

Иерархия моделей процессов предприятия в стандартной архитектуре Индустрии 4.0

Моделирование является базовым компонентом любой современной системы управления предприятием. В зависимости от решаемой задачи используемые методы моделирования, как, впрочем, и смысловые значения, вкладываемые в понятие “модель”, значительно различаются. Применение большого количества различных моделей зачастую препятствует целостному видению процессов на макроуровне. Чтобы избежать этого, необходим фундаментальный научный подход к классификации моделей, определению границ их применимости и порядку их взаимодействия. В статье рассматривается, что именно подразумевается под моделью при решении различных управленческих задач и какие типы моделей при этом применяются. Центральным вопросом является классификация моделей и их объединение в единую взаимосвязанную иерархию. В качестве шаблона такой иерархии рассмотрена архитектура моделей в рамках концепции Индустрии 4.0, принятая в качестве национального промышленного стандарта ФРГ [1], но при этом широко применяемая в практике построения информационных систем предприятий по всему миру.

Понятие моделей и их применение

Несмотря на широкое распространение и использование в области бизнеса, технологий, естественных наук и математики понятие модели при практическом применении остается размытым. Наиболее общая трактовка термина “модель” подразумевает отображение реальности: и конкретная проблемная область, и модель, которая должна быть формально разработана на ее основе, понимаются как система, состоящая из элементов и их взаимосвязей [2]. При этом процесс моделирования – это попытка разложить реальный объект на стандартные элементы, свойства которых изучены и известны исследователю. Таким образом, **модель – это упрощенное отображение элементов и процессов проектируемой или существующей системы в некотором теоретическом пространстве, для которого законы функционирования известны и строго определены.**

Такое отображение по определению отличается от изучаемой системы, так как описывает ее проблемно-ориентированно, ограничиваясь только

предметной информацией, относящейся к области исследования. Благодаря подобной абстракции, заключающейся в игнорировании “лишней” информации, модели помогают легче понять основные аспекты сложных систем. В таком случае очевидно, что и результаты, полученные на модели, в полной мере и без ограничений применимы только в созданном теоретическом пространстве, то есть они должны быть адаптированы для использования в реальной системе. Процесс абстракции моделирования и адаптации его результатов представлен на рис. 1.

Общепринятой областью применения моделей в управлении [2] является детальное представление сложной реальности и облегчение процесса принятия решений, однако процесс создания конкретной модели конкретного процесса в большой степени зависит от функции, которую создаваемая модель должна выполнять. Также уровень абстракции и детальность каждой конкретной модели зависят от степени охвата описываемых явлений/процессов. Например, в каждой отрасли в том или ином виде существуют так называемые эталонные модели процессов и взаимодействий между субъектами производственной деятельности. Более широким охватом обладают межотраслевые модели, описывающие процессы на более общем уровне [3], – с одной стороны, эти модели имеют меньшую детализацию каждого процесса, однако в большей степени учитывают взаимное влияние последних. Аналогичную ситуацию можно наблюдать в масштабах отдельного предприятия [4] – модели принятия решений уровня ERP-систем значительно менее детальны, чем модели уровня MES, и не могут использоваться, например, для планирования загрузки оборудования конкретного цеха. Однако эти модели успешно применяются для принятия стратегических решений, например о физической возможности и эко-

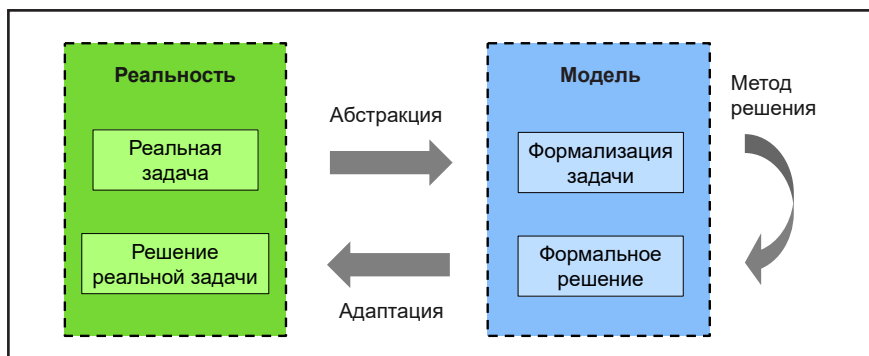


Рис. 1. Взаимосвязь реальности и модели

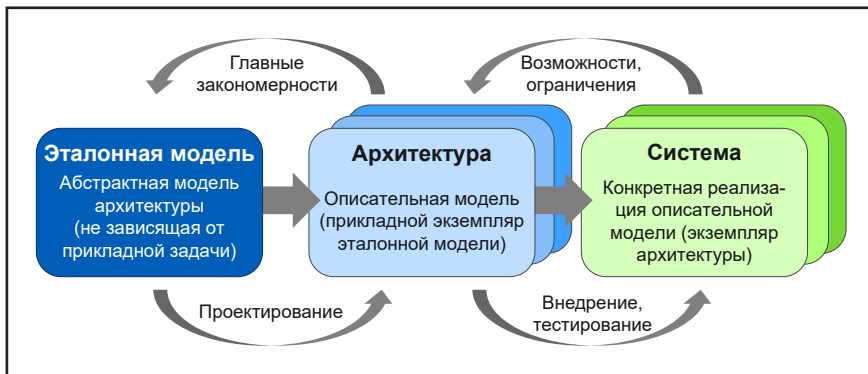


Рис. 2. Архитектура и ее реализация (система) как экземпляры эталонной модели

номической целесообразности добавления в производственный план дополнительного заказа, что недоступно детальным моделям более низкого уровня.

Эталонная модель как шаблон построения ИТ-системы

Возрастающая сложность информационно-управляющих систем в современных условиях требует повышенного внимания к вопросам взаимодействия их компонентов и архитектуры в целом. Гибкость и расширяемость управляющего программного обеспечения достигается за счет упорядоченного подхода к моделированию и распределению его функциональных возможностей, а также проектированию информационных потоков между модулями и компонентами. **Шаблоны распределения функций и информационных потоков для определенной проблемной области или направления деятельности объединяются в так называемую эталонную модель.**

Эталонная модель выполняет следующие функции при проектировании информационной системы:

- ▶ предоставляет закрытый список типов элементов системы;
- ▶ определяет компоненты системы как экземпляры определенных типов и задает правила их взаимодействия друг с другом и с внешней средой;
- ▶ предписывает ограничения для каждого компонента системы.

Несмотря на то что эталонные модели могут иметь разную проблемную направленность, они выполняют важную общую функцию, а именно визуализируют различные представления процессов в едином пространстве и служат средством обеспечения соответствия бизнес-целей и возможностей ИТ-решений.

Широко распространенный термин “архитектура” информационной системы, часто употребляемый для обозначения ее упрощенного абстрактного представления, в данном контексте является экземпляром эталонной модели, которая выступает в качестве шаблона или базового плана при проектировании. Архитектура программной системы служит исчерпывающим описанием компонентов системы, их взаимодействия в части распределения потоков данных и, что наиболее важно, разграничения функций между ними. Можно сказать, что архитектура – это не просто техническая структура системы, а в большей степени представление о том, как работает объект

управления (например, предприятие), какие бизнес-процессы в нем протекают и как они связаны между собой.

Эталонная модель в Индустрии 4.0

Концепция Индустрии 4.0 родилась в ФРГ в 2011 году и применялась к предприятиям машиностроительной отрасли, однако довольно быстро распространилась по всему миру и проникла в другие направления бизнеса (например, добывающую

промышленность, сельское хозяйство, сферу услуг и т.п.). Главной проблемой такой экспансии стало отсутствие согласованности информационных моделей – на момент принятия концепции различные разнородные программные инструменты, разрозненные модели и автономно действующие подходы уже существовали в широком диапазоне промышленных приложений. С целью максимальной унификации подходов в рамках Индустрии 4.0 в 2016 году был принят стандарт DIN SPEC 91345:2016-04 [1], вводящий понятие “Стандартная модель архитектуры Индустрии 4.0” (в оригинале Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 – RAMI 4.0) и позволивший обобщить и упорядочить весь накопленный опыт построения информационных систем предприятия [5]. С точки зрения системного анализа это позволило ввести четкие границы применимости каждой отдельной модели, а также обозначить стыки между производственными задачами, на которых осуществляется переход между моделями как в плане передачи выполняемых задач, так и в плане транслируемого между ними объема информации.

На рис. 3 представлена структура стандартной модели архитектуры Индустрии 4.0, показывающая переход между применяемыми моделями по оси жизненного цикла изделия (горизонтальная левая ось), оси функциональной иерархии (горизонтальная правая ось) и оси слоев ИТ-архитектуры (вертикальная ось). Разделение моделей показано на примере задач планирования:

- ▶ по оси жизненного цикла видно, что на стадии производства изделия используются модели производственного планирования (например, модель Job-Shop Scheduling на уровне цеха (обозначение 1 на рис. 3) и модель ERP на уровне всего предприятия (обозначение 2 на рис. 3)). После сдачи изделия в эксплуатацию применяются модели планирования ремонтов (например, модель EAM оптимального планирования ремонтов на уровне эксплуатирующего предприятия (обозначение 3 на рис. 3) и модель Maintenance Scheduling для оперативной коррекции планов обслуживания на основе информации о доступности бригад на уровне ремонтной службы (обозначение 4 на рис. 3));
- ▶ переход по оси функциональной иерархии отражен переходом от более общей задачи планирования на уровне предприятия (ERP для производства и EAM для эксплуатации (обозначение 2 и обозначение 3

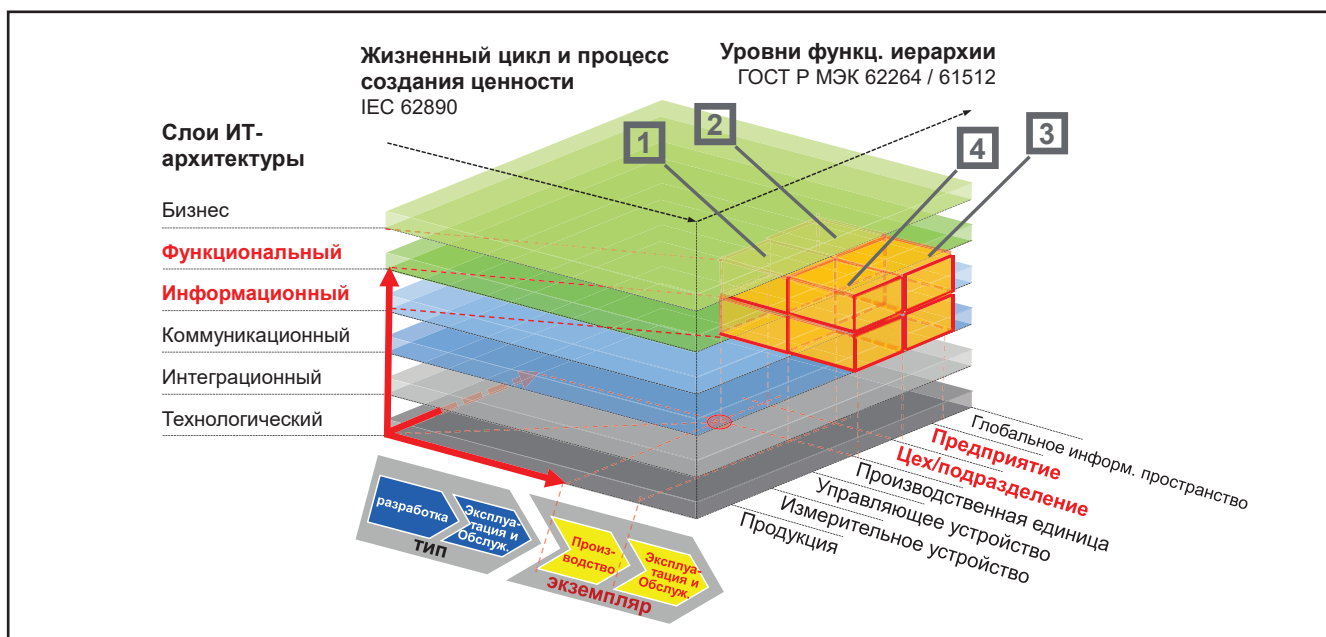


Рис. 3. Стандартная модель архитектуры Индустрии 4.0 (RAMI4.0) и ее применение для разграничения моделей процессов

на рис. 3 соответственно) к более детальной задаче (Job-Shop Scheduling для производства и Maintenance Scheduling для эксплуатации (обозначение 1 и обозначение 4 на рис. 3 соответственно));

▶ понижение уровня по оси слоев архитектуры соответствует переходу от моделей непосредственного решения прикладных задач планирования (на функциональном уровне) к вспомогательным задачам агрегации и сбора необходимых данных для их решения (на более низком информационном уровне). Передача информации между моделями очевидным образом связана с решаемыми задачами (в данном случае рассматриваются задачи планирования):

- ▶ по оси жизненного цикла: результатом производства изделия являются его заводские характеристики и документация, используемая эксплуатирующим предприятием – например, характеристики надежности и межремонтный интервал из паспорта изделия напрямую используются при планировании ремонтов;
- ▶ по оси функциональной иерархии: результатом планирования на уровне ERP является список заказов с директивными сроками их исполнения, что является исходными данными для решения задачи цехового планирования;
- ▶ по оси слоев архитектуры: принимаемые сигналы начала/окончания операций либо о состоянии оборудования служат триггерами для запуска задач планирования – например, сигнал неисправности агрегата может запускать задачу переназначения операции на другой станок, либо коррекции всего плана цеха.

Следует особо обратить внимание, что стандартная модель архитектуры Индустрии 4.0 не предъявляет требований к конкретной программной реализации описываемых функций – последние могут реализовываться на монолитной ИТ-платформе или в виде независимых программ с их последующей интеграцией, в виде классических приложений или микросервисов. Требования стандарта лежат в модельной и функциональной области

– с этой точки зрения любые ИТ-конфигурации, выполняющие одинаковые функции и соблюдающие принцип разделения моделей, являются равноправными. В такой постановке концепция Индустрии 4.0 избавляется от излишней ИТ-ориентированности, а претензии отдельных производителей программных продуктов на их приоритетность уходят на второй план (извечный вопрос, чья система или платформа лучше соответствует принципам Индустрии 4.0, попросту теряет смысл). В свою очередь это позволяет осуществлять проектирование управляющих систем предприятия на основе бизнес-требований и выбирать ИТ-решения для конкретных задач на основе функциональных потребностей.

**Томас Шульц, chanel manager, компания GE Digital,
Иван Некрасов, к.т.н., с.н.с., Институт проблем
управления им. В. А. Трапезникова РАН**

Литература

1. DIN SPEC 91345:2016-04 Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0). Berlin: Beuth Verlag, April 2016. – Национальный стандарт ФРГ.
2. **Зарубин В. С.** Математическое моделирование в технике / под. ред А. П. Крищенко. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. – 495 с.
3. **Röhm, Egbert.** Auswahl von Leiständen zur Produktionssteuerung auf der Basis dynamischer Systemvergleiche. Aachen: Shaker, 1997.
4. **Lazarev A. A., Nekrasov I.** MATHEMATICAL MODELS FOR ENTERPRISE RESOURCE SCHEDULING: COMPLEXITY OF KEY APPROACHES TO PROBLEM FORMULATION // 2017 Tenth International Conference Management of Large-Scale System Development (MLSD). – IEEE, Moscow, 2017 – Conference Proceedings. – P. 1-5, doi: 10.1109/MLSD.2017.8109650. (<https://ieeexplore.ieee.org/document/8109650>)
5. **Шульц Т., Некрасов И. В., Ложнин Д. В.** Обзор модели стандартной архитектуры и компонентов "Industry 4.0" // Автоматизация в промышленности. 2018. № 10. С. 39-46.



ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗАЦИИ

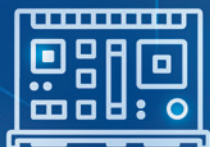
2021

КОНФЕРЕНЦИИ



#ПРОМЫШЛЕННАЯ
АВТОМАТИЗАЦИЯ

#INDUSTRY 4.0



#ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА



#ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ



#ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ



#ИНФОРМАЦИОННАЯ
БЕЗОПАСНОСТЬ

24 МАРТА

ПТА - Уфа

📍 Nesterov Plaza Hotel

26 МАЯ

ПТА - Челябинск

📍 Бизнес-отель «ПаркСити»

29 СЕНТЯБРЯ

ПТА - Нижний Новгород

📍 Отель «Sheraton Нижний Новгород
Кремль»

27 ОКТЯБРЯ

ПТА - Новосибирск

📍 Отель «Новосибирск Марриотт»

01 ДЕКАБРЯ

ПТА - Екатеринбург

📍 Novotel Екатеринбург Центр

Организатор

Экспотроника

+7 (495) 234-22-10

WWW.PTA-EXPO.RU