

# Моделирование процесса инженерии требований на промышленном предприятии

Батоврин В.К.<sup>1</sup>, Гайдамака К.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Московский Технологический Университет (МИРЭА), Москва, Россия  
vkbat@mail.ru

<sup>2</sup> Московский Технологический Университет (МИРЭА), Москва, Россия  
k.gaydamaka@gmail.com

**Abstract.** This paper presents some special aspects of requirements engineering process modeling for enterprises creating complex technical products.

**Аннотация.** В докладе рассмотрены особенности моделирования процесса инженерии требований в условиях предприятия, создающего сложную техническую продукцию.

**Ключевые слова:** системная инженерия, инженерия требований, качество требований.

## 1 Введение

Важнейшей составляющей деятельности по созданию сложных инженерных объектов является работа с требованиями. Практически все крупные компании, занятые созданием сложной техники, признают, что налаженная инженерия требований критически важна для успеха проектов и является одним из ключевых элементов повышения конкурентоспособности предприятий и их продукции на мировом рынке.

Для установления на предприятии зрелого процесса инженерии требований, а также для его поддержки инструментальными средствами, требуется модель процесса инженерии требований. Общепризнанной модели процесса инженерии требований, пригодной к адаптации к условиям деятельности произвольного предприятия, сегодня не существует. Поэтому на каждом предприятии, создающем сложные системы, приходится налаживать свой уникальный процесс инженерии требований, отвечающий особенностям предметной области и конкретного бизнеса. Процесс инженерии требований является комплексным и сложным, поэтому, возможны ситуации, когда предприятию приходится выстраивать отдельный процесс инженерии требований, адаптированный для конкретного проекта, например, компания Airbus налаживала подобный процесс при реализации проекта по созданию самолета А 380 [4]. Цель работы – анализ существующих моделей процесса инженерии требований и выявление принци-

пов, которые могут быть положены в основу выполнения работ по моделированию этого процесса на промышленном предприятии.

## 2 Существующие рекомендации и модели

В научно-технической литературе представлены рекомендации и ряд моделей процесса инженерии требований, устанавливающих как состав процессов инженерии требований, так и порядок их выполнения, а также описывается возможная связь процессов инженерии требований с другими процессами жизненного цикла.

При формировании модели состава процесса инженерии требований за основу могут быть взяты процессы, описанные в международных стандартах *ISO/IEC 15288 «Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем»* [7] и *ISO/IEC/IEEE 29148 «Системная и программная инженерия. Управление жизненным циклом. Инженерия требований»* [8]. Эти стандарты не содержат описания модели процесса как таковой, однако предлагают набор процессов, которые пригодны для ее построения, а именно:

- Процесс анализа хозяйственной деятельности или комплекса решаемых задач (Business or mission analysis process).
- Процесс определения нужд и требований заинтересованных сторон (Stakeholder needs and requirements definition process);
- Процесс определения требований к системе (System requirements definition process).

Кроме того, упомянутые стандарты включают описание процессов, тесным образом связанных с инженерией требований, но не предполагающих получение требований в качестве основного результата, в том числе:

- Процесс определения архитектуры (Architecture definition process).
- Процесс определения проектно-конструкторских решений (Design definition process).
- Процесс верификации (Verification process).
- Процесс валидации (Validation process).

Наконец, в указанных документах можно найти описание процессов, необходимых для управления требованиями, в частности:

- Управление изменениями (Change management).
- Измерения (Measurement for requirements).

Примеры комплексных моделей процесса инженерии требований содержатся в ряде публикаций, например, [3, 10, 13, 17]. Ключевое отличие модели, предлагаемой в [17], состоит в выделении отдельных процессов инженерии требований в области проблем и в области решений, а также в тесной увязке процесса инженерии требований с процессом моделирования интересующей системы

посредством операций анализа и выработки вариантов проектного решения. Подобная модель позволяет получить наглядное представление о взаимосвязи между исходными и производными требованиями и облегчить формирование стратегии проверки соответствия.

К. Поль, в свою очередь, предлагает при моделировании процесса инженерии требований использовать три точки зрения: процесс, уровни абстракции, типы артефактов [13]. При этом в качестве ключевых действий процесса инженерии требований выделяется выявление, документирование и согласование требований с добавлением сквозных действий по валидации и управлению требованиями. Модель также определяет типовые артефакты инженерии требований: Цели, Сценарии и Требования к решению (Solution-oriented requirements).

В ряде отраслей промышленности, в частности в авиации, сформировались свои подходы к моделированию инженерии требований, см., например, [5, 6]. В основу подобных моделей положена практика организации производственных процессов, сложившаяся на зарубежных предприятиях в течение десятков лет, что затрудняет прямую адаптацию содержащихся в документах рекомендаций к условиям отечественного предприятия.

Таким образом, адаптация имеющихся рекомендаций по моделированию процесса инженерии требований к условиям конкретной организации должна выполняться в два этапа:

- Первый этап – адаптация рекомендаций международных стандартов для конкретной отрасли или предприятия, например, авиационной, атомной, медицинской, военной. На этом этапе главным образом определяются состав, цели и результаты процессов.
- Второй этап – адаптация отраслевых или корпоративных стандартов для конкретного проекта или контракта. На этом этапе в основном определяются особенности и порядок реализации деятельности по инженерии требований на отдельном предприятии или в конкретном проекте.

Выполненный нами применительно к авиационной отрасли анализ нормативных и методических документов, а также отраслевых стандартов показал, что сегодня необходимо сосредоточиться на первом этапе работ. Это обусловлено тем, что адаптация международных рекомендаций по инженерии требований повлечет за собой необходимость коренной перестройки традиционных инженерных и управленческих процессов на предприятии. Важнейшим результатом подобной работы должна стать контекстная диаграмма, учитывающая цели процесса инженерии требований и содержащая описание его состава, входов и выходов, а также факторов управления, имеющихся ресурсов и ограничений.

### **3 Инженерия требований и разработка архитектуры**

Общепризнанно, что существует глубокая и неразрывная связь между процессом инженерии требований и процессом определения архитектуры. При этом в литературе можно встретить утверждение, что создание системы начинается с

выяснения нужд и обоснования требований, на основе которых, в свою очередь, определяется архитектура. В действительности связь между требованиями и архитектурой намного сложнее.

Основная особенность взаимосвязи между требованиями и архитектурой заключается в том, что даже на самых ранних этапах жизненного цикла у создателей системы *всегда имеется унаследованное представление* о ее архитектуре. Кроме того, в процессе разработки могут быть установлены требования, которые не получены от заказчика или пользователей, а определяются именно архитектурными решениями [13]. Таким образом, вне зависимости от типа создаваемой системы отдать явное предпочтение определенной парадигме проектирования: «требования-архитектура-требования» или «архитектура-требования-архитектура» – бывает затруднительно. Подобная ситуация характерна не только для автомобилестроения или авиакосмической техники, но и для других отраслей, например, сферы телекоммуникаций, где рекомендованные решения относительно архитектуры часто содержатся в телекоммуникационных стандартах [17]. Причем, в тех случаях, когда в отрасли сложилось устоявшееся представление о типовой архитектуре целевой системы, оно начинает оказывать заметное влияние и на структуру предприятия и на структуру отрасли в целом, например, специализации поставщиков авиационных систем соответствуют элементам типовой архитектуры воздушных судов.

В авиастроении сложившиеся представления об архитектуре нашли отражение в таких стандартах как ATA 100 [2] и S1000D [14]. При этом попытка оптимизации архитектуры изделия без учета типовой архитектуры (с чистого листа) приводит к необходимости решения множества организационных и технических трудностей, как это было в проекте Boeing 787 Dreamliner [11].

Описанное положение хорошо иллюстрируется «моделью двух вершин» (Рис. 1), из которой следует что разработка требований и архитектуры – два параллельных, неразрывно связанных между собой процесса [12].

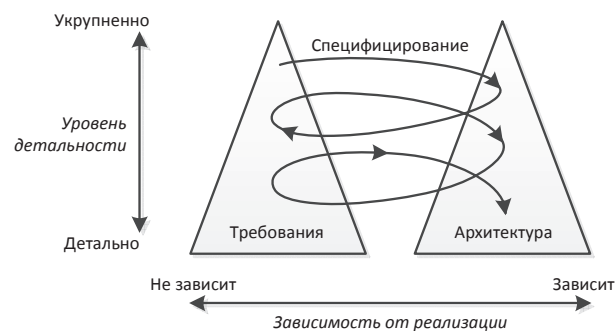


Рис. 1. Модель двух вершин [11]

Анализ практики западных компаний, занятых созданием сложной техники показал, что в настоящее время при моделировании процесса инженерии требований за основу всегда берется типовая, признанная в отрасли **иерархическая структура целевой системы** [4], которую принято называть схемой разукрупнения продукции (PBS, The Product Brakedown Structure), где за каждым уровнем иерархии закрепляется свое название. Например, в Airbus принято использовать четырехуровневую схему: самолет, система самолета, подсистема, агрегат [9]. Кроме того предполагается, что процесс инженерии требований применяется рекурсивно на каждом иерархическом уровне, а жесткие ограничения на сроки реализации программы заставляют широко использовать **параллельное проектирование** когда разработка ведется на всех уровнях декомпозиции изделия одновременно [1]. Отметим, что имеется отечественная практика использования уровней разукрупнения инженерных объектов с учетом функциональной и конструктивной сложности [18]. Однако эта практика увязывается главным образом с проблемами документирования и стандартизации, а не с решением задачи обеспечения гарантированной взаимосвязи и прослеживаемости в треугольнике «требования-архитектура-объекты конфигурации».

В качестве примера можно привести отечественное предприятие, разрабатывающее авиационную технику. Игнорирование типовой архитектуры в качестве основы для построения процесса инженерии требований привело к трудностям при организации прослеживания требований: требования к элементам структуры изделия второго уровня не были документированы, а обеспечить прослеживаемость требований между уровнем изделия (первый уровень) и уровнем подсистем (третий уровень) оказалось затруднительно ввиду чрезмерно большого количества связей. Отсутствие адаптации рекомендаций международных стандартов к особенностям отрасли, отсутствие гармонизации процессов инженерии требований с процессами управления конфигурациями (вариативность исполнения изделия) и использование для работы с требованиями распространенного программного продукта, привело к необходимости перестройки процесса инженерии требований и значительной доработки программных средств по работе с требованиями на поздних стадиях авиационной программы.

Таким образом, в основу модели процесса инженерии требований должно быть положено критически осознанное представление о взаимосвязи между процессами определения архитектуры и определения требований. В свою очередь, формирование адекватного представления об этой взаимосвязи невозможно без углубленного анализа сложившейся мировой практики и отраслевых стандартов, а также применения утвержденных в установленном порядке, обязательных для всех участников работ моделей иерархической структуры целевой системы.

#### **4 Функциональный анализ и привязка требований**

Еще одним важным аспектом моделирования процесса инженерии требований представляется определение процедуры функционального анализа и привязки

требований (functional analysis and allocation). Важным ограничением здесь является то, что русскоязычное нормативное и методическое обеспечение подобной процедуры практически отсутствует. Кроме того, обзор русскоязычных публикаций, а также результаты консультаций со специалистами показали, что практика подобной деятельности на отечественных промышленных предприятиях не сложилась и ее придется формировать по существу с нуля. Дополнительно осложняет ситуацию необходимость автоматизации указанных процедур при создании сложных систем, поскольку консультанты и поставщики программного обеспечения склонны к использованию типовых решений и их адаптации за счет заказчика, что повышает вероятность ошибок.

В основу функционального анализа и привязки требований может быть положено итеративное применение процедур синтеза, анализа и оценки, как мы предлагали в [15, 16]. В рамках синтеза происходит преобразование практических целей в описание функций, подлежащих выполнению, в процессе анализа выполняется функциональная декомпозиция с привязкой функций к подсистемам на основании описания функциональных взаимодействий и формирование на этой основе представления о конфигурации системы, наконец, оценка предполагает валидацию решений с использованием базовых процедур валидации требований, описанных в литературе, см., например, [13]. Одним из важнейших результатов функционального анализа является получение исходных данных для прослеживания функциональных требований. Прослеживаемость функциональных требований снизу-вверх дает, в частности, возможность получения объективных свидетельств того, что создаваемая система позволит удовлетворить нужды заинтересованных сторон. Прослеживаемость сверху-вниз помогает выделить объекты конфигурации, получить представление об их функционировании и заложить основы для налаживания процедуры управления конфигурацией.

На начальном этапе при формировании практической процедуры функционального анализа целесообразно взять в качестве прототипа зарубежные рекомендации, например, Обобщенный метод инженерии требований корпорации Airbus (Method for Common Airbus Requirements Engineering, CARE) [4]. Модели, описанные в подобных источниках, прошли апробацию в соответствующих отраслях, что снижает риски отечественных предприятий на первых этапах налаживания зрелого процесса инженерии требований.

Среди базовых принципов, реализованных в CARE, можно выделить:

- Использование типовой структуры деления изделия на части;
- Использование определенной иерархической структуры требований, включающей указание типов требований;
- Применение функционального анализа для обеспечения целостности и полноты требований;
- Документирование требований с использованием типовых спецификаций;
- Ориентация на работу с данными, а не с документами;
- Необходимость обеспечения прослеживаемости требований.

## 5 Заключение

При моделировании процесса инженерии требований его необходимо рассматривать в неразрывной связи с процессом описания архитектуры целевой системы и процессом управления конфигурацией, причем, в зависимости от особенностей конкретного проекта в качестве исходного может служить любой из названных процессов. Среди важнейших принципов моделирования следует выделить:

1. Адаптацию рекомендаций международных стандартов системной инженерии и инженерии требований к условиям отечественного предприятия с акцентом на состав и контекст использования типовых процессов, что предполагает перестройку традиционных инженерных и управленческих процессов на предприятии, т.е. даже хорошая модель процесса инженерии требований малоэффективна в отрыве от налаживания других ключевых процессов системной инженерии.
2. Использование при моделировании в качестве основы критически осознанного представления о взаимосвязи между процессами определения архитектуры и определения требований, в частности, при наличии общепризнанной, типовой архитектуры моделировать процесс инженерии требований следует в привязке к этой архитектуре с выделением обязательной иерархической структуры целевой системы.
3. Формирование на предприятии типовой процедуры функционального анализа и привязки требований, основанной на итеративном применении процедур синтеза, анализа и оценки с акцентом на обеспечении двусторонней прослеживаемости и использованием в качестве прототипа известных зарубежных отраслевых рекомендаций по определению функциональных требований.
4. Осторожность при выборе программных средств, реализующих функциональные возможности по работе с требованиями, т.е. сначала предприятие должно определить свои процессы работы с требованиями, а потом выбрать средства автоматизации.
5. Необходимость обязательной гармонизации между собой моделей процессов инженерии требований и управления конфигурацией.

## Литература

1. *Altfield, Hans-Henrich*. Commercial aircraft projects: managing the development of highly complex products. – Ashgate, 2010.
2. *ATA Specification 100 – Specification for Manufacturers' Technical Data*, Revision No. 37, Air Transport Association of America, 1999.
3. *Batra M.* A Comparative Study of Requirements Engineering Process Model // *Int. J. Adv. Res. Comput. Sci.* 2017. Т. 8. № 3. С. 740–745.
4. *Boulanger J.-L.* (Ed.) *Formal Methods Applied to Industrial Complex Systems*. – London: Wiley-ISTE. – 2014.

5. DOT/FAA/AR-08/32 Requirements Engineering Management Handbook 06/2009 URL: [https://www.faa.gov/aircraft/air\\_cert/design\\_approvals/air\\_software/media/AR-08-32.pdf](https://www.faa.gov/aircraft/air_cert/design_approvals/air_software/media/AR-08-32.pdf)
6. *FAA Systems Engineering Manual*. Version 1.1. September 2015. – URL: [https://sep.faa.gov/policy\\_and\\_guidance/main](https://sep.faa.gov/policy_and_guidance/main)
7. ISO/IEC/IEEE 15288:2015 "Systems and software engineering – System life cycle processes".
8. ISO/IEC/IEEE 29148:2011 Systems and software engineering. Life cycle processes. Requirements engineering. – URL: [http://www.iso.org/iso/ru/catalogue\\_detail.htm?csnumber=45171](http://www.iso.org/iso/ru/catalogue_detail.htm?csnumber=45171)
9. Lauzier C.-A., AIRBUS. Requirements management and MOD closure process study on the A330 WV80 project Master thesis report // 2014.
10. Lehto, Jari, M. Pentti, Decision-based requirement engineering process, *Proc. of the 6<sup>th</sup> International Conference on Product Focused Software Process Improvement*, Oulu, Finland, 2005.
11. Norris G., Wagner M. BOEING 787 DREAMLINER. , 2009. 160 с.
12. Nuseibeh B. Weaving Together Requirements and Architectures // *Computer* (Long Beach, Calif), 2001. Т. 34. № 3. С. 115–117.
13. *Pohl K. Requirements Engineering*. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010.
14. S1000D, "*International specification for technical publications using a common source database*". 2016. Issue 4.2. URL: <http://public.s1000d.org>.
15. Батоврин В.К. Современная системная инженерия и ее роль в управлении проектами (Часть 2)// *Управление проектами и программами*. 2015. № 4(44). С. 276-289.
16. Батоврин В.К., Гайдамака К.И. Инженерия требований – ключевой фактор успеха проектов // *Управление проектами и программами*. 2017. Т. 1. № 49. С. 6–20.
17. Халл Э. и др. *Инженерия требований*. – М.: ДМК Пресс, 2017.
18. ГОСТ Р 52003-2003 Уровни разукрупнения радиоэлектронных средств. Термины и определения. – М.: Стандартинформ. – 2003