



**Технологии формирования межотраслевого и межгосударственного
единого информационного пространства**

Лекция 5. Модель эталонной архитектуры индустрии 4.0 (RAMI 4.0)

к.э.н. , доцент Исабекова О.А.

Контуры будущего

Новая промышленная революция



ГОСТ Р 59799— 2021

Умное производство

МОДЕЛЬ ЭТАЛОННОЙ АРХИТЕКТУРЫ ИНДУСТРИИ 4.0

(RAMI 4.0)

(IEC PAS 63088:2017, NEQ)



Настоящий стандарт определяет модель эталонной архитектуры для идентификации, структурирования и иллюстрации различных областей, в которых существуют стандарты или в которых требуются стандарты.

Основной целью Индустрии 4.0 является содействие сотрудничеству и взаимодействию между техническими объектами, что означает, что они должны быть виртуально представлены и связаны. В этом контексте технический объект — это объект, представляющий ценность для организации. К техническим объектам относят не только физические материальные объекты, но и нематериальные объекты, такие как идеи, архивы и программное обеспечение.

Концепция «Индустрия 4.0» предназначена для создания правил цифрового описания для технического объекта и изменения его состояния на протяжении всего его жизненного цикла в виде модели эталонной архитектуры Индустрии 4.0 «RAMI4.0». Цель этой модели — представить технический объект и все аспекты, относящиеся к нему, от его разработки, производства и использования вплоть до его утилизации. Компонент Индустрии 4.0 обеспечивает цифровое описание объекта, что позволяет виртуально представлять этот объект

Настоящий стандарт описывает две фундаментальные эталонные модели для концепции «Индустрия 4.0»:

- а) модель эталонной архитектуры RAMI4.0 является эталонной моделью эталонной архитектуры Индустрии 4.0 и дает структурированное описание основных идей (см. раздел 5);
- б) эталонная модель компонента Индустрии 4.0 обеспечивает цифровой доступ к этому описанию

Основа концепции «Индустрия 4.0» заключается в том, что активы можно объединять любым способом. и эти активы формально описаны достаточно подробно для использования в цифровом мире. Эта методология не только обеспечивает достаточные общие описания конфигурации, но благодаря увеличению степени детализации также допускает очень конкретные описания. Это является основой концепции, независимо от способа использования актива.

Чтобы виртуально представлять конфигурации активов и связи между ними, «принцип рекурсивного описания активов» используется для характеристики актива следующим образом:

- а) структурное описание соответствует RAMI4.0;
- б) конфигурация двух или более активов вместе образует новый актив, который описан с использованием RAMI4.0;
- в) компоненты актива сами могут представлять отдельные активы, которые описаны в RAMI4.0;
- г) описание актива предоставляется в виде структурированной информации в административной оболочке компонента Индустрии 4.0, который действует как виртуальное представление актива.

Это означает, что любая конфигурация может быть представлена в цифровой форме с любой степенью детализации путем описания структурированных активов и их комбинаций с использованием RAMI4.0.

Термины, определения

административная оболочка (administration shell): Виртуальное цифровое и реальное представление компонента Индустрии 4.0 в системе Индустрии 4.0.

архитектура (architecture): Основные понятия или свойства системы в окружающей среде, воплощенной в ее элементах, отношениях и конкретных принципах ее проекта и развития.

архивный мир (archive world). Совокупность информации в информационном мире, срок действия или актуальность которой истек и которая, таким образом, больше не может быть изменена.

актив (asset): Объект, имеющий ценность для организации.

услуга (service): Отдельная область функций, предлагаемых сущностью или организацией через интерфейсы.

сущность (entity): Уникально идентифицируемый объект, управление которым осуществляется в информационном мире.

Термины, определения

информационный мир (information world): Цифровой мир или кибермир: идеи, концепции, алгоритмы, модели и совокупности представлений физических объектов и людей в виртуальной среде.

диспетчер компонентов (component manager): Организатор автономного администрирования и доступа к ресурсам соответствующего компонента Индустрии 4.0. такого как сам компонент Индустрии 4.0, объект, техническая функциональность, виртуальное представление.

манифест (manifest): Определенный набор метаданных о функциональных и нефункциональных свойствах соответствующего компонента Индустрии 4.0, доступный извне.

физический мир (physical world): Совокупность всех реально существующих объектов и людей

эталонная архитектура (reference architecture): Модель для описания архитектуры (Индустрии 4.0). которую обычно используют и признают приемлемой (в качестве ссылочной).

Термины, определения

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

цепочка создания добавленной стоимости (value-added chain): Последовательность процессов, взаимодействующих линейно или иерархически и добавляющих ценность.

система создания добавленной стоимости (value-added system): Сеть или система цепочек создания добавленной стоимости, которые могут содержать описание их связей и отношения между ними.

процесс создания добавленной стоимости (value-added process): Процесс, в результате которого может быть создан товар, ценный для потребителя.

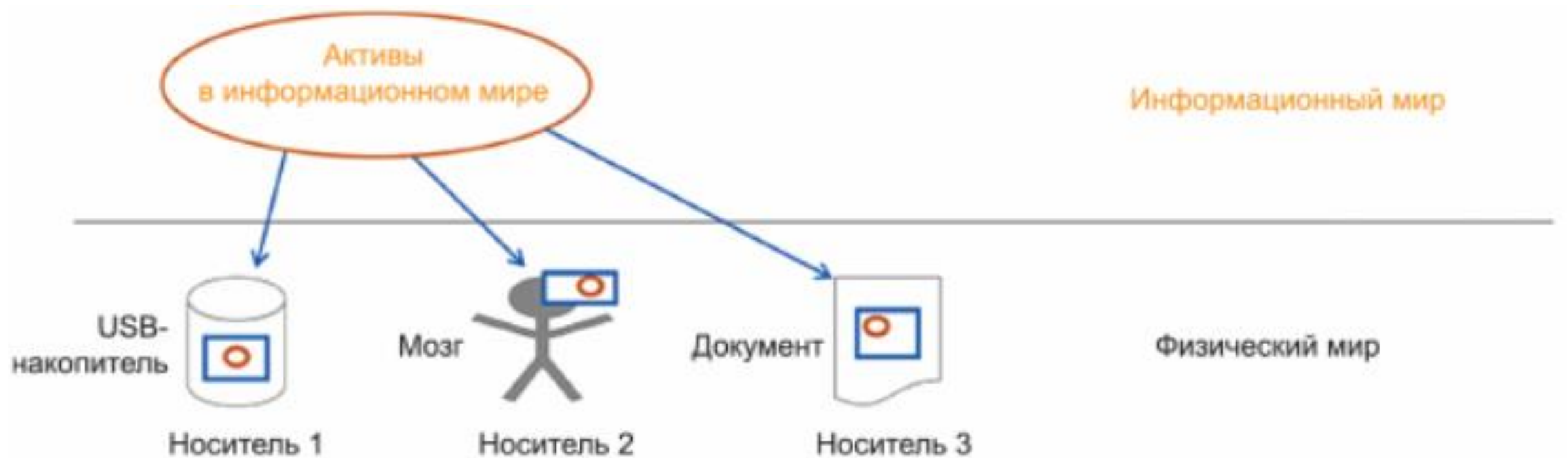
Активы Индустрии 4.0

Примеры структуры объектных миров

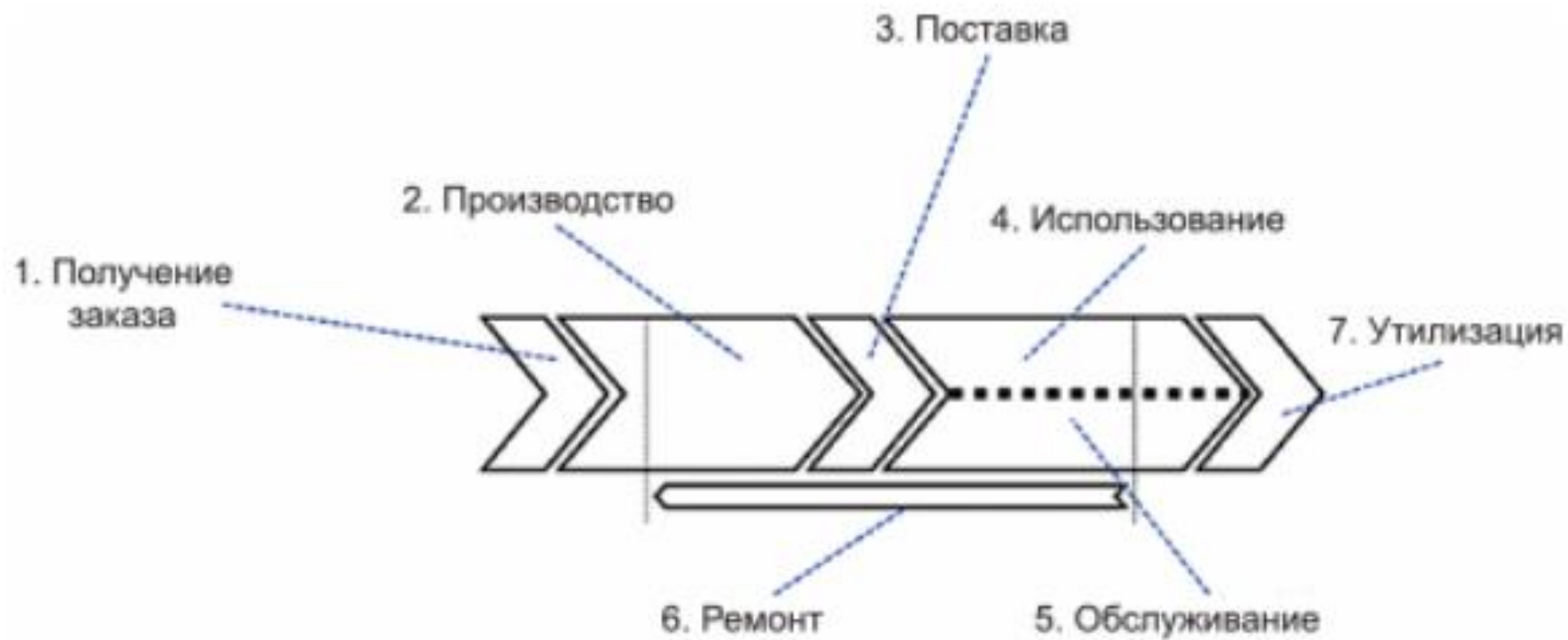


Активы Индустрии 4.0

Активы в информационном мире и их представление на носителях физического мира



Жизненный цикл актива



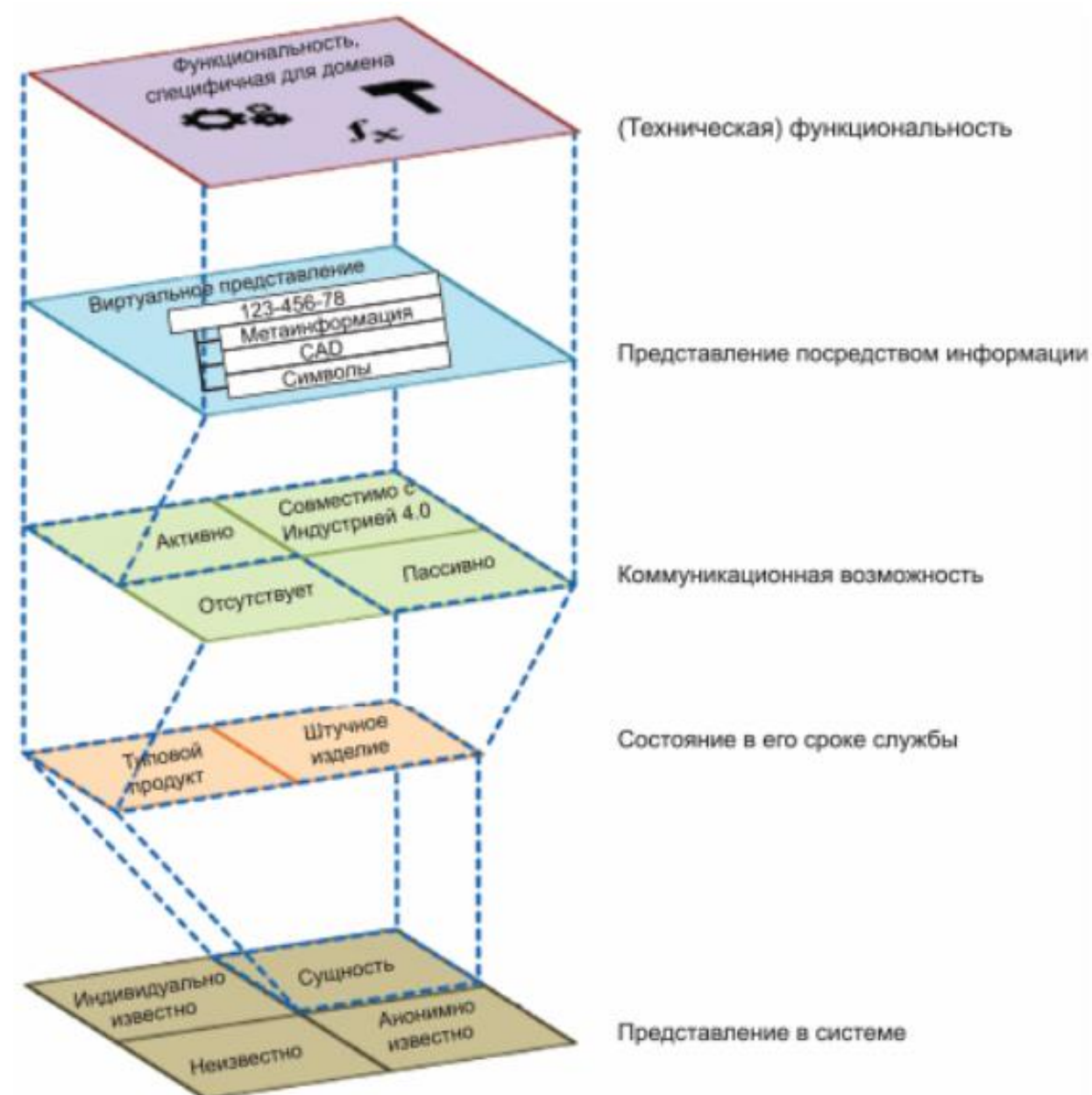
Активы Индустрии 4.0

Характеристики актива:

- актив спроектирован, создан, использован и утилизирован;
- актив может быть идеей, программой, архивом, услугой или любым физическим элементом (другими словами, он не должен существовать в физической форме);
- актив имеет срок службы;
- актив четко идентифицируется;
- актив представлен в виртуальном мире своей административной оболочкой;
- актив может иметь несколько виртуальных представлений, созданных в соответствии с правилами Индустрии 4.0 для разных целей;
- активы могут быть объединены для создания новых активов с различными свойствами;
- актив используется в процессе и характеризуется во времени, местоположении и состоянии;
- у каждой части информации актива есть носитель;
- характеристики актива описаны с использованием глоссария Индустрии 4.0. который включает набор терминов, описывающих свойства.

Активы Индустрии 4.0

Концепции актива



Активы Индустрии 4.0

Средства представления и актуализации актива в информационной системе

Классификация активов в зависимости от объема информации, доступной информационной системе:

- а) неизвестный;
- б) анонимно известный;
- в) индивидуально известный;
- г) администрируемый как сущность.

Неизвестный актив — это тот актив, который не известен в информационном мире.

Анонимно известный актив — это тот, который может быть признан только в информационном мире как актив определенного типа в определенном месте.

Индивидуально известный актив является однозначно идентифицируемым, у которого есть уникальное имя, известное в информационном мире. Система с помощью метода идентификации определяет актив в физическом мире и присваивает имя объекту.

Сущность является уникально идентифицируемым активом, который управляется в информационном мире. Сущности — это информационные активы, обладающие собственными объектами, которыми можно управлять. Представление информации о сущности содержит данные об активе, которые могут храниться в соответствующем компоненте Индустрии 4.0 и могут быть доступны для внешнего мира с использованием связи, совместимой с Индустрией 4.0.

Активы Индустрии 4.0

Диспетчер компонентов для администрирования объектов



Активы Индустрии 4.0

Состояние актива в течение жизненного цикла

Актив как типовой продукт определяет набор свойств, которые характерны для всех штучных изделий этого конкретного актива, а также однозначно идентифицируется и возникает с этапа первичного замысла.

Штучное изделие — это однозначно идентифицируемый актив, характеризующийся свойствами типового продукта. Штучное изделие всегда однозначно связано с его типовым продуктом.

Активы Индустрии 4.0

Коммуникационные возможности

Коммуникационные возможности активов в физическом мире

Активы в физическом мире могут быть физическими объектами (например, труба или кабель), носителями информации (например, сервер) или быть и тем, и другим (например, «интеллектуальное» устройство сопряжения). Поскольку они несут информацию; активы в физическом мире должны быть интегрированы в технологическую информационную сеть системы для коммуникационных целей.

Активы могут быть размещены в следующих *категориях* в зависимости от их коммуникационных возможностей:

- а) активы без коммуникационных возможностей;
- б) активы с пассивными коммуникационными возможностями;
- в) активы с активными коммуникационными возможностями (базовый компонент);
- г) активы с совместимой с Индустрией 4.0 возможностью связи (компонент Индустрии 4.0).

Активы Индустрии 4.0

Коммуникационные возможности

Коммуникационные возможности активов в физическом мире

Активы без коммуникационных возможностей

Физический актив не имеет возможности связи, если он не является носителем информации (например, винт, кабель или резервуар) или если он является носителем информации, но не имеет цифрового интерфейса (например, обычная стиральная машина)

Активы с возможностью пассивной связи

Если актив содержит носитель информации, который может быть прочитан через интерфейсы, он имеет пассивные коммуникационные возможности. Сам носитель информации пассивен, но позволяет данным о нем считываться для идентификации актива (например, RFID, штрих-код и так далее).

Активы с активными коммуникационными возможностями (основные компоненты)

Физический актив, способный активно участвовать в сетевой коммуникации в качестве основного компонента с точки зрения цифровой связи, активно идентифицирует себя при создании связи с сетью для входа в систему и участия в коммуникации.

Активы с совместимой с Индустрией 4.0 возможностью связи (компоненты Индустрии 4.0)

Актив, который имеет все возможности пользователя системы обслуживания Индустрии 4.0, является компонентом Индустрии 4.0 ввиду его особой роли в системе Индустрии 4.0. Компоненты Индустрии 4.0. программное обеспечение и аппаратные средства называются автономными компонентами Индустрии 4.0.

Чтобы компонент Индустрии 4.0 мог предоставлять информацию, он должен по крайней мере соединяться с активом через информационную систему.

Активы Индустрии 4.0

Коммуникационные возможности

Коммуникационные возможности активов в информационном мире

Активы без коммуникационных возможностей

Носитель данных не способен к связи. Все данные на нем не способны к коммуникации.

Активы с возможностью пассивной связи

Актив не имеет активной связи. Однако данные хранятся на носителе, которые можно прочитать (и, возможно, записать) в системе.

Активы с активными коммуникационными возможностями

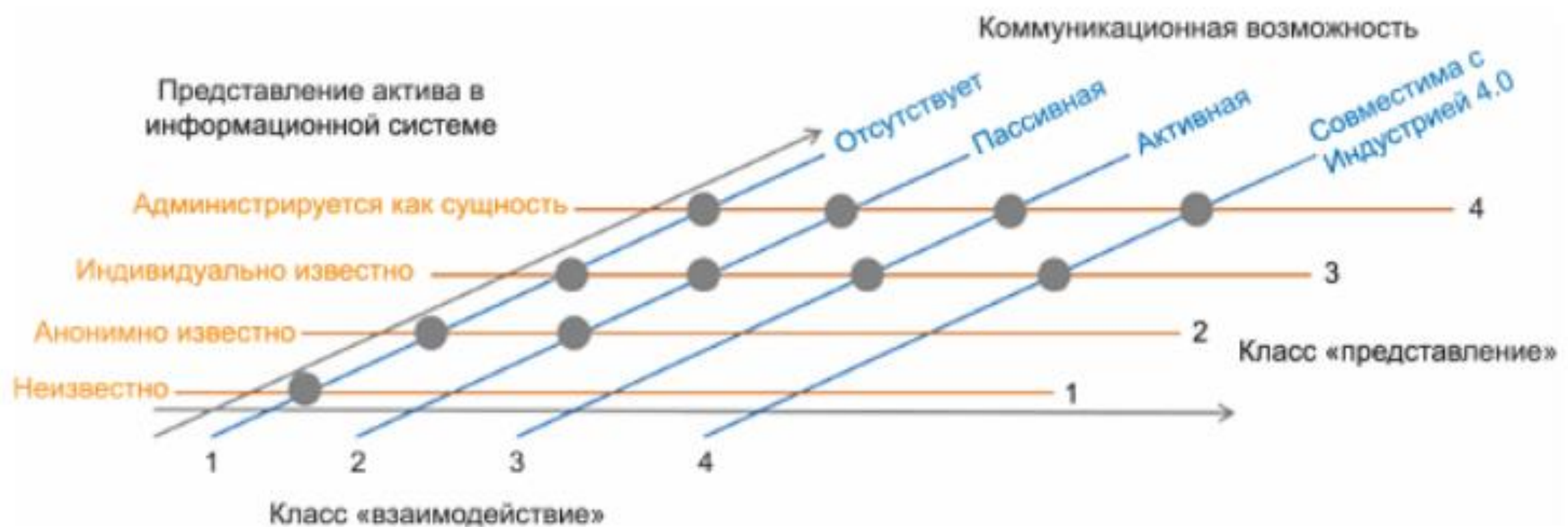
Данные администрируются в активном программном компоненте. Программный компонент способен активно участвовать в системной связи. Программный компонент идентифицирует себя, когда активируется и авторизуется для участия в обмене информацией в системе.

Активы с совместимой с Индустрией 4.0 возможностью связи (компоненты Индустрии 4.0)

Компонент Индустрии 4.0, представляющий актив, обладает всеми возможностями службы Индустрии 4.0 как пользователь системы. В отличие от компонентов Индустрии 4.0, представляющих актив из физического мира, этот вид компонента Индустрии 4.0 представляет программный компонент Индустрии 4.0.

Активы Индустрии 4.0

Действительное представление актива в информационной системе и его коммуникационных возможностей



Принадлежность к определенному классу объекта в зависимости от коммуникационных возможностей и представлений может быть выражена с помощью «СР» и числа. СР расшифровывается как классификация связи и представления.

Система обозначений СР для классификации в соответствии с коммуникационными возможностями и представлениями

Классификация «связь-представление» «Связь-представление» (XY)

Коммуникационные возможности (позиция X)

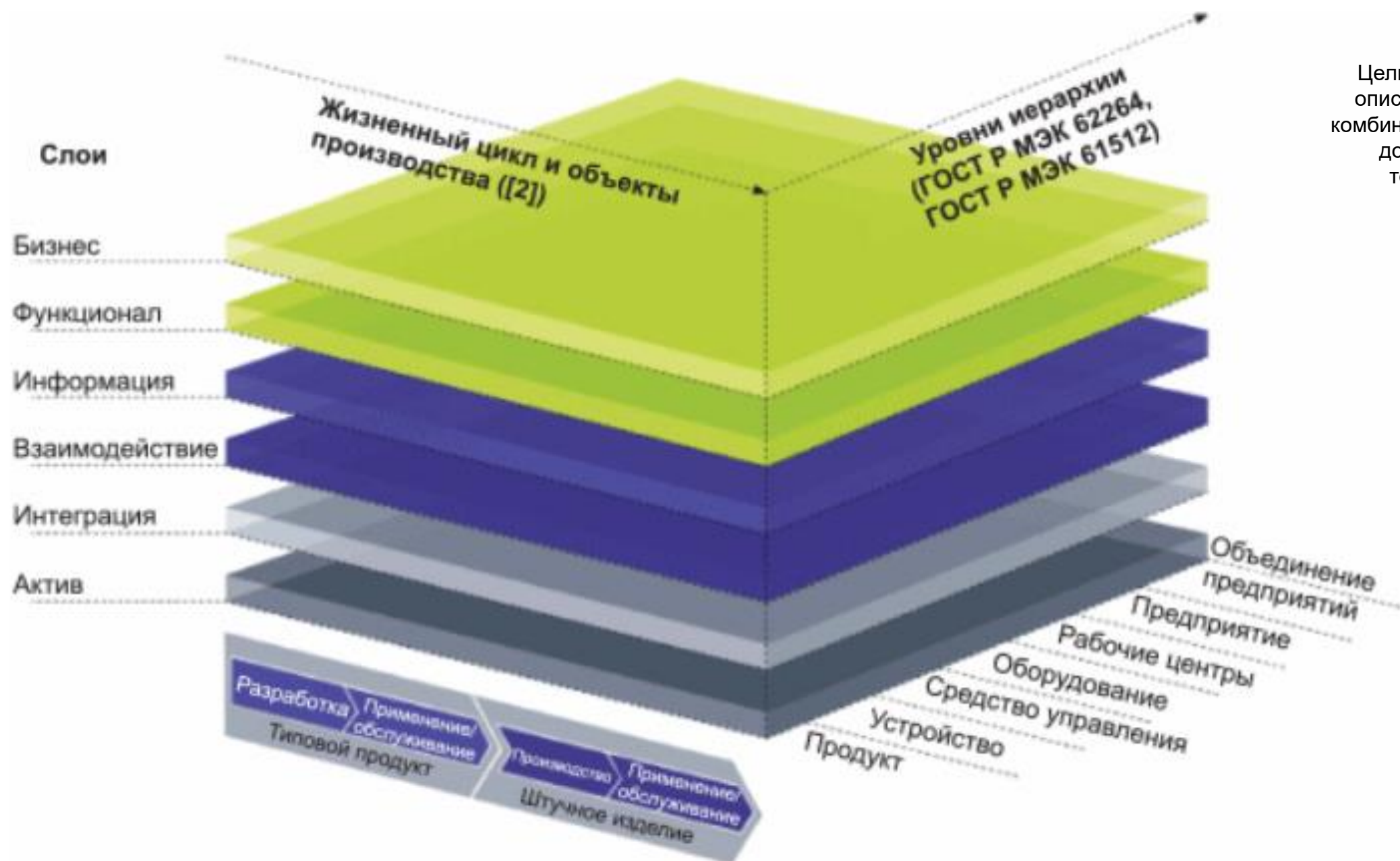
- 4 – коммуникация, совместимая с сервисами системы
- 3 – активные коммуникационные возможности
- 2 – пассивные коммуникационные возможности
- 1 – коммуникационные возможности отсутствуют

Представление в информационной системе (позиция Y)

- 4 – администрируется как сущность
- 3 – индивидуально известно
- 2 – анонимно известно
- 1 – неизвестно

Модель эталонной архитектуры Индустрии 4.0 (RAMI4.0)

Модель эталонной архитектуры Индустрии 4.0 (RAMI 4.0)



Цель RAMI4.0 —
описать активы и
комбинации активов с
достаточной
точностью

Модель эталонной архитектуры Индустрии 4.0 (RAMI4.0)

Модель эталонной архитектуры Индустрии 4.0 (RAMI 4.0)

Ось координат архитектуры («уровни»)

Вертикальная ось координат описывает на основе многослойной структуры системы с указанием уровней (слоев), отражающих специфические функции активов.

Шесть архитектурных уровней (слоев) используются на вертикальной оси для описания структурных свойств актива или комбинации активов:

- а) бизнес;
- б) функционал;
- в) информация;
- г) взаимодействие;
- д) интеграция;
- в) актив.

Модель эталонной архитектуры Индустрии 4.0 (RAMI4.0)

Модель эталонной архитектуры Индустрии 4.0 (RAMI 4.0)

Ось координат архитектуры («уровни»)

Бизнес-уровень описывает коммерческое представление.

Он включает в себя:

- а) общие организационные граничные условия (такие как ввод в эксплуатацию, общие условия заказа или нормативные положения);
- б) финансовые условия (цена, доступность ресурсов, скидки и так далее); в) обеспечение целостности функций в цепочке добавленной стоимости;
- г) правила моделирования, которым должна следовать система Индустрии 4.0;
- д) соответствие бизнес-моделей и возникающих в результате бизнес-процессов;
- е) общие правовые и нормативные условия;
- ж) инструментарий сервисов на «функциональном» уровне;
- з) связи между различными бизнес-процессами;
- и) получение событий для перехода бизнес-процесса на следующий этап.

Модель эталонной архитектуры Индустрии 4.0 (RAMI4.0)

Модель эталонной архитектуры Индустрии 4.0 (RAMI 4.0)

Ось координат архитектуры («уровни»)

Функциональный уровень описывает логические функции актива (технические функциональные возможности) относительно его роли в системе Индустрии 4.0.

К логическим функциям относятся:

- а) формальное, цифровое описание функций;
- б) платформа для горизонтальной интеграции различных функций;
- в) среда выполнения и моделирования сервисов и бизнес-процессов;
- г) среда выполнения для приложений и технической функциональности.

Модель эталонной архитектуры Индустрии 4.0 (RAMI4.0)

Модель эталонной архитектуры Индустрии 4.0 (RAMI 4.0)

Ось координат архитектуры («уровни»)

Информационный уровень описывает данные, которые использует, генерирует или изменяет техническая функциональность актива.

Он включает в себя:

- а) среду выполнения для предварительной обработки события;
- б) выполнение правил;
- в) формальное описание моделей и правил;
- г) сохранение данных, представленных моделями;
- д) обеспечение целостности данных;
- е) последовательную интеграцию разных данных;
- ж) получение новых, более качественных данных (информации, знаний);
- з) предоставление структурированных данных через сервисные интерфейсы;
- и) получение событий и преобразование их в подходящую форму для данных, доступных для функционального уровня;
- к) предварительную обработку контекста.

Модель эталонной архитектуры Индустрии 4.0 (RAMI4.0)

Модель эталонной архитектуры Индустрии 4.0 (RAMI 4.0)

Ось координат архитектуры («уровни»)

Уровень взаимодействия описывает совместимый с Индустрией 4.0 доступ к информации и функции связанного актива другими активами. Другими словами, он описывает, какие данные используются, где они используются и как они распространяются.

Интеграционный уровень представляет собой переход от физического мира к информационному миру. Он описывает инфраструктуру, существующую для реализации функции ресурса. На этом уровне находятся свойства и функции, связанные с процессом, которые делают актив пригодным для использования по прямому назначению.

Содержание интеграционного уровня включает в себя:

- а) обеспечение представления фактического ресурса актива посредством информации об активах. физических объектах, оборудовании, документах, программном обеспечении/прошивки и так далее;
- б) описание технических элементов, таких как считыватели RFID, датчики, человеко-машинные интерфейсы (HMI) и преобразователи сигналов;
- в) автоматизированное управление техническими процессами;
- г) генерирование событий из реальных активов; д) человеко-машинный интерфейс (HMI).

Модель эталонной архитектуры Индустрии 4.0 (RAMI4.0)

Модель эталонной архитектуры Индустрии 4.0 (RAMI 4.0)

Ось координат архитектуры («уровни»)

Уровень активов представляет реальность, то есть актив, который существует в физическом мире. Это материальная реальность, представленная на указанных выше уровнях.

Для каждого соответствующего элемента на уровне активов должен существовать элемент на более высоком уровне цифрового мира. Однако не каждый соответствующий элемент в цифровом мире имеет соответствующий элемент на уровне активов.

Уровень активов содержит:

- а) физический мир, то есть весь реальный мир, существующие активы, как определено Индустрией 4.0. и людей, например, физические элементы, такие как линейные оси и детали из листового металла, сервисы, документы, принципиальные схемы, идеи и архивы;
- б) интерфейс между людьми и информационным миром;
- в) подключение активов к интеграционному уровню.

Модель эталонной архитектуры Индустрии 4.0 (RAMI4.0)

Модель эталонной архитектуры Индустрии 4.0 (RAMI 4.0)

Ось координат жизненного цикла и объектов производств

Ось координат жизненного цикла и объектов производства используют для описания актива в определенный момент времени в течение жизненного цикла, от производства и использования его с добавленной стоимостью до его утилизации. По этой оси актив характеризуется своим состоянием в конкретное время в определенном месте.

Модель эталонной архитектуры Индустрии 4.0 (RAMI4.0)

Ось иерархии

Уровни иерархии RAMI 4.0



Компоненты Индустрии 4.0

Компоненты Индустрии 4.0 являются глобально и уникально идентифицируемыми участниками, способными к взаимодействию, они состоят из административной оболочки и актива с цифровой связью в системе Индустрии 4.0 и обеспечивают услуги с определенными свойствами качества обслуживания .

В промышленных приложениях компонент Индустрии 4.0 может быть производственной системой, индивидуальной машиной или блоком, или модулем внутри машины.

Актив не обязательно является компонентом Индустрии 4.0. Только если сущность содержит, по крайней мере, пассивные возможности связи и оснащена «административной оболочкой», то актив становится компонентом Индустрии 4.0.



Компонент Индустрии 4.0 в качестве необходимого взаимодействия между активом и административной оболочкой

Компоненты Индустрии 4.0

Свойства компонентов Индустрии 4.0

Термин «компонент» обозначает актив в физическом или информационном мире, который выполняет определенную роль или предназначен для ее выполнения в своей системной среде.

В описании компонента должна быть представлена его техническая функциональность, которую он должен выполнять или уже выполняет в системе Индустрии 4.0.

Компонент Индустрии 4.0 — это особый тип компонента, характеризующийся тем, что он соответствует определенным требованиям в отношении классификационных свойств, указанных выше.

Чтобы представить информацию о своих активах в информационном мире, компонент Индустрии 4.0 имеет следующие *свойства*, основанные на технических характеристиках:

- а) четкая идентификация как субъекта;
- б) либо «типовой продукт», либо «штучное изделие» с точки зрения конкретного этапа его жизненного цикла;
- в) способность к активной или пассивной связи, соответствующей Индустрии 4.0 (цифровое соединение в пределах системы Индустрии 4.0);
- г) представление актива с помощью информации,
- д) наличие технической функциональности с уровнем защиты, подходящим для его использования.

Компоненты Индустрии 4.0

Система Индустрии 4.0, состоящая из компонентов Индустрии 4.0

Система Индустрии 4.0 состоит из компонентов Индустрии 4.0 и компонентов с наименьшим числом СР, которые:

- а) служат определенной цели;
- б) имеют указанные свойства;
- в) поддерживают стандартизированные сервисы и состояния.

Такая система Индустрии 4.0 может быть собственным компонентом Индустрии 4.0 в другой системе Индустрии 4.0.

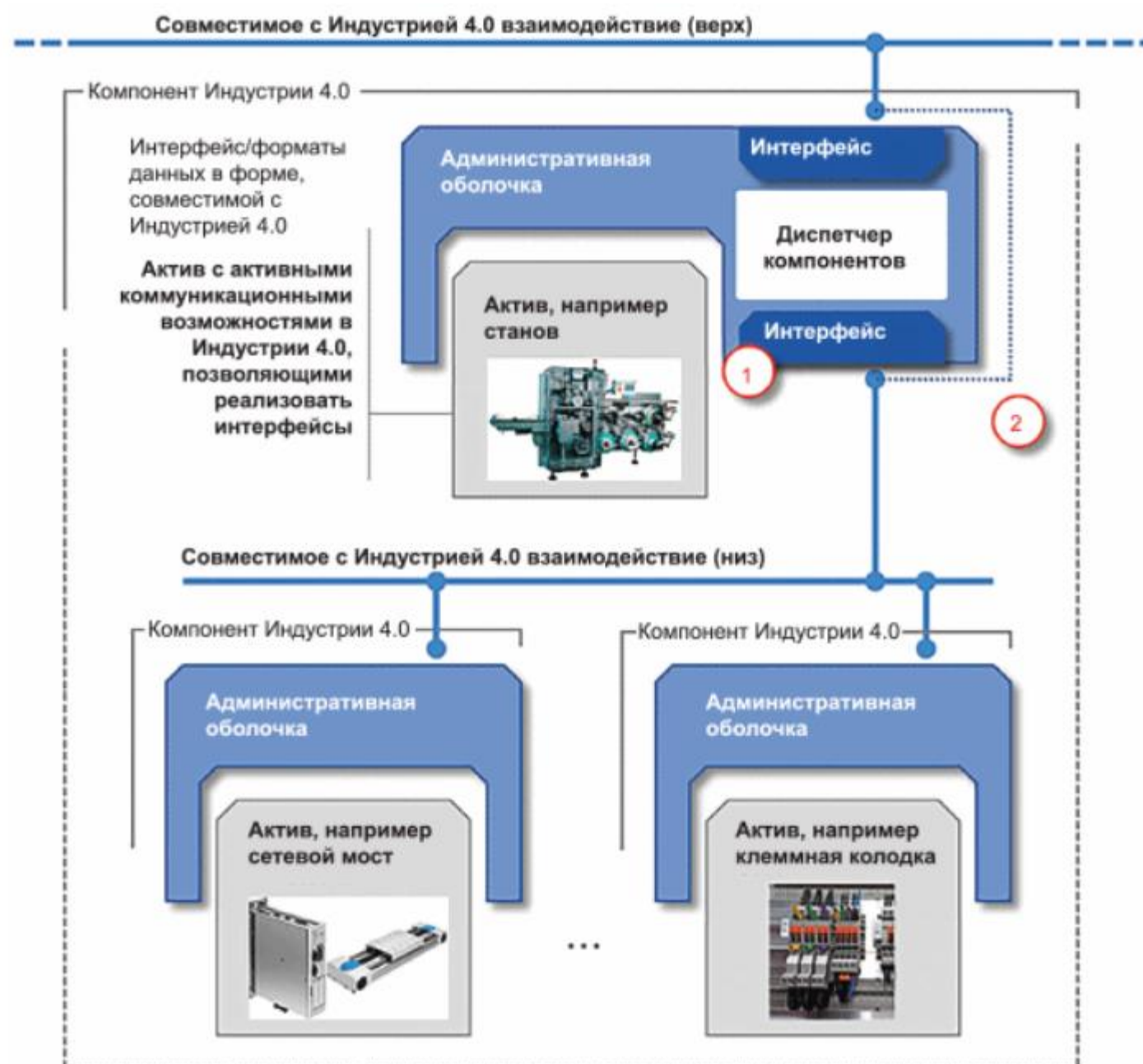
Сеть компонентов Индустрии 4.0 должна быть структурирована таким образом, чтобы были возможны соединения между различными конечными точками (компоненты Индустрии 4.0).

С точки зрения системы компоненты Индустрии 4.0 имеют следующие важные свойства:

- а) вложенность;
- б) инкапсулируемость.

Компоненты Индустрии 4.0

Вложенность компонентов Индустрии 4.0



Компоненты Индустрии 4.0

Инкапсулируемость совместимой и детерминированной с Индустрией 4.0 связи в реальном времени



Компоненты Индустрии 4.0

Административная оболочка компонентов Индустрии 4.0

Административная оболочка преобразует актив в компонент Индустрии 4.0. Это виртуальное цифровое и реальное представление актива в системе Индустрии 4.0.

Административная оболочка записывает данные жизненного цикла актива и преобразует их в информацию.

Схема административной оболочки
Индустрии 4.0



Компоненты Индустрии 4.0

Административная оболочка компонентов Индустрии 4.0

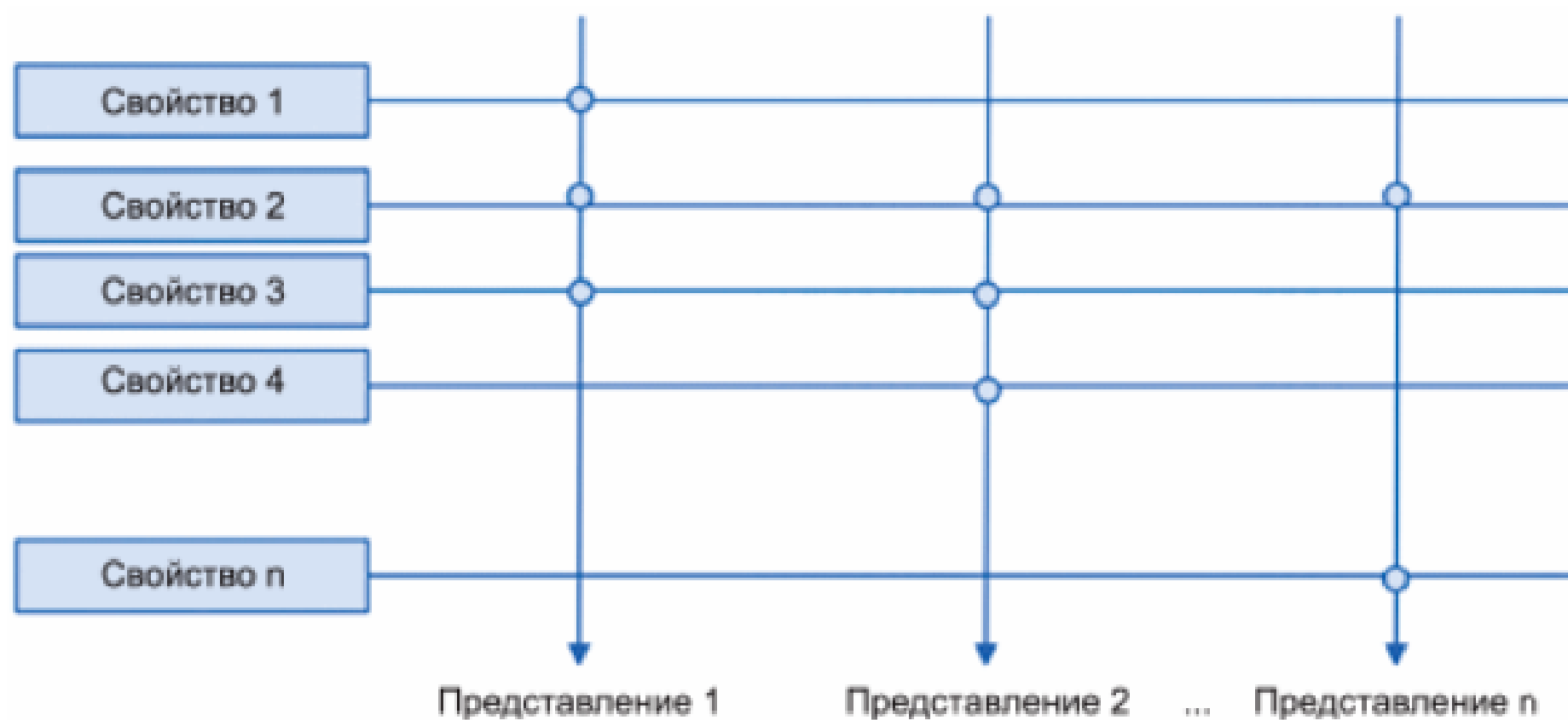
Основные требования к административной оболочке:

- а) Административная оболочка состоит из тела и заголовка;
- б) Тело содержит информацию об активе, о котором идет речь;
- в) Заголовок содержит информацию о том, как используется актив;
- г) Административная оболочка содержит ключевые элементы, манифест и диспетчер компонента;
- д) Информация в административной оболочке должна быть доступна с использованием сервисориентированной архитектуры (SOA) и должна учитывать соответствующие требования безопасности;
- е) Административная оболочка представляет информацию о прикладных аспектах.;
- ж) Административная оболочка структурирована с использованием представлений;
- з) Административная оболочка имеет уникальный идентификатор;
- и) Актив имеет уникальный идентификатор;
- к) Фабрика может быть активом, имеющим административную оболочку, которая может быть определена, при помощи ее идентификатора. Должна быть возможность применять концепцию вложенности;
- л) Типовые продукты и штучные изделия должны быть указаны как таковые.

Компоненты Индустрии 4.0

Каждая частная модель должна обеспечивать, по крайней мере, основные виды представления, данных и функций

Схема создания представлений



Компоненты Индустрии 4.0

Управление административной оболочкой

Информация в административной оболочке с ее частными моделями должна администрироваться и организовываться, что делает диспетчер компонентов и манифест.

Диспетчер компонентов прямо или косвенно формирует расширенный сервис, который выполняет постоянную поддержку содержащейся информации, а также предоставление различных мощных запросов, основанных на сервис-ориентированной архитектуре (SOA).

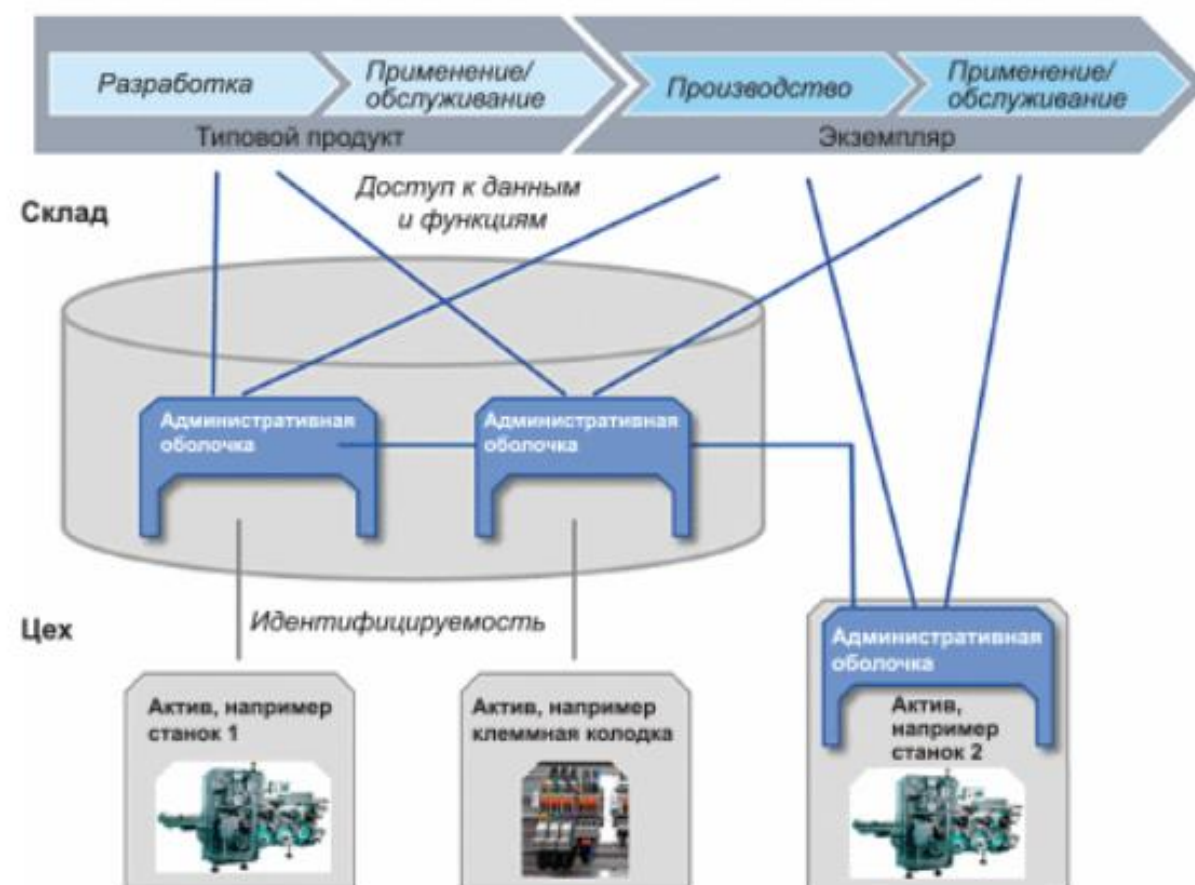
Манифест содержит обязательную информацию о компоненте Индустрии 4.0. в том числе о подключении к активу или активам посредством соответствующей идентификации.

Манифест действует как уникально идентифицируемое оглавление со всей информацией, данными и функциями административной оболочки, а также включает определенный набор метаданных о функциональных и нефункциональных свойствах компонента Индустрии 4.0. доступный во вне.

Части манифеста включают в себя:

- а) характерные свойства актива;
- б) информацию о том. как свойства взаимосвязаны;
- в) отношения между компонентами Индустрии 4.0;
- г) формальное описание соответствующих функций актива, а также соответствующих процедур

Доступность административных оболочек через хранилище или напрямую через представленные активы



Компоненты Индустрии 4.0

Формы компонентов Индустрии 4.0

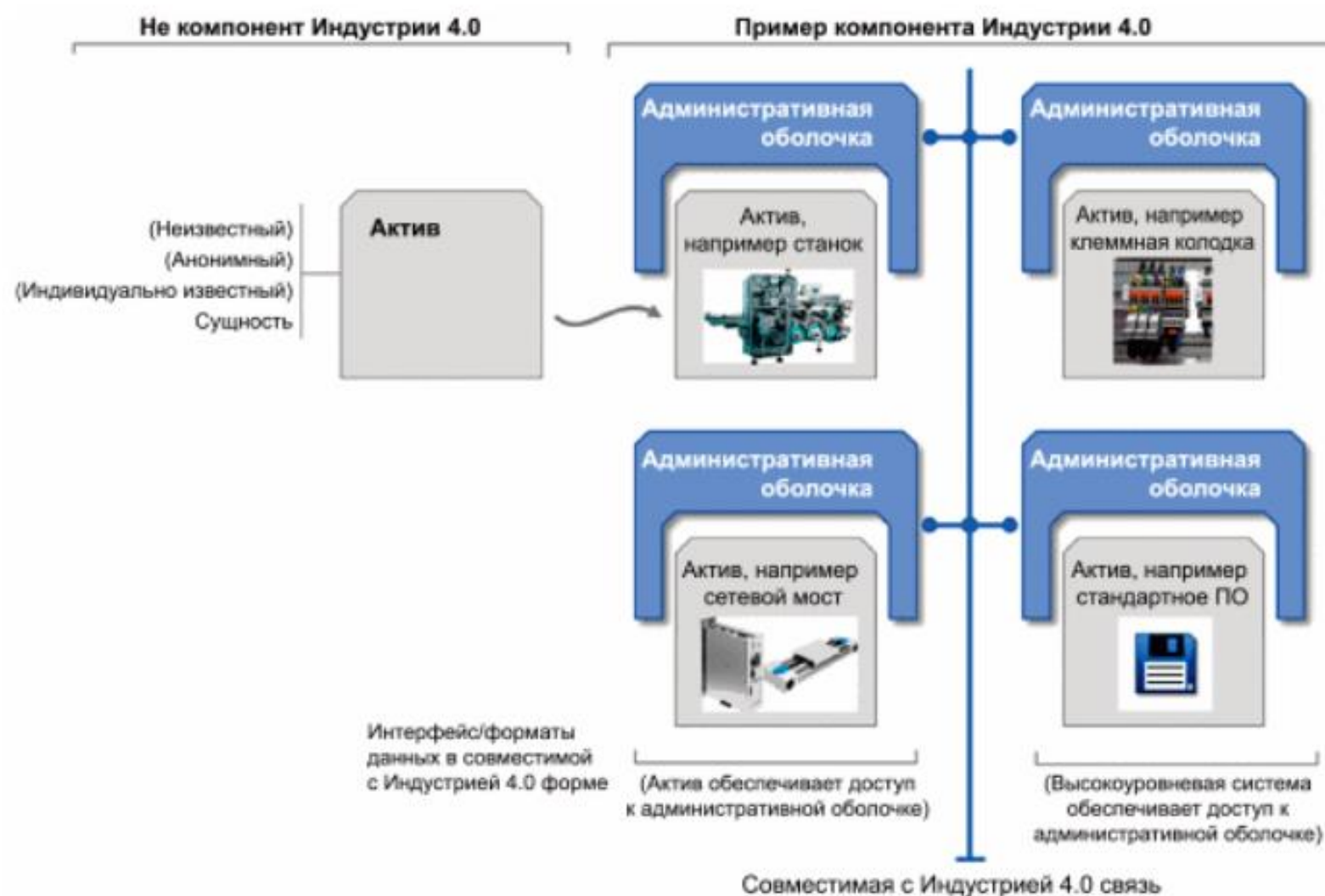
Различные активы, которые становятся компонентами Индустрии 4.0 при добавлении административной оболочки

Актив и административная оболочка могут находиться в разных местах. Например, административная оболочка активов, способная только к пассивной связи, может храниться в ИТ-системе более высокого уровня.

Административная оболочка также может храниться в активе или на нем.

Компонент Индустрии 4.0 может иметь более одной административной оболочки для разных целей.

Административная оболочка компонента Индустрии 4.0 также может представлять несколько активов





Технологии формирования межотраслевого и межгосударственного единого информационного пространства