования систем умного производства.

Как показано на рисунке 7, УМУП применима во многих областях благодаря использованию настоящего стандарта для создания специализированной ТМУП для конкретной производственной области. Кроме того, УМУП может стать предшественником конкретной модели умного производства, опять же если сначала УМУП специализируется на создании ЭМУП для конкретной цели, а затем используется эта специализация для создания модели умного производства. Реализация элементов специализированной модели может привести к созданию модели реализации умного производства (МРУП) для конкретной задачи.

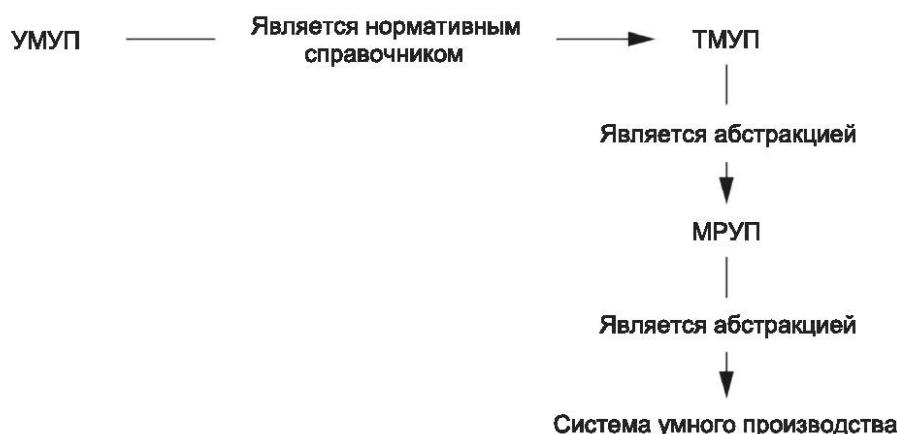


Рисунок 7 — Стек абстракций УМУП

УМУП имеет две основные структурные подмодели, показанные на рисунке 7: ТМУП и МРУП, которые связаны двумя отношениями «является абстракцией»: одна — как «нормативные требования» для обеспечения МРУП и одна как «ссылка на реализацию» для обеспечения умной производственной системы. Первое отношение связывает различные расположения элементов умного производства с конфигурациями в доменах предприятия умного производства, а второе отношение связывает семантические элементы с концепциями реализации.

8.3 Специализация УМУП

8.3.1 Конкретное использование УМУП и правила для производных ТМУП

УМУП определяет требования, рекомендации и возможности использования функций при создании ТМУП или реализаций умного производства.

Использование в соответствии с УМУП должно происходить путем применения нормативных требований настоящего стандарта для разработки концепций типовой модели, определенных в разделе 6,

дополненных элементами моделирования, т.е. объектами и связями, подходящими для поставленной цели моделирования.

Поскольку в настоящем стандарте не указаны конкретные измерения или аспекты, ТМУП, созданные с использованием требований настоящего стандарта, могут быть различными. Изменение требований настоящего стандарта при применении к конкретной области и цели должно еще больше ограничить разработку и использование модели, а не обеспечить более широкую свободу в разработке модели за счет исключения одного или нескольких нормативных требований.

Пример — Организация может определить, что при разработке модели следует использовать только «действующие данные» или что модели SysML имеют достаточное семантическое содержание, чтобы удовлетворить требования к семантическим моделям и гарантировать согласованность аспектов в измерении. И наоборот, специализация, которая использует «необработанные данные» или использует специальный эскиз идеализированных отношений для руководства реализацией, может обеспечить недостаточную ясность для удовлетворения требований разработки семантической модели ТМУП.

Различные методы адаптации визуализаций для конкретных целей, перечисленные в 7.6, представляют собой специализацию спецификаций УМУП. Адаптация визуализаций для конкретных целей должна соответствовать требованиям ТМУП, чтобы сохранить возможности анализа и синтеза, которые обеспечивают эти требования.

Пример — Внедрение производственного измерения в бизнес-измерение для создания единого консолидированного измерения может произойти, если и производственное измерение, и бизнес-измерение имеют семантические модели, которые составляют единую семантическую модель, чтобы сохранить согласованность.

Специализации также могут включать в себя:

- аспектное разделение, т. е. разделение аспекта и его семантической модели на два или более аспектов;
- разработку как новый аспект, например, добавление нового аспекта в измерение при разработке семантической модели этого измерения;
- реконфигурация измерений, например, перестановка аспектов внутри измерения, чтобы сосредоточиться на аспектах, связанных с конкретной целью;
- введение нового измерения, например, добавление измерения технологических возможностей;
- исключение аспектов или целых измерений.

Учитывая, что семантические модели могут варьироваться от довольно абстрактных до очень мелких деталей, их пригодность для использования в типовой модели зависит от цели эталонной модели и других семантических моделей, используемых в измерениях этой эталонной модели.

Включенная семантическая модель должна четко идентифицировать информацию и контекст, на которые имеется ссылка. Специализация УМУП в качестве типовой модели для одной области практики должна разрабатывать и идентифицировать только те аспекты семантических моделей, которые наиболее актуальны для данной области ссылок; другие аспекты, не имеющие отношения к делу, не должны разрабатываться.

По мере проведения анализа или синтеза значимость других аспектов может возрасти; эти аспекты должны быть идентифицированы и проработаны с одинаковой степенью детализации, чтобы можно было идентифицировать соответствующие сущности и отношения относительно смоделированной структуры, поведения и цели.

Пример — Для физических объектов часто может быть достаточно степени декомпозиции с использованием иерархии оборудования, описанной в ГОСТ Р МЭК 61512-1 или [26], но иногда также необходим профиль возможностей оборудования. Для материалов разложение, достаточное для понимания свойств материала, может быть достаточным, но иногда также необходимы определение местоположения и транспортировка материала. Для логических объектов может быть достаточно функции объекта, возможно, в качестве спецификации преобразования информации, но иногда также необходимо назначение логической функции аппаратному обеспечению.

Примечание — Необработанные данные, собранные с датчиков, часто слишком детализированы для анализа, для которого могут потребоваться средние или медианные структурированные данные [27], но они подходят для синтеза новых возможностей [28].

8.3.2 Использование типовых моделей для достижения цели

Для успеха при использовании подхода типовой модели для анализа или синтеза важны два фактора: 1) четко ли цель использования выражает или позволяет выявить заинтересованные стороны, их точки зрения и вытекающие из них проблемы и 2) идентифицируют ли аспекты, присутствующие в типовой модели, заинтересованные стороны или точки зрения и предоставляют ли информацию о проблемах, достаточную для проведения анализа или синтеза, связанного с использованием типовой модели для заявленной цели.

В то время как обобщенная типовая модель обычно создает широкую сеть для охвата любых возможных заинтересованных сторон, их точек зрения и проблем, степень детализации аспектных семантических моделей очень мала и лишена деталей. Результатом является неспособность оценить применимость аспектно-семантических моделей к конкретным заинтересованным сторонам, их точкам зрения и проблемам.

Обобщенные типовые модели должны быть специализированными до такой степени, чтобы необходимые заинтересованные стороны, их точки зрения и проблемы были четко идентифицированы в семантических моделях, которые формулируют аспекты производства, используемые в качестве эталона для реализации.

Поскольку использование типовой модели для анализа приводит к трудозатратам и ориентации, которые отличаются от трудозатрат и ориентации, связанных с синтезом, могут подойти разные типовые модели. В каждой типовой модели должно быть указано, на чем она сосредоточена: на анализе или синтезе, или на анализе и синтезе одновременно. Для задач анализа типовая модель может ограничить специализацию, чтобы избежать отсутствия в результатах анализа соответствующего содержания. Для задач синтеза типовая модель должна обеспечивать включение нового контента по мере развития проекта разработки.

Сложные типовые модели часто не поддаются доработке для достижения новой цели. Такие модели могут потребовать существенных разъяснений и четкого понимания ограничений, которые типовая модель накладывает на определение подходящих специализаций. В каждой типовой модели должны быть указаны предполагаемые области применимости и известные или ожидаемые пределы применимости.

Практические ограничения когнитивных способностей и ручное управление сложными эталонными моделями препятствуют использованию многих сложных аналитических методов, особенно в различных областях расширенной цепи поставок или цепочки создания стоимости. Однако появление автоматизированных аналитических технологий позволяет с большей легкостью манипулировать пространствами крупномасштабных моделей, хотя и увеличивает нагрузку на качество и полноту данных [29]. Новые методы функционального анализа и выявления возможностей для постоянного улучшения зависят от управления большими моделями, либо моделями, построенными как многодоменные типовые модели, либо как модели цифровых двойников действующих объектов или продуктов.

В рамках ограничений встроенных семантических моделей типовая модель должна указывать аналитические методы, применимые для использования с производными типовой модели. Ограничения встроенных семантических моделей могут быть результатом ограничений доступа к связанным семантическим моделям или разрешения конфликтующего или неузнаваемого контента из связанных семантических моделей. Эти же самые ограничения открывают возможности для улучшения операционной деятельности за счет устранения ограничений, например выравнивания словарного запаса или добавления уточняющих элементов модели.

Поскольку сферой применения УМУП являются типовые модели, а не модели, предназначенные для реализации в качестве реальных артефактов, содержание семантических моделей аспектов, измерений и фасетов представляет собой элементы моделирования, а не экземпляры данных или информации, которые эти элементы моделирования могут нести. Типовые модели умного производства должны определять применимые методы, стандарты или механизмы для создания соответствующих артефактов в реальном мире.

9 Варианты использования УМУП

9.1 Использование анализа

9.1.1 Исследование взаимодействий на пересечении аспектов

Типовая модель дает представление об аспектах системы, определяя аспекты, относящиеся к заявленной цели, и способы, которыми эти аспекты могут взаимодействовать. Поскольку УМУП предполагает, что семантические модели представляют аспекты и их объединение в последовательные измерения моделирования, эти измерения должны стать основой для понимания взаимодействий аспектов.

Могут возникнуть два вида прямого взаимодействия между аспектами: 1) общие элементы модели в семантических моделях двух или более аспектов в одном измерении и 2) общие элементы модели в семантических моделях двух или более аспектов в разных измерениях.

Примечание — Первый вид возникновения является результатом критериев согласованности для аспектов измерения, тогда как второй вид возникновения является результатом взаимодействия между смоделированными измерениями, когда критерии согласованности соответствующих измерений аспекта не могут быть применены.

Исследование соответствующих семантических моделей дает информацию об идентифицируемых воздействиях или понимание последствий прямых взаимодействий аспектов.

9.1.2 Исследование взаимодействий вблизи пересечений аспектов

Для каждого идентифицированного прямого взаимодействия между аспектами другие элементы моделирования соответствующих семантических моделей могут появляться в семантических моделях «соседних» аспектов и вносить вклад во взаимодействия аспектов. Эти косвенные взаимодействия с соседними аспектами могут происходить: 1) в одном и том же измерении, но не быть связанными напрямую с критериями связности, или 2) в разных измерениях и не разделять прямого взаимодействия семантических моделей.

Примечание — «Соседние» аспекты — это аспекты, которые разделяют семантическое содержание и аспект.

Изучение соответствующих соседних семантических моделей может дать информацию об идентифицируемых воздействиях или понимание последствий косвенных взаимодействий аспекта. Последствия этих взаимодействий следует оценивать, чтобы определять, представляют ли результаты взаимодействия неприемлемый результат или действие.

9.1.3 Добавление новых возможностей для анализа

Улучшение путем добавления новых возможностей в содержание существующей типовой модели для обеспечения эффективных и действенных результатов анализа зависит как от семантического качества типовой модели, то есть от того, насколько хорошо семантическая модель представляет ситуацию умного производства, так и от степени, в которой специализация типовой модели соответствует цели анализа. Разработка семантических моделей либо для повышения качества, либо в рамках специализации может улучшить широту охвата анализа, но может пострадать от дополнительных затрат, связанных с более широким анализом. Лица, заказывающие и проводящие анализ, должны учитывать соотношение затрат и выгод, связанных с увеличением аналитических возможностей, прежде чем предпринимать такие улучшения.

9.2 Использование синтеза

9.2.1 Определение необходимого охвата аспектных взаимодействий

Типовая модель умного производства особенно подходит для реализации задач умного производства, если она включает в себя широкий спектр аспектов, касающихся применимой производственной среды. Поскольку большинство задач умного производства реализуются в устоявшихся производственных средах, не все аспекты типовой модели умного производства применимы к конкретной инициативе. Однако сокращение аспектов, которые считаются неуместными на слишком раннем этапе реализации инициативы, может затруднить выявление соответствующих прямых и косвенных взаимодействий аспектов, важных для успеха инициативы.

Благодаря специализации ТМУП или одной из ее производных с дополнительным семантическим содержанием, первоначально связанным с инициативой умного производства, становятся очевидными аспекты ТМУП, которые затем разделяют элементы моделирования с добавленным содержанием за-

дачи умного производства. Разработчики стандартов или практикующие специалисты умного производства, которые специализируются на ТМУП с новым семантическим содержанием, должны использовать эти вновь выявленные общие элементы моделирования для изучения потенциальных прямых и косвенных взаимодействий между аспектами и оценки последствий этих взаимодействий на параметры эффективности и результативности производства.

Новые технологии могут представлять проблему для синтеза в рамках умного производства, поскольку надежная семантическая модель, соответствующая новой технологии, недоступна. Хотя основные характеристики технологии обычно доступны в виде проектных спецификаций и руководств по использованию, эти артефакты редко представляются в полезных формах семантической модели, подходящих для использования с ТМУП. Поставщики и исследователи должны предоставлять семантические модели конкретной технологии, которую они предлагают, используя стандартизированные методы семантических моделей, чтобы облегчить разработчикам систем умного производства понимание и использование технологии для инициатив умного производства.

9.2.2 Последовательность действий на основе зависимостей

Семантические модели, присутствующие в ТМУП, могут выявить многие зависимости между производственными элементами. Разработка ТМУП посредством специализации выявляет больше зависимостей. Изучение зависимостей внутри и между фазами жизненного цикла может дать представление об одной или нескольких возможных последовательностях производственной деятельности, которые соответствуют критериям приоритета, например: структура декомпозиции работ. Не все зависимости имеют отношение к последовательности действий, но обычно все действия имеют критерии зависимости [30].

Критерии зависимости принимают различные формы, например: функциональная зависимость и физическая зависимость. Идентификация конкретной формы позволяет обнаружить применимые критерии зависимости для конкретной ситуации ТМУП или модели реализации.

Пример — Между любыми двумя производственными элементами могут существовать двадцать семь различных форм логических троичных отношений как вариаций рефлексивности, симметрии и транзитивности [31].

Модель жизненного цикла объекта также предоставляет существенную информацию о зависимостях на этапах жизненного цикла.

ТМУП должна идентифицировать источник критериев, которые она использует для определения наличия зависимости в элементах модели. ТМУП должна предоставлять средства для идентификации прямых зависимостей между элементами модели в виде именованных связей или меток аннотаций. Заинтересованные стороны системы должны использовать информацию о зависимостях для структурирования последовательности или приоритета действий, относящихся к интересующим их объектам.

9.3 Моделирование в ТМУП

Моделирование может обеспечить большие преимущества в снижении риска и времени при разработке систем умного производства, например, возможность использования регуляризованной техники или инструментов моделирования для понимания поведения моделей реализации или цифровых двойников на основе ТМУП или ее специализации.

Моделирование особенно полезно при синтезе новой технологии, когда результат ее внедрения не совсем известен, а анализ различных возможных конфигураций может подвергаться итерациям моделирования. Могут иметь место два основных вида анализа моделирования: 1) проверка модели на согласованность и достоверность связей и 2) выполнение средства моделирования, заполненного назначенными или измеренными элементами данных.

Обычно моделирование происходит в рамках одной семантической модели. Элементы моделирования, используемые при моделировании, должны быть взяты из семантических моделей, имеющих одинаковую степень детализации и точности. Из-за многомерного характера и элементов жизненного цикла умного производства, а также поскольку критерии членства аспекта в измерении не требуют одинаковой степени детализации и точности для всех аспектных элементов измерения, моделирование, включающее различные аспекты в измерение или несколько измерений пересекающихся аспектов, может привести к необходимости разработки семантических моделей аспектов с постоянной степенью детализации и точности перед моделированием, чтобы элементы моделирования, используемые при моделировании, можно было рассматривать в одном и том же контексте. Для больших ТМУП количество элементов модели сущностей и отношений становится слишком большим, чтобы их можно было

проверить и подтвердить с помощью когнитивной проверки. ТМУП должна определить инструменты моделирования, способные обеспечить согласованность элементов модели в рамках подхода к моделированию, используемого для выражения моделей реализации, которые, как ожидается, возникнут в результате использования ТМУП.

Поскольку большинство методов моделирования предполагают входные данные, основанные на данных реального сценария, ТМУП должна предоставлять средства для заполнения элементов модели элементами данных, соответствующими цели модели, и для экспорта этих данных в форме, подходящей для ввода в инструмент имитационного моделирования.

9.4 Использование реализации

Соответствие УМУП может дать различные преимущества не только разработчикам стандартов, но и специалистам в области производства. Одним из преимуществ является помощь в проектировании за счет использования требований и рекомендаций УМУП при внедрении идеальных производственных систем, описанных в вариантах использования.

Далее описан пример применения концепций, представленных в УМУП, к использованию ТМУП практикующим специалистом умного производства.

На рисунке 8 показано создание простых представлений на основе моделей, заданных точками обзора, как аспекты измерения «Вид». Это измерение фиксируется в виде вертикальной оси несколькими конкретными представлениями ТМУП, например RAMI (см. ГОСТ Р 59799) и ИС [32]. В каждом представлении содержимое модели пересекается с аспектами других измерений. В большинстве ситуаций точка зрения извлекает не только информацию о проблемах из варианта использования, но также предложения вариантов использования или необходимые средства и механизмы для решения этих проблем в содержании модели.

Содержимое модели, полученное в результате деятельности по моделированию, управляемой с точки зрения, которая включает вариант использования, должно быть спроецировано на одно или несколько представлений.

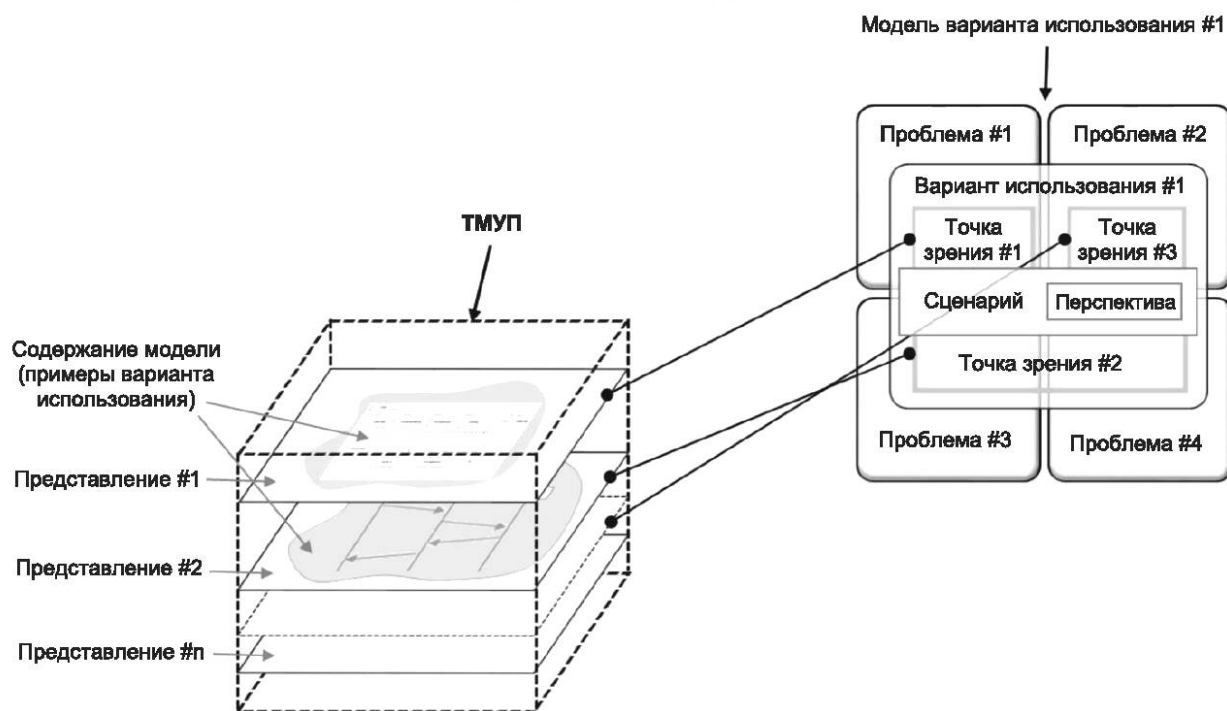


Рисунок 8 — Пример модели для варианта использования № 1

Следующие предположения применяются к применению варианта использования:

- вариант использования охватывает одну или несколько проблем и вносит вклад в одну или несколько точек зрения, связанных с каждой проблемой;

- вариант использования характеризуется сценарием, формулирующим проблемы, соответствующие достижению конкретной цели с определенной точки зрения;
- вариант использования должен иметь соответствующий контент, однако не все варианты использования обладают достаточным объемом для записи информации;
- часть варианта использования становится основой для спецификации точки зрения, результатом которой является одно или несколько представлений содержимого модели;
- такая характеристика, как местоположение, зона покрытия и зрелость, возможна в качестве параметра каждой точки зрения, который изменяется в соответствии с некоторыми условиями, заданными заинтересованной стороной.

На рисунке 9 показан пример ситуации, в которой диверсифицированные системы умного производства представлены различными группами заинтересованных сторон с использованием типовой модели. Типичными примерами разнообразия заинтересованных сторон являются масштаб (например, крупные предприятия или МСБ) и стиль управления (например, инновационный или традиционный). Различия в функциональности, масштабируемости и ситуации существующих производственных систем на заводах приводят к различиям в улучшениях и/или расширениях, необходимых для модернизации систем. Кроме того, различия в ситуации в бизнесе отдельных заинтересованных сторон приводят к различиям в инвестиционных приоритетах и/или различиям в размерах инвестиций. Различия могут привести к конфликтам и противоречиям в разработке моделей.

Хотя конечная цель варианта использования умного производства может быть уникальной по своей природе, ситуации, с которыми сталкиваются заинтересованные стороны, не являются единичными из-за зависимостей между различными производственными возможностями. Следовательно, заинтересованные стороны должны обращаться к одному или нескольким содержимым модели для достижения поставленных целей варианта использования.

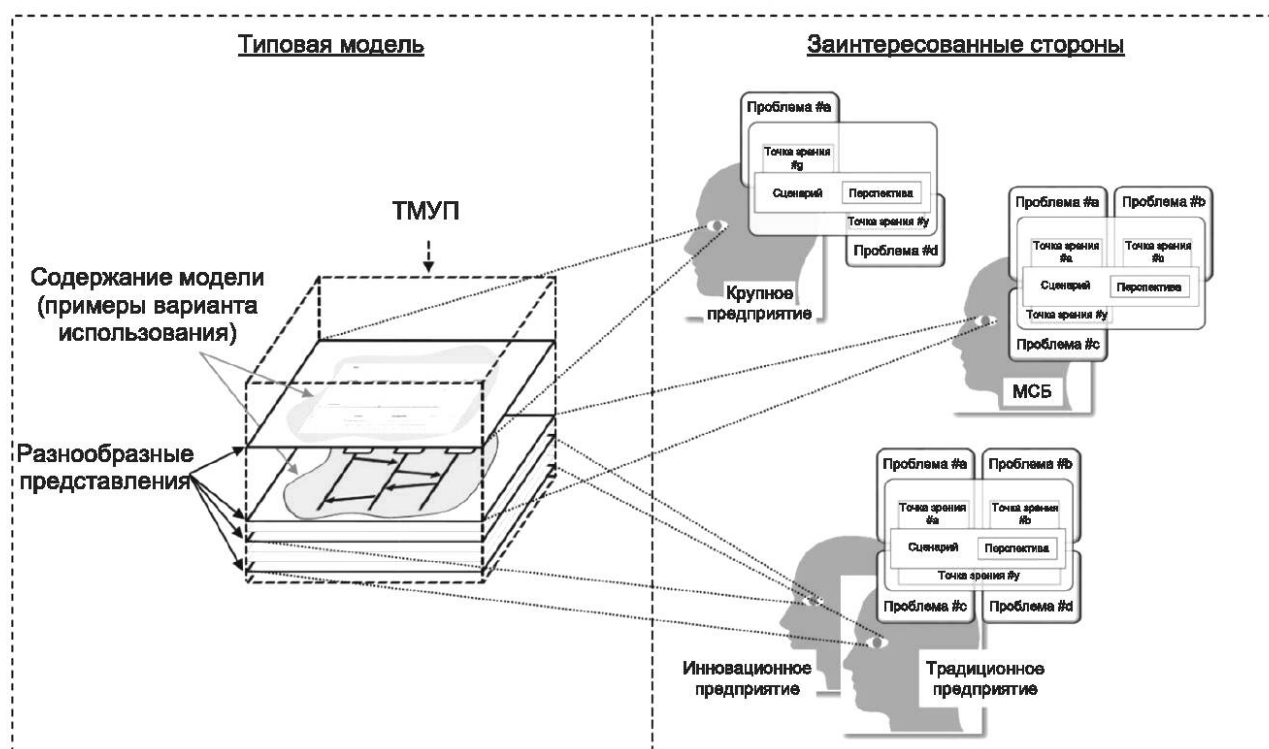


Рисунок 9 — Диверсифицированные системы умного производства

10 Семейство эталонных моделей, основанных на УМУП

10.1 База основных аспектов моделирования умного производства

В сфере производства аспекты производства интуитивно объединяются в три семантических измерения, где согласованность между аспектами кажется очевидной: продукт, производство и жизненный цикл, которые в дальнейшем называются основными измерениями моделирования умного производства. Хотя между этими тремя измерениями производства существует множество взаимосвязей, каждое из них имеет критерии согласованности, которые можно выразить без использования межизмеренческих отношений.

Для измерения продукта декларация типа является результатом характеристик продукта, содержащихся в семантической модели продукта, которые не зависят от средств производства или жизненного цикла продукта. Эта семантическая модель также может включать в себя элементы модели, общие с другими измерениями, например элементы модели, задействованные во время производства продукта для установления определенной характеристики, или элементы модели, определяющие зависимости между этапами жизненного цикла. Как правило, конкретной спецификации продукта могут соответствовать несколько различных производственных систем.

Что касается производственного аспекта, декларация типа является результатом инфраструктуры предприятия и возможностей производства, то есть средств преобразования сырья в готовую продукцию. Эта инфраструктура и эти возможности содержатся в семантической модели производственной системы, независимой от производимой продукции. Эта семантическая модель также может включать элементы модели, общие с другими измерениями, например элементы модели, участвующие в приобретении материалов для конкретных продуктов и инструментов для конкретного продукта, или элементы модели, определяющие зависимости между этапами жизненного цикла. Как правило, конкретная производственная система может производить различную продукцию.

Для измерения жизненного цикла объявление типа является результатом отношений приоритета, которые существуют между одной идентифицированной фазой жизненного цикла и последующей стадией жизненного цикла. Жизненный цикл служит для обозначения набора действий, приводящих к достижению одной или нескольких целей, которые позволяют последующему набору действий дойти до завершения. Фазы жизненного цикла идентифицируются в семантической модели жизненного цикла как аспекты производства. Эта семантическая модель также может включать в себя элементы модели, общие с другими измерениями, например элементы модели измерения продукта или измерения производства, или измерения продукта и производства одновременно.

Примечания

1 Направление «Производство» включает продукцию, которая является средствами производства. Следовательно, жизненный цикл производственного измерения должен учитывать жизненный цикл продуктов.

2 Семантика продукта, который является средством производства, может многократно импортироваться в модель производственного измерения, например в станок или сборочную машину.

Измерение жизненного цикла отличается от измерения продукта или производства тем, что конкретный жизненный цикл зависит от другого измерения, к которому он применяется. Зависимости измерения жизненного цикла продукта являются функцией средств разработки, производства и использования продукта. Зависимости измерения жизненного цикла производства являются функцией планирования, строительства и использования объекта. Хотя фазы жизненного цикла применительно к этим двум измерениям перекрываются, каждая из них определяется с учетом аспектов измерения, к которому она относится.

Идентификация фаз зависит от: 1) цели ТМУП как эталона для реализации, будь то общий или определенный контекст, и 2) детализации этапов, т.е. степени градаций зависимостей, которые, в свою очередь, зависят от цели, ради которой возникают контекст и ожидаемая или реализованная деталь элемента моделирования.

Иногда разграничение переходов от одной фазы жизненного цикла к другой определяется важным событием, например завершением строительства и испытаний сборочной линии или наличием продукта на складе, готового к отправке покупателю. Часто действия на одной фазе пересекаются с деятельностью на другой фазе, поскольку деятельность более поздней фазы может начаться до завершения действий предыдущей фазы.

ТМУП должна включать по крайней мере один из основных аспектов моделирования умного производства, выраженный как последовательное измерение аспектов. Каждое включенное измерение должно иметь семантическую модель для этого измерения. Общее количество измерений, включенных в ТМУП, должно быть достаточным для включения аспектов производства, которые считаются необходимыми для достижения целевого намерения применения ТМУП (см. 7.2.2).

Пример — Части жизненного цикла продукта могут быть встроены в жизненный цикл производства или детально проработаны. С другой стороны, ТМУП может включать в себя как продукт, так и контекст жизненного цикла производства, выраженный в отдельных измерениях.

10.2 Изменение размеров фреймворка

Как указано в 10.1, измерение жизненного цикла имеет смысл только тогда, когда оно связано с другим измерением, к которому оно относится. Семантическая модель жизненного цикла может быть разделена на отдельные семантические модели для каждой ссылки на измерение, например, семантическая модель жизненного цикла продукта и семантическая модель жизненного цикла производства.

ТМУП должна иметь столько последовательных измерений, сколько необходимо для достижения поставленной цели. Поскольку семантические модели присущи связанному измерению, изображение измерения может быть изменено в соответствии с целью визуализации без изменения базовой семантической модели. Такая реорганизация может помочь сосредоточить внимание на аспектах взаимодействия, представляющих наибольший интерес для конкретной аудитории.

Поскольку степень абстракции ТМУП зависит от цели моделирования, а семантическая модель аспектов может содержать ссылки на другие семантические модели, при перестановке аспектов в определенном измерении необходимо проявлять осторожность.

Примечание — Необходимо проявлять осторожность, чтобы не смешивать отдельные цели каждой семантической модели, когда они объединены в одно связанное измерение или аспект нескольких измерений.

Еще одним соображением, касающимся семантических контекстов, является динамическая природа представленной ситуации реального мира. Семантические модели чаще всего представляются как статические представления или представления на определенный момент времени, а не как динамичное и постоянно меняющееся производственное предприятие. Хронологическое измерение времени — один из способов представить эту динамику с приращением времени как аспект производства. При использовании с временным измерением жизненный цикл, связанный с производственным измерением, позволяет изучить историю жизни производственной системы по мере того, как она производит продукцию.

10.3 Дополнительные фреймворки

Многомерная ТМУП может представлять собой очень сложную или комплексную производственную систему или производимый продукт. Обзорная визуализация более чем трех измерений очень сложна, и, даже когда количество аспектов достаточно мало, размер лежащих в основе семантических моделей с точки зрения концептуальных сущностей и отношений очень велик. Вычислительные методы позволяют удовлетворительно управлять большими и сложными ТМУП.

Однако для того, чтобы эффективно служить эталоном для задач умного производства, необходимо масштабирование концептуального пространства ТМУП. Подходы в 10.2 доступны для создания набора дополнительных типовых моделей, которые воспроизводят части более крупной ТМУП в адаптациях, фокусирующихся на различных аспектах более широкой ситуации.

Каждый фасет, извлеченный из более крупной многомерной ТМУП, должен включать по крайней мере одно согласованное измерение родительской ТМУП и семантических моделей, связанных с этим набором. Включение по крайней мере двух измерений может сохранить некоторые известные взаимодействия между измерениями. Используя эти два измерения в качестве основы, расширение или адаптация дополнительных согласованных измерений и их семантических моделей может создать дополнительную типовую модель, которая, по сути, является производной от родительской ТМУП. Дополнительные типовые модели должны сохранять назначение родительской ТМУП. По крайней мере, два измерения дополнительной типовой модели могут служить основой для других дополнительных типовых моделей.

Каждая дополнительная типовая модель должна сохранять по крайней мере одно измерение исходной ТМУП.

Примечание — Как показано на рисунке 10, совокупность ТМУП и дополнительных типовых моделей, содержащих хотя бы одно измерение этой ТМУП, идентифицирует семейство типовых моделей.

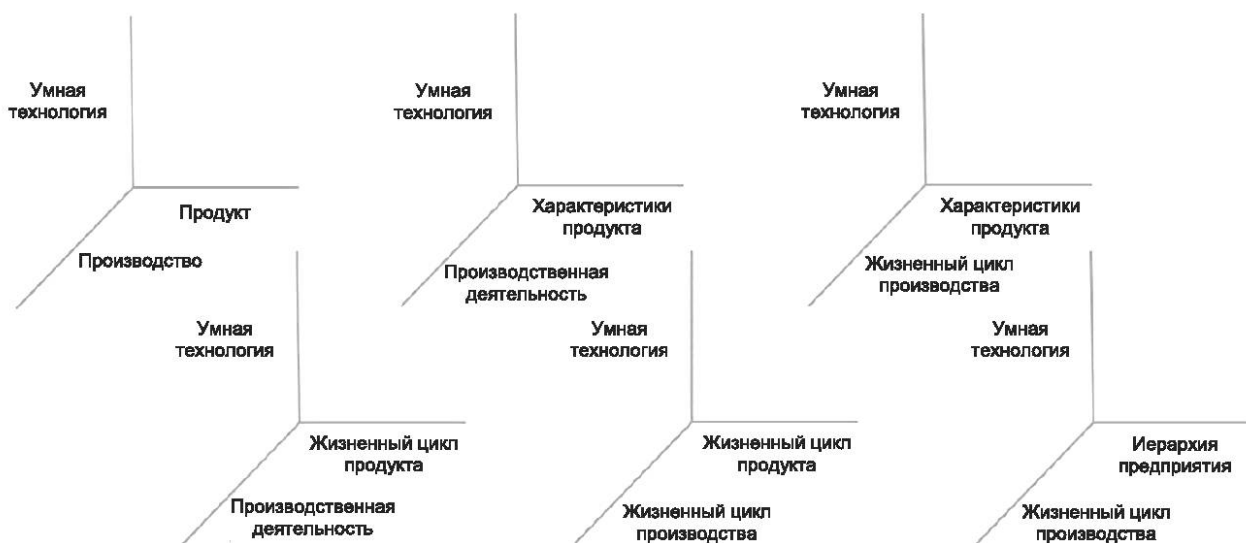


Рисунок 10 — Базовая структура семейства ТМУП с альтернативными трехмерными представлениями

10.4 Использование нескольких ТМУП для достижения цели

ТМУП воплощает методологический подход к ситуации умного производства, определяемый аспектами, которые он формулирует, и аспектами, которые он образует из этих аспектов. Для любой конкретной инициативы в области умного производства изучение нескольких методологических подходов может выявить скрытые трудности и исключительные возможности. Даже в рамках одного и того же широкого подхода различия в формулировках могут ограничить полезность ТМУП для конкретной задачи умного производства. Кроме того, многие задачи умного производства оказывают широкое влияние на деловые отношения, потребности в инфраструктуре, цепочку поставок, операции и качество обслуживания клиентов.

Разработчик стандартов или практикующий специалист умного производства должен использовать столько различных ТМУП или их производных, сколько необходимо, чтобы служить эталонами реализации для конкретной задачи умного производства. Удовлетворительная оценка использования нескольких ТМУП зависит от полноты результирующей составной или интегрированной семантической модели по отношению к производственной ситуации и согласования этой результирующей семантической модели с семантической моделью конкретной предметной области организации.

Библиография

- [1] Vitruvius, Pollio (transl. Morris Hicky Morgan, 1960), The Ten Books on Architecture. Courier Dover Publications. ISBN 0-486-20645-9
- [2] Semantic interoperability: challenges in the digital transformation age, IEC White paper Semantic Interoperability 2019. <https://webstore.iec.ch/en/publication/65942>
- [3] [Электронный ресурс] URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/semantic-modeling>. Дата обращения: 30 апреля 2023 г.
- [4] World Wide Web Consortium, Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Fifth Edition), 26 November 2008. URL: <http://www.w3.org/TR/2008/REC-xml-20081126/>. Дата обращения: 30 апреля 2023 г.
- [5] World Wide Web Consortium, Web Ontology Language, 2012-12-11. URL: <http://www.w3.org/standards/techs/html>. Дата обращения: 30 апреля 2023 г.
- [6] [Электронный ресурс] URL: <https://www.w3.org/Consortium/>. Дата обращения: 30 апреля 2023 г.
- [7] ИСО/МЭК 14977 Информационные технологии. Синтаксический метаязык. Расширенный BNF
- [8] ISO PAS 19450 Автоматизированные системы и интеграция. Объектно-процессуальная методология
- [9] ИСО/МЭК 19501:2005 Информационные технологии. Открытая распределительная обработка. Унифицированный язык моделирования (UML). Версия 1.4.2
- [10] Enterprise Integration Lab, University of Toronto, Toronto, Canada. URL: <http://ontology.eil.utoronto.ca/>. Дата обращения: 30 апреля 2023 г.
- [11] ИСО/МЭК 21838 Информационные технологии. Онтологии высшего уровня (TLO) (все части)
- [12] American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA) Digital Engineering Integration Committee, Digital Twin: Reference Model, Realizations and Recommendations. January 2023
- [13] [Электронный ресурс] URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Uniform_Resource_Identifier. Дата обращения: 30 апреля 2023 г.
- [14] IEC/CD TR 63319 Подход к метамоделированию и анализу типовых моделей умного производства
- [15] Sutanta E., Wardoyo, R., Mustofa K., Winarko E. Survey: Models and Prototypes of Schema Matching, International Journal of Electrical and Computer Engineering 6(3), June 2016, DOI: 10.11591/ijece.v6i3.9789. Дата обращения: 30 апреля 2023 г.
- [16] Rodrigues, D., Silva, A. D. A study on machine learning techniques for the schema matching network problem. Journal of Brazil Computer Society 27, 14 (2021). URL: <https://doi.org/10.1186/s13173-021-00119-5>. Дата обращения: 30 апреля 2023 г.
- [17] Hall A. D., Three-Dimensional Morphology of Systems Engineering, In IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics, Vol. SSC-5, No 2, April 1969
- [18] Warfield, J. N. and Christakis, A. N., Dimensionality, Systems Research Vol. 4, No. 2, pp. 127—137, 1987. URL: <https://doi.org/10.1002/sres.3850040207>. Дата обращения: 30 апреля 2023 г.
- [19] Zwicky, F., Discovery, Invention, Research — Through the Morphological Approach, Toronto: The Macmillian Company (1969)
- [20] Tjeng, V., Xiao, K, and Tedrake R. Evaluating Robustness of Neural Networks with Mixed Integer Programming, ICLR Conference 2019, Massachusetts Institute of Technology
- [21] Kivela M., et.al. Multi-layer networks, Journal of Complex Networks (2014) 2, 203—2771, doi:10.1093/comnet/cnu06. Дата обращения: 30 апреля 2023 г.
- [22] Schoonenberg, W. C. and Farid, A. M. Modeling Smart Cities with Hetero-functional Graph Theory. In 2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2017), Intelligent Industrial System Special Session, volume 1, pages 1—10, Banff, Canada, 2017

- [23] МЭК 62683 (все части) Низковольтное комплектное распределительное устройство. Данные о продукте и его свойства для обмена информацией
- [24] Tufte, Edward R (2001) [1983], The Visual Display of Quantitative Information (2nd ed.), Cheshire, CT: Graphics Press, ISBN 0-9613921-4-2
- [25] Kurtz, Cynthia F.; Snowden, David J. (2003). «The new dynamics of strategy: Sense-making in a complex and complicated world». IBM Systems Journal. 42 (3): 462—483. doi:10.1147/sj.423.0462
- [26] МЭК 62264 (все части) Интеграция систем управления предприятием
- [27] Maier, J. F., Eckert, C. and Clarkson, J. P. Experimental Investigation of the Implications of Model Granularity for Design Process Simulation, Journal of Mechanical Design, Vol. 141, Issue 7, July 2019. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/data-quality-dimension>. Дата обращения: 30 апреля 2023 г.
- [28] Maier, J. F., Eckert, C. and Clarkson, P. J. Model granularity in engineering design — concepts and framework, Design Science, Vol. 3, Edition 1, Cambridge University Press. journals.cambridge.org/dsj DOI: 10.1017/dsj.2016.16. Дата обращения: 30 апреля 2023 г.
- [29] [Электронный ресурс] URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/data-quality-dimension>. Дата обращения: 30 апреля 2023 г.
- [30] Browning, T. R. Design Structure Matrix Extensions and Innovations: A Survey and New Opportunities, IEEE Transactions on Engineering Management, 63(1): 27—52, 2016
- [31] Simpson J. J. and Simpson M. J., Augmented Model-Exchange Isomorphism V1.1. URL: https://www.researchgate.net/publication/332186969_Augmented_Model_Exchange_Isomorphism_v20. Дата обращения: 30 апреля 2023 г.
- [32] Industrial Internet Consortium, The Industrial Internet of Things Volume G1: Reference Architecture, IIC:PUB:G1:V1.80:20170131, 2017

УДК 67.05:006.354

ОКС 25.040.01
35.240.99

Ключевые слова: умное производство, унифицированная модель, типовая модель, аспекты моделирования, критерии моделирования, метамоделирование, производственная система

Редактор *Л.В. Коретникова*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *М.И. Першина*
Компьютерная верстка *М.В. Малеевой*

Сдано в набор 09.01.2025. Подписано в печать 31.01.2025. Формат 60×84%. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 3,95.

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