

# Содержание

<b>Обращение к читателю .....</b>	<b>8</b>
<b>Предисловие редактора перевода.....</b>	<b>10</b>
<b>Предисловие к третьему изданию.....</b>	<b>14</b>
<b>Предисловие ко второму изданию .....</b>	<b>15</b>
<b>Предисловие к первому изданию.....</b>	<b>16</b>
<b>Благодарности .....</b>	<b>18</b>
<b>Глава 1. Введение .....</b>	<b>19</b>
1.1. Знакомство с требованиями .....	19
1.2. Введение в системную инженерию .....	22
1.3. Определение инженерии требований.....	24
1.4. Требования и качество .....	28
1.5. Требования и жизненный цикл .....	29
1.6. Прослеживание требований.....	32
1.7. Требования и моделирование.....	36
1.8. Требования и испытания .....	39
1.9. Требования в области проблем и в области решений.....	40
1.10. Как читать эту книгу.....	42
<b>Глава 2. Типовой процесс для инженерии требований .....</b>	<b>44</b>
2.1. Введение.....	44
2.2. Разработка систем.....	44
2.3. Контекст типового процесса.....	47
2.4. Типовой процесс разработки требований. Основные положения .....	50
2.5. Информационная модель типового процесса разработки требований .....	53
2.6. Элементы типового процесса разработки требований .....	58
2.7. Резюме .....	64
<b>Глава 3. Системное моделирование в инженерии требований .....</b>	<b>66</b>
3.1. Введение.....	66
3.2. Способы моделирования для инженерии требований .....	67
3.3. Методы .....	77
3.4. Резюме.....	94
<b>Глава 4. Написание и анализ требований .....</b>	<b>95</b>
4.1. Введение.....	95
4.2. Требования к требованиям .....	96
4.3. Структурирование документов, содержащих требования .....	96
4.4. Ключевые требования .....	98
4.5. Использование атрибутов.....	99
4.6. Обеспечение непротиворечивости требований .....	101
4.7. Важность требований .....	102
4.8. Язык требований .....	103
4.9. Шаблоны требований.....	104
4.10. Степень детализации требований .....	107

4.11. Критерии для написания текста требований .....	108
4.12. Резюме.....	110
<b>Глава 5. Инженерия требований в области проблем.....</b>	<b>111</b>
5.1. Что такое область проблем? .....	111
5.2. Пример типового процесса .....	112
5.3. Согласование требований с заказчиком.....	113
5.4. Анализ и моделирование .....	114
5.5. Производные требования.....	120
5.6. Резюме.....	132
<b>Глава 6. Инженерия требований в области решений.....</b>	<b>133</b>
6.1. Что такое область решений .....	133
6.2. Разработка требований при переходе от требований заинтересованных сторон к требованиям к системе .....	134
6.3. Инженерия требований при определении требований к подсистемам .....	151
6.4. Другие преобразования, использующие архитектуру системы .....	153
6.5. Резюме.....	154
<b>Глава 7. Прослеживаемость требований. Современное состояние .....</b>	<b>155</b>
7.1. Введение .....	155
7.2. Простая прослеживаемость .....	155
7.3. Доказательство выполнения требований .....	158
7.4. Привязка требований .....	161
7.5. Анализ прослеживаемости.....	162
7.6. Язык доказательств выполнения требования .....	162
7.7. Анализ расширенной прослеживаемости .....	163
7.8. Расширенная прослеживаемость для проверки соответствия .....	164
7.9. Реализация расширенной прослеживаемости .....	164
7.10. Проектная документация .....	165
7.11. Метрики прослеживаемости.....	170
7.12. Резюме .....	175
<b>Глава 8. Управленческие аспекты инженерии требований .....</b>	<b>177</b>
8.1. Введение в управление требованиями .....	177
8.2. Проблемы управления требованиями .....	178
8.3. Управление требованиями в организации-покупателе .....	180
8.4. Организации-поставщики .....	185
8.5. Организации-производители .....	192
8.6. Резюме.....	197
<b>Глава 9. DOORS: инструментальное средство для управления требованиями.....</b>	<b>199</b>
9.1. Введение.....	199
9.2. Роль управления требованиями .....	200
9.3. Архитектура DOORS .....	200
9.4. Проекты, модули и объекты .....	201
9.5. История и управление версиями.....	207
9.6. Атрибуты и представления.....	209
9.7. Прослеживаемость.....	209
9.8. Импорт и экспорт .....	212
9.9. Моделирование на языке UML с помощью DOORS/Analyst .....	214
9.10. Резюме.....	216
<b>Список литературы .....</b>	<b>217</b>
<b>Предметный указатель.....</b>	<b>220</b>

# Обращение к читателю

## *Уважаемые читатели!*

Книга Э. Халл, К. Джексона и Д. Дика является одним из наиболее известных зарубежных руководств по инженерии требований. Изданием этой работы Русский институт системной инженерии — RISE — продолжает публикацию в нашей стране современных зарубежных изданий по системной инженерии.

Сегодня в России инженерию требований можно охарактеризовать как один из наиболее востребованных инженерами-практиками разделов системной инженерии. Современным отечественным предприятиям сейчас остро необходимы специалисты, способные грамотно работать с требованиями на всех стадиях жизненного цикла (ЖЦ) инженерной продукции — от замысла до прекращения использования. Особую значимость подобная работа приобретает в случае кооперации с зарубежными поставщиками, которые при создании сложных инженерных объектов давно и планомерно используют современные практики и инструменты работы с требованиями. В частности, практики спецификации требований, обеспечения их полноты, непротиворечивости, реализуемости, прослеживаемости и других необходимых характеристик являются неотъемлемой частью деятельности любого зарубежного инженера, занятого разработкой, производством, испытаниями, модернизацией сложных инженерных объектов. Это позволяет существенно снизить риски превышения стоимости и несоблюдения графика инженерных проектов, а также повысить качество результатов работы. Следует особо отметить, что в центре внимания инженерии требований находятся в основном технические и социотехнические системы, такие как транспортные и энергетические системы, аэрокосмические системы, системы оборонного назначения, а не только ИТ-системы, как считают некоторые отечественные специалисты. При этом значимость инженерии требований в процессе создания сложных ИТ-систем также очень высока.

Отличительной особенностью настоящей книги является комплексный подход к инженерии требований, которая рассматривается в качестве неотъемлемой части системной инженерии, что позволяет обеспечить необходимую общность и фундаментальность описания и распространить содержащиеся в тексте рекомендации на практически любые инженерные системы. В книге в доступной и одновременно достаточно строгой форме обсуждаются все важнейшие аспекты деятельности по разработке, анализу, обеспечению характеристик требований и по управлению требованиями, рассмотрено большое количество полезных примеров.

Книга представит несомненный интерес для инженеров различных профилей и других специалистов, занимающихся созданием сложных технических, социотехнических и организационных систем, она также будет полезна студентам и аспирантам при изучении дисциплин, связанных с проблемами разработки и производства сложных инженерных объектов.

Надеюсь, что настоящее издание поможет специалистам улучшить работу с требованиями на отечественных предприятиях, а преподавателям вузов повысить качество подготовки инженеров, чему сейчас уделяется такое большое внимание. Также рассчитываю, что это издание, как и предыдущие книги по инженерной тематике, изданные в России при

поддержке Русского института системной инженерии, подтолкнет отечественных авторов к созданию собственных актуальных и практически значимых учебных и практических материалов по системной инженерии и инженерии требований.

Как отмечено выше, отечественные специалисты, создающие сложные инженерные объекты, проявляют все больший интерес к методам и инструментам инженерии требований. Благодаря огромной личной работе Щедровицкого П. Г., Ковалевича Д. А. и Бояркина С. А. в отечественной практике проявлена инициатива по переходу на стандарты системной инженерии и по практическому использованию рекомендаций INCOSE в рамках всей атомной отрасли. За впервые примененные на практике в ГК «Росатом» подходы по управлению техническими требованиями в проекте по модернизации ВВЭР ТОИ благодарим руководителей и участников проекта: Локшина А. М., Лимаренко В. И., Полушкина А. К., Асмолова В. Г., Топчияна Р. М., Кучумова А. Ю., Егорова С. В., Дунаева В. Г., Крошила А. Е., Берковича В. Я., Павлова Д. В., Грикурова А. В., Козлова А. А., Столярова О. Н. Также выражаем благодарность инженерам АО «ВНИИАЭС» (генеральный директор Тухветов Ф. Т.), принимавшим участие в разработке стандартов УЖЦ АЭС, и специалистам АО «РАСУ» (генеральный директор Бутко А. Б.), внедряющим передовые инженерные практики в конструирование Российских АСУТП.

Выражаю признательность всем коллегам, которые поддерживают работу Русского института системной инженерии по изданию книг и учебных пособий по инженерно-технической тематике. Надеюсь, что издание данной книги внесет полезный вклад в развитие отечественной инженерной культуры, поможет выявлению и развитию конкурентных преимуществ отечественной инженерной продукции, внесет вклад в формирование языка междисциплинарного общения управленцев и инженеров, а также будет способствовать упрочнению позиций российских атомных технологий на международном рынке.

**Г. В. Аркадов,**  
президент Русского института системной инженерии,  
заведующий кафедрой физико-технической информатики МФТИ, профессор

# Предисловие редактора перевода

Инженерия требований определяется в современных официальных международных стандартах как междисциплинарная деятельность, являющаяся связующим звеном между доменами приобретателя и поставщика и направленная на установление и поддержание требований, которым должны удовлетворять система, программное обеспечение или услуга, подлежащие рассмотрению<sup>1</sup>. Инженерия требований сосредоточена на задачах обнаружения, выявления, разработки, анализа, надежной верификации требований, а также на валидации, выражении, документировании требований и управлении требованиями и является одним из ключевых элементов системной инженерии. Проблематика инженерии требований и соответствующие практики затрагивают все стадии жизненного цикла систем и оказывают определяющее и комплексное влияние на результаты и качество разработки. В последнее время этот факт был осознан и отечественными разработчиками сложных технических систем, а не только представителями ИТ-отрасли. В этой связи Русский институт системной инженерии, продолжая издание лучших зарубежных руководств по системной инженерии, остановился на книге Э. Халл, К. Джексона и Д. Дика «Инженерия требований», которая является одной из наиболее известных и интересных зарубежных работ по инженерии требований.

Несмотря на то что третье издание указанной книги, перевод которого вы держите в руках, вышло около 5 лет назад, а также на наличие в сети перевода на русский язык второго издания этого руководства, оно не только не потеряло своей актуальности для отечественного читателя, но, наоборот, стало еще более значимым, чем раньше. Важнейшая причина состоит в том, что авторы настоящей книги сумели в сравнительно компактной и весьма доступной форме изложить как методические основы инженерии требований в ее увязке с системной инженерией, так и ключевые прикладные аспекты этой дисциплины. Причем авторам удалось описать суть типового процесса инженерии требований в его связи с типовым процессом системной инженерии настолько выпукло и доходчиво, как это, пожалуй, не удавалось никому из специалистов, пишущих на эту тему. Кроме того, очень удобным и полезным для практики является целенаправленное рассмотрение авторами двух аспектов инженерии требований, а именно: инженерии требований в области проблем и в области решений. Такой подход позволяет ассоциировать этапы разработки, которые связаны с самыми абстрактными верхними уровнями описания системы — описанием потребностей, моделированием практического использования и требованиями заинтересованных сторон с областью проблем, тогда как более низкие уровни, начиная с требований к системе в целом, отнести к области решений.

Весьма наглядно и содержательно авторы комментируют проблематику использования моделей в инженерии требований. Здесь приводятся полезные и понятные даже неподготовленному читателю примеры практической и согласованной реализации предмет-

---

<sup>1</sup> ISO/IEC/IEEE 29148:2011. Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла. Инженерия требований.

но- и функционально-ориентированного подходов при работе с требованиями. Причем в центре внимания оказываются не только привычные ИТ-системы, но и примеры из «классической» инженерной практики.

Отдельного внимания заслуживают главы, содержащие пояснения и комментарии к качеству требований как таковых. Для большинства отечественных инженеров, работающих в промышленности, сама по себе постановка вопроса о том, что к системе требований могут и должны быть предъявлены собственные, отдельные требования, является не типичной. Одна из причин состоит в том, что отечественная нормативная база подобную проблему не рассматривает. Здесь, по-видимому, будет полезным упомянуть о том, как этот вопрос трактуется в современных стандартах и руководствах, поскольку с позиции авторов данной книги читатель сможет познакомиться самостоятельно.

Согласно упомянутому выше международному стандарту ISO/IEC/IEEE 29148, каждое требование заинтересованных сторон, требование к системе в целом или к ее элементу должно обладать следующими характеристиками:

- ◇ *необходимость*, т. е. требование должно определять существенную способность, характеристику, ограничение и/или показатель качества. Если требование будет проигнорировано или устранено, то возникнут недостатки, которые не смогут быть полностью устранены за счет других возможностей системы, продукции или процесса;
- ◇ *независимость от реализации*, т. е. требование, определяя то, что необходимо и достаточно в системе, позволяет избежать ненужных ограничений на архитектурные решения. Цель должна достигаться вне зависимости от способа реализации. Требование содержит сведения о том, что требуется, а не о том, как оно может или должно быть выполнено;
- ◇ *недвузначность*, т. е. требование должно быть сформулировано таким образом, чтобы оно могло интерпретироваться только одним способом. Формулировка требования должна быть простой и легкой для понимания;
- ◇ *непротиворечивость*, т. е. требование не должно противоречить другим требованиям;
- ◇ *полнота*, т. е. формулировка должна быть такой, чтобы требование не нуждалось в дальнейшем уточнении или развитии, поскольку полное требование измеримо и в достаточной степени описывает возможности и характеристики, отвечающие потребностям ЗС;
- ◇ *единственность*, т. е. формулировка требования должна относиться только к одному уникальному требованию, которое ни с чем не увязывается;
- ◇ *реализуемость*, т. е. требование должно быть технически осуществимым без необходимости использования принципиально новых технологических достижений, т. е. требование с приемлемым риском может быть реализовано с учетом ограничений, накладываемых со стороны системы (стоимость, график работ, технические возможности, правовые и нормативные ограничения и т. п.);
- ◇ *прослеживаемость*, т. е. требование должно быть прослеживаемым снизу вверх к конкретной, документально зафиксированной потребности (потребностям) ЗС, к требованию более высокого уровня или к другому источнику (проектному решению, результатам исследования затрат и т. п.). Требование также должно быть прослеживаемым сверху вниз к конкретным требованиям, содержащимся в специ-

фикациях требований более низкого уровня или в других документах, описывающих систему. Таким образом, все относящиеся к требованию связи «порождающий/порожденный» определяются так, чтобы требование прослеживалось и к его источнику, и к реализации;

- ◇ *проверяемость*, т. е. требование должно позволять получение свидетельства того, что система удовлетворяет установленному требованию. Проверяемость улучшается, если требование измеримо.

Кроме того, согласно тому же стандарту, определенными характеристиками должен обладать и набор (совокупность) требований, среди этих характеристик:

- ◇ *полнота*, т. е. набор требований не нуждается в дальнейшем развитии, поскольку включает все имеющее отношение и необходимое для определения системы или ее элемента, подлежащего определению;
- ◇ *согласованность*, т. е. в составе набора должны отсутствовать индивидуальные требования, которые противоречат друг другу, а также дублируют друг друга;
- ◇ *приемлемость*, т. е. решение, удовлетворяющее набору требований, должно быть доступно/достижимо в пределах ограничений (стоимость, график работ, технические возможности, правовые и нормативные ограничения и т. п.), возникающих на протяжении ЖЦ;
- ◇ *разумная достаточность*, т. е. набор требований должен иметь отношение только к определенной стороне предполагаемого решения и не включать требований, выходящих за пределы того, что необходимо для удовлетворения потребностей пользователя.

В свою очередь, «Руководство к своду знаний по системной инженерии»<sup>1</sup> указывает на такие типичные ошибки инженерии требований, как недостаточный анализ требований заинтересованных сторон, недостаточный анализ сценариев и режимов использования системы, неполнота требований к системе, недостаточное внимание к верификации требований, отсутствие прослеживаемости требований. К сожалению, все указанные ошибки являются типичными для отечественных специалистов, занятых разработкой сложных инженерных объектов, поэтому данная книга, где эти вопросы подробно рассмотрены, может оказаться для них весьма полезной.

Множество рекомендаций в области инженерии требований, полезных для практикующего инженера и включающих проблематику требований к требованиям, содержат такие издания, как «Рекомендации по разработке и проектированию самолетов и систем для гражданской авиации»<sup>2</sup>, «Справочник по системной инженерии Национального аэрокосмического агентства США»<sup>3</sup>, «Руководство по системной инженерии Федерального управления гражданской авиации Министерства транспорта США»<sup>4</sup>, и ряд других про-

<sup>1</sup> Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK). Версия 1.6. URL: [http://sebokwiki.org/wiki/Guide\\_to\\_the\\_Systems\\_Engineering\\_Body\\_of\\_Knowledge\\_\(SEBoK\)](http://sebokwiki.org/wiki/Guide_to_the_Systems_Engineering_Body_of_Knowledge_(SEBoK)).

<sup>2</sup> SAE Standard ARP 4754A Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems. Revised: 2010-12-21. URL: <http://standards.sae.org/arp4754a/>.

<sup>3</sup> NASA/SP-2007-6105 Rev1 Systems Engineering Handbook. URL: <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20080008301.pdf>.

<sup>4</sup> 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).

фессиональных руководств. Содержащиеся в этих источниках конкретные положения в сочетании с методическими рекомендациями и примерами, представленными в настоящей книге, могут в руках творчески ориентированного инженера стать незаменимым подспорьем в процессе формирования конкурентоспособной инженерной среды на его предприятии.

Инженерия требований в ее сегодняшнем понимании, которое удалось полноценно и достаточно подробно отразить авторам, представляет собой комплексный процесс. Этот процесс включает как профессиональную инженерную составляющую (синтез, анализ, документирование, верификация и т. п. требований), так и развитую управленческую составляющую (управление требованиями со стороны разработчика, покупателя, продавца и т. п.). Такой подход стал сегодня общеупотребительным в зарубежной практике создания систем, но, к сожалению, не нашел отражения ни в отечественной литературе по разработке систем, ни в практике работы российских высокотехнологичных компаний. Кроме того, отечественная нормативная база по разработке сложных инженерных объектов содержит весьма расплывчатые рекомендации в части инженерии требований. Если в тактико-техническом задании, которое является исходным техническим документом, устанавливающим комплекс тактико-технических требований к создаваемому изделию, и может, в определенной степени, рассматриваться как документ, отражающий требования заинтересованных сторон, еще допустимо при описании требований предполагать их возможное несовершенство в части характеристик, определенных ISO/IEC/IEEE 29148 (прослеживаемость, единственность, непротиворечивость и т. д.), то применительно к техническому заданию, которое является документом, устанавливающим комплекс технических требований к создаваемому изделию в целом и к его составным частям, такое несовершенство требований недопустимо. Однако отечественная практика, сложившаяся еще в то время, когда все виды работ по созданию сложных инженерных объектов можно было полностью выполнить вручную, продолжает мириться с тем, что требования к требованиям не предъявляются, что в результате приводит к многократному увеличению рисков несоблюдения сроков и бюджета проектов. В этих условиях данная книга, содержащая комплекс понятных, методически выверенных, широко используемых в практике ведущих зарубежных компаний рекомендаций по постановке процесса инженерии требований в компании, может оказаться особенно актуальной.

Мне уже приходилось писать, что при создании сложных инженерных объектов всегда существует множество путей, которые, как кажется, могут привести к успеху, но выбор правильного пути — очень непростая задача. К этому можно добавить, что началом пути всегда является работа с требованиями. Таким образом, без качественной, современной, осознанной, поддержанной необходимыми программно-техническими средствами инженерии требований сегодня невозможно даже подумать об организации конкурентоспособной инженерной деятельности. Надеюсь, что эта книга поможет и практикующим инженерам, и тем, кто готовит себя к профессиональной инженерной работе в профессиональном развитии.

**В. К. Батоврин**

E-mail: [batovrin@mirea.ru](mailto:batovrin@mirea.ru)



# Предисловие к третьему изданию

Мы всегда стремимся к тому, чтобы материал в нашей книге соответствовал современным условиям, поэтому основной причиной создания новой редакции стала необходимость адаптации к самой последней версии DOORS. После выхода второго издания компания Telelogic, разработчик DOORS, была поглощена корпорацией IBM, и инструментальное средство DOORS стало частью программного продукта IBM/Rational. Основные функции DOORS не изменились, но пользовательский интерфейс был значительно усовершенствован. Поэтому глава 9 отредактирована для соответствия версии 9.2 DOORS.

В то же время ощущалась необходимость более точного определения инженерии требований. В литературе мы не обнаружили удовлетворительного определения, поэтому в главе 1 уделили особое внимание этому вопросу.

Кроме того, в главе 8 приведено подробное описание управленческих аспектов инженерии требований применительно к производству продукции. Небольшие разнообразные изменения внесены в текст всей книги.

Мы надеемся, что для читателей — студентов и инженеров — книга останется ценным источником знаний по данной теме.

Апрель 2010 г.

— Элизабет Халл  
Ken Jackson Jeremy Dick

# Предисловие ко второму изданию

Второе издание появилось достаточно быстро после первого, и это показывает, насколько быстро изменяется и развивается предмет, которому посвящена книга. За прошедшие два года в инженерии требований были достигнуты заметные успехи, и все они отражены в этом новом издании.

Существенно обновились те части, в которых в центре внимания находится процесс моделирования, здесь описывается более широкий набор методик системного моделирования. Представлен язык моделирования UML2, недавно ставший стандартом, одобренным группой OMG. Кроме того, подробным образом рассматривается связь между управлением требованиями и моделированием, которая тесно связана с концепцией расширенной прослеживаемости.

Глава с описанием инструментального средства для управления требованиями DOORS переработана с учётом использования версии 7 этой программы и дополнена примерами с использованием DOORS/Analyst, показывающими, как концепции моделирования могут быть определены и реализованы в DOORS.

Книга по-прежнему предназначена для студентов и специалистов-практиков в области системной инженерии, заинтересованных в повышении уровня знаний для применения инженерии требований при разработке систем.

Как и прежде, актуальные дополнительные материалы доступны на веб-сайте <http://www.requirementsengineering.info>.

Июнь 2004

— Элизабет Халл  
Ken Jackson Jeremy Dick

# Предисловие к первому изданию

Инженерия требований — это здравый смысл, но воспринимается она с трудом и не всегда правильно понимается. По этим причинам в большинстве случаев инженерия требований применяется неправильно. При постоянно растущем давлении организации часто начинают понимать, что главная проблема заключается в отсутствии упорядоченной и правильной методики использования инженерии требований, целью которой является надлежащее исполнение необходимой работы, поэтому задачей инженера по требованиям является определение наилучших способов, помогающих организации достичь своей цели.

Системная инженерия жизненно необходима в современной промышленности, а инженерия требований является важным этапом в общем процессе системной инженерии. Правильно организованный процесс — это ключевой момент в инженерии требований: он определяет, насколько эффективно и быстро можно производить продукцию. Это особенно важно в условиях глобальной рыночной конкуренции, где «время вывода на рынок» и соответствие требованиям заинтересованных сторон являются главными факторами успеха.

Кроме того, инженерия требований занимается проблемами управления, таким образом, вопросы, связанные с требованиями и управлением, рассматриваются совместно, чтобы показать, как требования могут использоваться в управлении разработкой систем.

В этой книге основное внимание сосредоточено на инженерии требований и на том, как помочь системным инженерам создавать требования более высокого качества. Представлен типовой процесс, который помогает читателю глубже понять сущность инженерии требований. Затем рассматривается создание конкретных экземпляров этого процесса применительно к разработкам как в области проблем, так и в области решений. Кроме того, в книге рассматривается концепция системного моделирования и описываются различные широко применяемые на практике способы и приемы, а также распространенные методы. Важной особенностью книги является представление методик прослеживаемости с определением и обсуждением метрик, которые могут быть выведены на основе прослеживаемости. В заключительной части книги представлен обзор DOORS — инструментального программного средства для управления требованиями. Здесь же используется учебный пример для наглядной демонстрации процесса, описываемого в книге, и возможностей данной программы.

Эту книгу должны прочитать те системные инженеры (инженеры по требованиям), которые работают в промышленности и, являясь практиками, заинтересованы в повышении уровня своих знаний в области инженерии требований и применении этой дисциплины при разработке систем. Книга также будет полезной для студентов последнего года обучения по специальностям «Информатика», «Программная инженерия» и «Системная инженерия», изучающих курс «Инженерия требований», а также аспирантов, специализирующихся в области информатики или в более общей области инженерии в целом.

Подход к изложению материала, принятый в книге, основан на текущих исследованиях в области инженерии требований, однако это не только академический подход, но и практическая методика, выстроенная на основе постоянно пополняющегося опыта работы в промышленности, цель которой — помочь системным инженерам более успешно управлять требованиями (и проектами). Книгу можно считать «мгновенным снимком» текущего состояния стремительно развивающейся области знаний, то есть того, что мы считаем наилучшим практическим опытом применения инженерии требований на сегодняшний день.

Актуальные материалы, дополняющие данную книгу, доступны на веб-сайте <http://www.requirementsengineering.info/>.

Май 2002

— Элизабет Халл  
Ken Jackson Jeremy Dick

# Благодарности

Спасибо всем людям и организациям, которые помогли создать эту книгу:

- ◇ Ричарду Стивенсу (Richard Stevens), который вдохновил нас своей работой в области управления требованиями и заложил основу для написания этой книги. Он был основателем компании Requirements Engineering Ltd. (в дальнейшем Quality Systems и Software Ltd.), которая разработала программу DOORS;
- ◇ Лесу Оливеру (Les Oliver) (в то время он работал в компании Astrium) за помощь в разработке диаграмм состояний для процессов согласования, проверки соответствия и выполнения требований;
- ◇ компании Praxis Critical Systems (ныне Altran Praxis) за первоначальную концепцию обоснования проектного решения, развившуюся в дальнейшем в концепцию *расширенной прослеживаемости*;
- ◇ Кейт Кольер (Keith Collyer), Джилл Бёрнет (Jill Burnett) и другим коллегам из Telelogic Ltd. за их вклад в развитие идей и концепций, представленных в данной книге, а также за критические обзоры, комментарии, предложения и за общую поддержку.

# Глава 1

## Введение

*«Когда человек не знает, к какой пристани он держит путь,  
для него ни один ветер не будет попутным»*

— Луций Анней Сенека,  
римский философ, IV г. до н. э. — 65 г. н. э.

### 1.1. Знакомство с требованиями

Если проектам по созданию систем требуется «попутный ветер», то это особенно актуально в наши дни. Быстро изменяющиеся технологии и ужесточающаяся конкуренция оказывают постоянно растущее негативное воздействие на процесс разработки. Эффективная инженерия требований является важной составной частью способности организации держать верный курс и не отставать от конкурентов в условиях неуклонного возрастания сложности.

В настоящее время программное обеспечение (ПО) является главной движущей силой, вызывающей изменения новой продукции. Эта тенденция обусловлена тремя ключевыми факторами:

- 1) *непредсказуемая сложность*. Сложность большинства комплексных систем обусловлена ПО, встроенным в элементы системы и являющимся неотъемлемой частью этих элементов. Сложность подобной продукции ограничивается только *воображением ее создателей*;
- 2) *моментальное распространение*. Современная компания может придумать новое решение, реализовать его посредством ПО и моментально распространить по всему миру. Например, компания, производящая автомобили, может усовершенствовать ПО своей диагностической системы, после чего передать его в электронном виде десяткам тысяч автосалонов буквально за день;
- 3) *коммерческие продукты, готовые к применению*. Сегодня при создании систем все чаще используются коммерческие продукты, готовые к применению (COTS-продукты<sup>1</sup>), что позволяет сократить цикл разработки продукции.

В конечном итоге под воздействием этих факторов быстро растут конкуренция и возможность монополизации преимуществ новой технологии без необходимости содержания и обслуживания крупных производственных комплексов. Такая ситуация заставляет сокращать цикл разработки и время на практическое внедрение технологии. Но сокращения

---

<sup>1</sup> COTS (Commercial Of The Shelf) — продукты, которые изготавливаются, продаются, арендуются или лицензируются для широкого потребления; предлагаются продавцом для получения прибыли; поддерживаются и развиваются продавцом, сохраняющим за собой права интеллектуальной собственности; доступны во множестве идентичных копий; могут быть непосредственно, без модификации использованы в проекте // Meyers B. G., Oberndorf P. Managing software acquisition: open systems and COTS products. Addison-Wesley, 2001.

времени вывода продукта на рынок недостаточно. Истинная цель — минимизация времени вывода на рынок «правильной» продукции, действительно необходимой рынку в текущий момент. Установление требований позволяет получить обобщённое наглядное представление о продукции, которая будет пользоваться спросом. Инженерия требований, являясь жизненно важной частью процесса системной инженерии, сосредоточена в первую очередь на определении предметной области и описании проблем, а также на их увязке со всей последующей информацией, касающейся разработки. Только таким способом можно контролировать и направлять проектную деятельность для получения необходимого решения без излишних затрат.

Требования — это основа любого проекта. Требования определяют, что хотят получить от создаваемой системы заинтересованные стороны — пользователи, заказчики, поставщики, разработчики, бизнесмены и/или коммерческие организации — и какими свойствами должна обладать система для удовлетворения их запросов. Поскольку требования должны быть ясны любой заинтересованной стороне, их следует формулировать на естественном языке, но в этом заключена определённая сложность: необходимо составить полное и недвусмысленное описание потребности или задачи, не прибегая к специальной терминологии или условиям. После обсуждения и принятия требования становятся базисом для управления всей проектной деятельностью. Следует учесть, что нужды и потребности заинтересованных сторон бывают многочисленными, различными по природе, а также противоречивыми. Эти нужды и потребности могут быть не вполне чётко определены в начале работы, могут быть ограничены плохо управляемыми факторами или находиться под влиянием интересов, которые, в свою очередь, подвержены изменениям во времени. Если требования в своей основе не будут относительно стабильны, то разработка будет продвигаться с большим трудом. Отчасти это похоже на решение пуститься в морское путешествие без определённой цели и без навигационной карты. Требования представляют собой и «навигационную карту», и средства, позволяющие достичь намеченной цели.

Согласованные и одобренные требования обеспечивают основу для планомерной и успешной деятельности по созданию системы и ее дальнейшего эффективного использования. Они имеют принципиальное значение при поиске разумных и обоснованных компромиссов и ещё более важны, когда возникает необходимость изменений, неизбежно происходящих в процессе разработки. Как можно оценить влияние какого-либо изменения без тщательно проработанной модели исходной системы? А в какое состояние возвратится эта система, если изменение необходимо будет отменить?

Как только определена проблема, подлежащая решению, и намечены способы достижения поставленной цели, следует оценить вероятность неудачи в процессе получения удовлетворительного решения. Немногие спонсоры или заинтересованные стороны готовы поддержать разработку продукции или системы в отсутствие конкретной стратегии управления рисками. Требования позволяют наладить управление рисками с первых моментов процесса разработки. Риски, связанные с отдельными требованиями, могут быть прослежены, влияние этих рисков оценено, а результаты реализации планов смягчения рисков и резервных планов осмыслены задолго до того, как возникает необходимость существенных затрат на опытно-конструкторские работы.

Таким образом, требования формируют основу для:

- ◇ планирования проекта;
- ◇ управления рисками;
- ◇ приёмочных испытаний;

- ◇ выбора взаимосогласованного, компромиссного решения;
- ◇ контроля изменений.

Причины неудачи проектов чаще всего лежат за пределами технической области. В табл. 1.1 приведены сведения о причинах неудачи ряда проектов. Данные получены по итогам опросов, проведённых международной организацией Standish Group в 1995—1996 гг. Причины неудачи проектов, обозначенные в табл. 1.1 звёздочкой, напрямую связаны с определением требований.

**Таблица 1.1.** Причины провала проектов

* Неполнота требований	13,1%
* Недостаточное вовлечение пользователей в процесс проектирования	12,4%
Недостаток ресурсов	10,6%
* Нереалистичные (завышенные) ожидания	9,9%
Недостаточная поддержка со стороны лиц, принимающих решения	9,3%
* Изменение требований/спецификаций в процессе разработки	8,7%
Недостатки планирования	8,1%
* Отпала необходимость в разрабатываемом продукте	7,5%

Источники: Standish Group 1995 & 1996; Scientific American. 1994. Sept.

Обозначенные проблемы можно разделить на три основные категории.

*Требования* — слабо структурированы, нечетко, двусмысленно определены, слабо увязаны с потребностями заинтересованных сторон, изменчивы, избыточны, нереалистичны и завышены.

*Проблемы управления ресурсами* — ошибки при определении необходимых финансовых ресурсов и недостаток поддержки или неспособность наладить необходимую дисциплину и качественное планирование — причиной многих проблем этой категории является слабое управление требованиями.

*Политики* — оказывают непосредственное воздействие на обе вышеназванные категории.

Все названные проблемы можно устранить с относительно невысокими затратами.

Факторы, определяющие успех проектов, не являются зеркальным отражением перечня причин, приводящих к неудаче проекта, но из табл. 1.2 видно, что поддержка управленческой деятельности и надлежащее планирование имеют принципиальное значение — по мере укрупнения и роста длительности проекта вероятность его неудачного завершения растет (источник: Scientific American. 1994. Sept.).

В этой книге рассмотрен инженерный подход к работе с требованиями в целом и к управлению требованиями в частности. Описаны различия между требованиями заинтересованных сторон и требованиями к системе, показано, как следует использовать требования для управления разработкой системы. Также показано, каким образом прослеживаемость требований от требований заинтересованных сторон к требованиям к системе и далее к требованиям к проектным решениям может быть использована для оценки развития проекта, управления изменениями и оценки рисков. Читатель узнает о тех свойствах требований, которые позволяют использовать их для валидации и верификации проектных решений, при этом особое внимание будет уделено необходимости выработки проектных решений, пригодных к интеграции и позволяющих легко наладить проверку соответствия.



**Таблица 1.2.** Факторы, определяющие успех проектов

* Привлечение пользователей к процессу проектирования	15,9%
Поддержка управленческой деятельности	13,9%
* Понятное описание требований	13,0%
Надлежащее планирование	9,6%
* Реалистичные ожидания	8,2%
Достаточная плотность (во времени) точек принятия решений	7,7%
Квалификация персонала	7,2%
* Право собственности (на разрабатываемый продукт)	5,3%

Источники: Standish Group 1995 & 1996; Scientific American. 1994. Sept.

Кроме того, важна взаимосвязь между управлением требованиями и управлением проектами, что нашло отражение в появлении в книге главы 8 «Управленческие аспекты инженерии требований».

## 1.2. Введение в системную инженерию

Эта книга — не только о требованиях к программному обеспечению. Принципы и практика инженерии требований применимы и к комплексным системам, где ПО может играть небольшую роль.

Рассмотрим железнодорожную систему, например West Coast Mainline между Лондоном и Глазго. Требование высокого уровня к этой системе может быть сформулировано следующим образом: поездка с вокзала Euston Station в Лондоне до города Глазго в Шотландии не должна занимать более 250 минут. Выполнение этого единственного требования является результатом согласованного взаимодействия всех основных компонентов рассматриваемой системы:

- ◇ поездов и их скоростей;
- ◇ рельсовых путей и их способности поддерживать движение высокоскоростных поездов;
- ◇ промежуточных станций и обслуживающего персонала этих станций, а также затрат времени на обслуживание поездов;
- ◇ машинистов и их способности управлять поездами;
- ◇ подсистем сигнализации;
- ◇ подсистем управления поездами и контроля их движения;
- ◇ подсистем энергоснабжения.

Поскольку ПО подсистем сигнализации и управления играет важную роль при выполнении главного требования, невозможно их рассматривать по отдельности. Полное решение подразумевает общее решение для системы в целом. Фактически большинство требований выполняется благодаря свойствам, которые характерны для системы в целом.

Так какой смысл вкладывается в понятие «система»?

*Система* – упорядоченная совокупность взаимодействующих элементов – аппаратных, программных, а также людей, объединенных между собой достижения желаемого результата, то есть для выполнения определённых требований.

Таким образом, люди могут входить в состав системы. В компании West Coast Mainline машинисты и обслуживающий персонал станций — приобретенные ими в результате обучения знания и навыки — не менее важны, чем программные и аппаратные компоненты.

Поскольку компоненты системы непременно должны взаимодействовать, интерфейсы между ними находятся в центре внимания в системной инженерии (и в инженерии требований), а именно: интерфейсы человек—машина, машина—машина, ПО—машина, ПО—человек, а также ПО—ПО. Применительно к железнодорожной системе в качестве примера интерфейса машина—машина можно привести интерфейс «колёса поезда — рельсовый путь». Кроме физического взаимодействия (которое рассчитано таким образом, чтобы обеспечить направленное движение поезда точно по рельсовому пути без возможности случайного схода) здесь имеют место и другие виды взаимодействия, например, электрический ток, текущий по рельсам, может использоваться для определения присутствия поезда на участке пути, то есть в подсистеме управления поездом.

В основе концепции системы лежит идея эмерджентных свойств. Это означает, что возможности и свойства системы не сводятся к совокупности свойств ее отдельных элементов, но возникают благодаря взаимодействию между этими элементами и зависят также от того, каким образом это взаимодействие организовано. Эмерджентные свойства могут быть желательными, и в этом случае они прогнозируются и воплощаются при создании системы, в результате чего она становится пригодной для использования по назначению. С другой стороны, эмерджентные свойства могут быть нежелательными, то есть могут приводить к непредвиденным побочным эффектам, таким как, например, нанесение ущерба окружающей среде.

Одна из характерных особенностей системной инженерии заключается в том, что она помогает закрепить желательные эмерджентные свойства и избежать возникновения нежелательных.

Другая важная концепция — это «система систем» (system of systems). Каждая система может рассматриваться как часть более крупной, объемлющей системы. Например, железная дорога West Coast Mainline является частью железнодорожной сети страны и частично пересекается с другими главными и второстепенными железнодорожными маршрутами. Вся железнодорожная система в целом представляет собой часть более крупной транспортной системы и взаимодействует различными способами с сетями автомобильных дорог и авиалиний. Сама транспортная система предоставляет важнейшую инфраструктуру для перемещения людей и товаров как одну из отраслей экономики страны. Страна является частью мирового сообщества и т. д.

Для правильного понимания требований к системе необходимо понять, какова объемлющая система. Зачастую правильное функционирование системы зависит от условий, определяемых со стороны объемлющей системы. Например, возможность полёта на вертолёте зависит от состояния окружающей среды, включая почву, гравитационное поле и атмосферу.

Рассмотрим более простой пример: обычная чашка (рис. 1.1). Очевидно, что её элементами являются: ручка и ёмкость для жидкости. Для каких целей предназначены эти элементы? Ёмкость удерживает жидкость, а ручка позволяет удерживать чашку, не обжигаясь, если жидкость слишком горячая. Кто-то может сделать вывод, что назначение чашки или требование к чашке состоит в том, чтобы позволить человеку перемещать горячую жидкость к себе в рот, не проливая её и не обжигаясь.



**Рис. 1.1.** Чашка как простейшая система

Эта простая на вид чашка имеет множество интерфейсов. Её можно устойчиво разместить на ровной поверхности, её можно держать в руке, её можно наполнить жидкостью и опорожнить. Обязательным является интерфейс с жидкостью для её удержания в ёмкости, а также обязательной является операция доставки жидкости в рот человека.

Но здесь имеют место и другие соображения:

- ◇ сама по себе чашка не приносит пользы. Возможность достижения цели зависит от движения человеческой руки;
- ◇ полезность ёмкости чашки полностью определяется наличием гравитации, необходимой для удержания жидкости внутри. Кроме того, чашка требует правильного обращения: если перевернуть чашку вверх дном, то жидкость выльется, при этом можно сильно обжечься.

Таким образом, можно сделать обобщающее заключение о том, что эта простая чашка может быть использована по назначению, если соблюдены следующие условия:

- ◇ наличие свойств, возникающих в результате взаимодействия с элементами чашки;
- ◇ наличие надлежащих интерфейсов с внешними элементами;
- ◇ правильное включение чашки во внешнюю объёмлющую систему — чашку должна держать и подносить ко рту человеческая рука;
- ◇ наличие соответствующей окружающей среды — в условиях невесомости потребуются другое решение.

Подводя итоги, следует отметить, что инженерия требований должна принимать во внимание природу создаваемых систем. Кроме того, в центре внимания должны находиться эмерджентные свойства, ограничения и возможности, определяемые внешней средой, а также интерфейсы с окружающими системами.

## 1.3. Определение инженерии требований

Требования неразрывно связаны с другими аспектами системной инженерии и управления проектами, поэтому, указать подходящие границы для определения инженерии требований достаточно трудно.

### 1.3.1. Понятие «требование»

Сразу же возникает вопрос о смысле самого термина «требование». Ниже приводится общее определение, взятое из стандарта IEEE-STD-1220-1998 (IEEE 1998):

*Требование (Requirement)* – недвусмысленное, поддающееся проверке или измерению утверждение, определяющее показатель назначения, функциональную или расчётную характеристику или ограничивающее условие и необходимое для признания пригодности продукции или процесса (потребителями или внутренней службой контроля качества).

Это определение обращает внимание на несколько сторон требования, которые кратко охарактеризованы ниже, а в дальнейшем будут рассмотрены более подробно.

- ◇ *Утверждение.* Тот факт, что требование должно быть утверждением, возможно, вызывает ассоциацию с текстовым документом, но требования могут быть выражены в табличной форме, как, например, в языке программирования Тома Гилба (Tom Gilb) Planguage (Gilb 2005), в форме диаграмм, например, в таких нотациях, как UML (OMG 2003), в формальных нотациях, подобных Z (Spivey 1989), VDM (Jones 1986), LOTOS (Bjorner 1987) и B-Method (Abrial 1996), или с помощью предметно-ориентированных нотаций, например (Chaochen Z., Hoare C. A. R., Ravn A. P., 1991). В любом случае, главная задача заключается в получении набора прослеживаемых, управляемых элементов, определяемых как требования.
- ◇ *Продукция или процесс.* Полноценные решения содержат разнообразные комбинации продукции (вещей, созданных для выполнения требований) и процесса (процедур для использования созданных вещей). Следовательно, требования могут определять как процесс, так и продукцию. Кроме того, могут существовать требования, оговаривающие в качестве особого условия, как именно должна разрабатываться продукция, обычно такое условие необходимо для обеспечения контроля качества.
- ◇ *Показатель назначения, функциональная или расчётная характеристика или ограничивающее условие.* Существует множество разнообразных типов требований, порождающих различные типы языков, методы анализа и моделирования, процессы и решения. Следует отметить, что это определение тщательно избегает термина «нефункциональный» (non-functional), поскольку неизбежно возникают дискуссии о действительном смысле данного термина. Расчётные характеристики включают производительность, удобство использования, безопасность, удобство обслуживания и ремонтпригодность, а также множество других свойств.
- ◇ *Недвусмысленное утверждение.* Описание требования выражает желательные качества, которые в дальнейшем следует описать детально. Если говорить кратко, формулировка требования должна быть ясной, однозначно понимаемой, единой для всех вовлечённых сторон.
- ◇ *Пригодность для проверки или измерения.* Требования используются для подтверждения приемлемости проектного или другого решения. Чтобы это стало возможным, требования должны быть представлены в количественной форме, обеспечивая возможность «измерения» решения, то есть получения количественной оценки его соответствия требованиям.
- ◇ *Необходимое для признания пригодности продукции или процесса.* Этот аспект подчёркивает многозначность роли, которую играют требования: они служат для определения того, что должно быть спроектировано и разработано, а также опре-

деляют, каким образом полученное решение должно быть проверено и признано годным. Требования оказывают влияние как на ранние этапы процесса разработки, так и на более поздние этапы, например приёмо-сдаточные испытания.

◇ *Потребителями или внутренней службой контроля качества.* Существует множество источников возникновения требований. Среди них — потребители, контрольные органы, пользователи, внутренние службы контроля качества, но список источников не ограничивается лишь теми, что перечислены выше.

Синонимами термина «требования» (requirements) можно считать следующие понятия: намерения, замыслы (aims), стремления (aspirations), способности, возможности (capabilities), критерии (criteria), ограничения (constraints), директивы (directives), доктрины (doctrines), обязанности (duties), ожидания, предположения (expectations), особенности (feature), функции (functions), цели (goals), назначение (mission), потребности (needs), обязательства (obligations), целевые установки, задачи (objectives), инструкции (orders), нормы, предписания (regulations), правила (rules) и т. д.

### 1.3.2. Понятие «заинтересованная сторона»

Понятие «заинтересованная сторона» используется уже достаточно давно, ещё до того, как было дано его определение.

*Заинтересованная сторона (Stakeholder)* – физическое лицо, группа лиц, организация или иная структура, имеющая прямые или косвенные интересы (или права) относительно системы (или её свойств).

Заинтересованность сторон в некоторой системе может возникать, например, по следующим причинам: *необходимость использования системы, извлечение выгоды* от применения системы (получение доходов, прибылей или какой-либо другой пользы), *вероятность оказаться в невыгодном положении* вследствие использования системы (например, угроза возникновения нежелательных издержек и затрат или потенциальная опасность нанесения ущерба), *ответственность* за работу системы или, наоборот, *зависимость* от работы системы.

Заинтересованные стороны являются законным и разумным источником требований.

### 1.3.3. Понятие «инженерия требований»

Зачастую термин «инженерия требований» ошибочно полагают равнозначным термину «анализ требований» (requirements analysis), имеющему более узкий смысл, так как анализ требований — это всего лишь один из видов деятельности в рамках более широкой дисциплины. Акцент на инженерной стороне дела необходим по двум основным причинам:

1. Работа с требованиями является весьма важным компонентом любой инженерной деятельности. В действительности инженерия требований — это неотъемлемая часть системной инженерии в целом, а не только программной инженерии.
2. Инженерия требований подразумевает широкий спектр различных действий, относящихся к требованиям, таких как анализ требований или, например, управление требованиями (requirements management) и разработка требований (requirements development), используемых в модели CMMI® (CarnegieMellon 2006).

Ниже приведено более общее определение, оно одно из самых давних и устойчивых и взято из документа министерства обороны США, выпущенного в 1991 г. и определяющего стратегию разработки ПО:

Инженерия требований «включает все действия, выполняемые на протяжении жизненного цикла, направленные на идентификацию требований пользователя, на анализ этих требований с целью формирования дополнительных требований, на документирование всех требований в форме спецификаций, на валидацию документированных требований на соответствие потребностям пользователей, а также процессы, поддерживающие эти действия» (DoD 1991).

Хотя это определение включает идентификацию, анализ, разработку и валидацию требований, в нём отсутствует упоминание о важнейшей роли, которую играют требования в процессе приёмки и подтверждения соответствия готового решения (эта деятельность обычно называется верификацией, а не валидацией). Более позднее определение, данное с точки зрения программной инженерии, имеет тот же недостаток, но в нём особо подчёркнуто, что в центре внимания инженерии требований находится достижение конечной цели (или решение поставленной задачи), и обращено внимание на важность правильного понимания и документирования взаимосвязей между требованиями и другими компонентами деятельности по созданию систем:

*Инженерия требований* — это раздел программной инженерии, занятый реальными целями программных систем, их функциями и накладываемыми на них ограничениями. Инженерия требований также сосредоточена на взаимосвязи между этими факторами в интересах точного определения поведения программных систем, их развития во времени, а также в составе семейства программных изделий (Zave 1997).

В данной книге будет использоваться следующее определение:

*Инженерия требований (Requirements engineering)* – подраздел системной инженерии, занятый выявлением, разработкой, прослеживанием, анализом, проверкой соответствия, установлением взаимосвязей и управлением требованиями, которые определяют систему на последовательных уровнях абстракции.

В этом определении точно перечислены все ключевые действия, относящиеся к инженерии требований. Некоторые из этих действий тесно связаны с требованиями, которые считаются элементами других дисциплин. Например, проверка соответствия и верификация системы: несмотря на то что требования должны обладать качествами, необходимыми для обеспечения верификации решения, сама по себе верификация является отдельной дисциплиной. Это также касается концепции требований, существующих на различных уровнях абстракции.

К приведённому выше определению необходимо сделать несколько замечаний:

- ◇ *Выявление требований.* Это понятие охватывает и другие часто используемые аналогичные термины, такие как установление требований, извлечение требований и сбор требований.
- ◇ *Прослеживание требований.* Прослеживание требований к любому элементу, включая требования на различных уровнях материализации, предоставляет возможность валидации требований на соответствие практическим нуждам формирования логического обоснования проектных решений и верификации проектных решений на соответствие требованиям.
- ◇ *Проверка соответствия.* Сюда относятся все типы деятельности по проверке соответствия проектных и конструкторских решений, включая модульное тести-

рование, испытание компонентов, комплексные испытания, испытания системы в целом и приёмочные испытания. Между терминами «верификация» (verification) и «валидация» (validation) существует значительное смысловое различие. Более предпочтителен термин «проверка соответствия» (qualifying), так как он связан с получением свидетельств того, что решение обладает необходимыми качествами. Поскольку все перечисленные термины используются в данной книге, следует отметить, что валидация требований (validate requirements) означает получение свидетельств того, что формально описанные требования соответствуют неформально выраженным потребностям заинтересованных сторон, а верификация требований (verify requirements) означает проверку их внутренней согласованности и целостности в рамках определённых уровней и между различными уровнями абстракции.

- ◇ *Установление взаимосвязей.* Требования — это средства установления информационных взаимосвязей, с помощью которых потребители, поставщики, разработчики, пользователи и руководители могут прийти к общему мнению о том, чего именно они должны достичь.
- ◇ *Уровни абстракции.* Имеется в виду принятый порядок упорядочения требований с использованием набора уровней и прослеживание связей «удовлетворяет/удовлетворяется» между этими уровнями. Требования самого высокого уровня определяют систему в терминах проблем, которые следует решить, причём это решение должно удовлетворять заинтересованные стороны и давать возможность валидации решения на соответствие их действительным потребностям. Требования на более низких уровнях определяют систему в целом или части системы в терминах осуществимого решения, которое может быть верифицировано на соответствие требованиям, предъявляемым со стороны более высокого иерархического уровня. Требования, формируемые на каждом последующем иерархическом уровне, предоставляют чётко определённые возможности для проверки решения на соответствие. Некоторые специалисты, для того чтобы отобразить связь между требованиями, порождаемыми на различных уровнях, описывают её в виде иерархии требований, но в действительности схема взаимосвязей имеет форму графа типа «многие ко многим» или гетерархии (heterarchy).

## 1.4. Требования и качество

Отсутствие требований приводит ко множеству разнообразных последствий. Существует большое количество примеров неудачных систем, где неудача вызвана неправильной организацией требований к системе. На первый взгляд, система может казаться вполне работоспособной, но если это не та система, которая действительно нужна пользователям, то она окажется абсолютно бесполезной (пользователи просто не будут ей пользоваться).

Немалый интерес представляет взаимосвязь между требованиями и качеством. Термин «качество» (quality) может иметь различные смысловые значения. При обсуждении качества автомобиля кто-то вспоминает Ролс-Ройс, Мерседес или Ягуар. Извечная путаница понятий «качество» и «роскошь» сразу становится очевидной, если уточнить, что наилучшую машину нужно выбрать для ежегодного британского ралли RAC (Royal Automobile Club). В этом случае не будут выбраны ни Ролс-Ройс, ни Мерседес, ни Ягуар, поскольку ни одна из этих машин не обладает требуемыми характеристиками: надлежащим отношением масса/мощность двигателя, дорожным просветом и эксплуатационной

надёжностью. В недавнем прошлом выяснилось, что в этом классе автомобилей наилучшее качество демонстрирует Шкода — машина не для роскоши, а для работы.

Таким образом, качество — это соответствие цели или соответствие требованиям, то есть предоставление таких свойств и характеристик, которые удовлетворяют потребителя и в этом плане гарантируют, что нужды и потребности всех заинтересованных сторон приняты во внимание.

Как показано в главе 8, инженерия требований является дополнением к другим инструментам управления, таким как смета и календарный график, позволяющим сосредоточиться на обеспечении качества. Каждое управленческое решение представляет собой компромисс между стоимостью, сроками и качеством — тремя взаимосвязанными осями, образующими пространство развития проекта.

Так как инженерия требований является инструментом, применяемым с самого начала жизненного цикла разработки, его влияние на качество через надлежащее управление требованиями возрастает пропорционально. Относительно небольшие трудозатраты на ранних этапах разработки могут обеспечить неплохие дивиденды на более поздних этапах. В изречении «Качество бесплатно» (название книги Фила Кросби (Phil Crosby)) есть доля правды в отношении того, что начальный этап можно организовать так, чтобы на более поздних этапах избежать огромных трудозатрат на приведение дел в порядок. Улучшение требований означает улучшение качества конечного продукта.

## 1.5. Требования и жизненный цикл

Одна из наиболее часто допускаемых ошибок состоит в том, что инженерии требований считают обособленным этапом, который осуществляется и завершается на начальной стадии разработки продукции. Цель данного раздела — показать, что инженерия требований играет жизненно важную роль на всех стадиях разработки.

Для начала рассмотрим одно из действий, завершающих процесс разработки: приёмочные испытания. Что является критерием приёмки системы? Требования заинтересованных сторон. Таким образом, совершенно очевидно, что требования, разработанные на начальных этапах, продолжают использоваться и на завершающих этапах разработки.

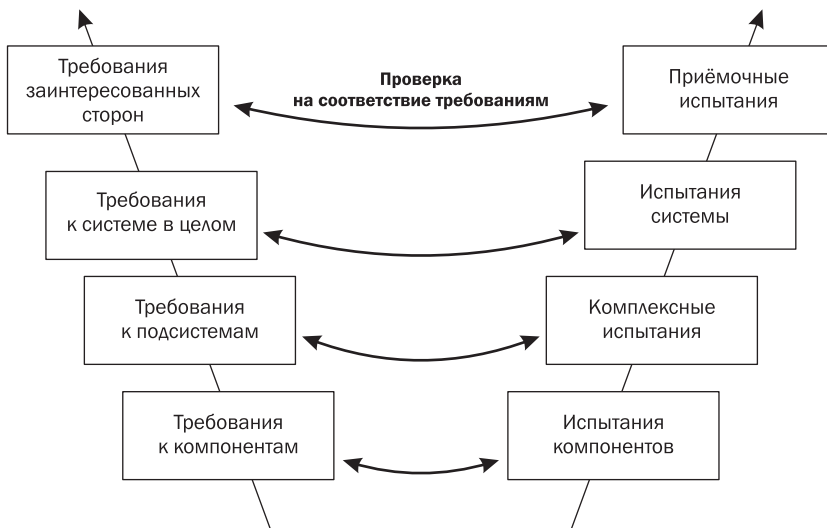
В основе классической V-модели (V-Model), применяемой для наглядного описания различных стадий и этапов создания технических систем, лежит представление о взаимосвязи между проверкой соответствия и требованиями. На рис. 1.2 эта взаимосвязь показана в привязке к каждому этапу разработки.

Кроме того, V-модель позволяет получить представление об уровнях разработки, где каждый уровень в точности соответствует определённому этапу разработки. Несмотря на то что процессы на каждом уровне могут немного отличаться от рассмотренных ранее, основная схема использования требований остаётся неизменной — это положение будет подтверждено при описании основных особенностей типового процесса в главе 2. На рис. 1.3 показано, на чём сосредоточена инженерия требований на каждом из уровней разработки.

Ещё одна роль, которую требования могут играть в организации, заключается в использовании требований в качестве средства обмена информацией между проектами. Это удачная идея, потому что организации, как правило, стремятся:

- ◇ максимизировать степень повторного использования имеющихся решений в различных проектах;





**Рис. 1.2.** Требования в V-модели



**Рис. 1.3.** Уровни инженерии требований

- ◇ организовать управление группами продуктов, обладающих схожими характеристиками и свойствами;
- ◇ использовать программное управление для координации деятельности;
- ◇ оптимизировать процессы путем использования опыта, полученного при выполнении других проектов.

Правильно составленный список требований заинтересованных сторон позволяет сформулировать краткое описание того, что нужно разработать не на строгом языке инженера, а в виде, удобном для руководителей проекта. Аналогичным образом требования

к системе в целом дают возможность сформировать исчерпывающее краткое описание технических результатов опытно-конструкторской разработки. Эти требования могут использоваться также в качестве основы при оценке результатов других видов деятельности, как это показано на рис. 1.4.



**Рис. 1.4.** Инженерия требований в масштабе предприятия

Если требования играют столь важную роль в разработке систем, то необходимо обеспечить их сопровождение. Изменение проектного решения без соответствующей корректировки требований, отражающей вносимое изменение, приводит к накоплению крупных проблем, которые непременно проявятся на последующих этапах разработки. Следовательно, инженерия требований теснейшим образом связана с управлением изменениями.

Вне зависимости от того, связана ли необходимость в изменениях с самим проектом — например, технические коррективы, обусловленные детализацией проектных решений, — или внешними причинами — например, с изменением потребностей заинтересованной стороны, — влияние каждого изменения на качество, смету и календарный план обязательно следует оценить. Результаты подобной оценки служат основой для:

- ◇ одобрения или отклонения изменений (если есть возможность выбора);
- ◇ согласования с заказчиками/поставщиками затрат, обусловленных изменениями;
- ◇ организации работ по модернизации или реконструкции.

Ключевой концепцией, лежащей в основе подобного анализа влияния, является прослеживаемость требований. Прослеживаемость требований представляет собой ключевую концепцию инженерии требований, эта тема детально рассматривается в разделе 1.6 текущей главы, а также в главах 2 и 7. Здесь достаточно отметить, что управление изменениями является неотъемлемой частью процесса инженерии требований, это положение иллюстрируется на рис. 1.5.

Вне зависимости от управления изменениями возможности руководителя по контролю проекта заметно улучшаются при наличии хорошей инженерии требований. При отсут-

ствии требований руководители проекта лишаются средств для объективной оценки прогресса в развитии проекта, более того, они лишены возможности увидеть, движется ли работа в верном направлении, а при возникновении необходимости в изменениях у руководителей нет возможности оценить их последствия. Более того, при наступлении момента, когда руководители обязаны вмешаться, в их распоряжении остается только подход, применяемый на техническом уровне, который не соответствует их роли и который вступает в противоречие с технической ролью, обычно исполняемой инженерами. Требования, правильно сформулированные на соответствующем уровне, позволяют руководителям получить совершенно верное представление о проекте, не выходя при этом за рамки собственной роли.



**Рис. 1.5.** Роль прослеживаемости требований в управлении изменениями

Подводя итог, следует отметить, что требования крайне важны для успеха работ по созданию любой системы. Требования влияют на процесс создания системы в целом от начала до конца, от верхнего уровня до нижнего. Без эффективной инженерии требований опытно-конструкторские работы уподобляются кораблям без руля, которые неведомо куда несёт буря. Важнее всего перейти к правильному управлению требованиями, услышать голоса пользователей и потребителей, прекратить играть в испорченный телефон и организовать постоянные каналы обмена информацией в процессе разработки.

## 1.6. Прослеживание требований

В контексте инженерии требований прослеживание (tracing) означает понимание того, как требования высокого уровня — целевые установки, задачи, цели, намерения, замыслы, стремления, ожидания, предположения, потребности — преобразовываются в требования более низкого уровня. Следовательно, главное внимание необходимо уделять

взаимосвязям между уровнями информации.

С точки зрения бизнеса в центре внимания могут оказаться следующие вопросы:

- ◇ как *интерпретируется* деловое представление;
- ◇ как *достигаются* деловые цели;
- ◇ как организованы бизнес и процессы.

С инженерной точки зрения наиболее важными представляются следующие вопросы:

- ◇ как *удовлетворяются* требования заинтересованных сторон;
- ◇ как *структурируются* требования к системе;
- ◇ как *реализуются* подсистемы;
- ◇ какие компоненты будут использоваться.

Прослеживание требований может дать ряд выгод и преимуществ:

- ◇ *рост уверенности в соответствии заданным целям*. Установление и формализация взаимосвязей дают возможность лучше осмыслить способы достижения установленных целей;
- ◇ *возможность оценки влияния изменений*. Если требования прослеживаются, то становятся возможными различные способы анализа влияния;
- ◇ *улучшение подотчетности со стороны подчинённых организаций*. Растет ясность в понимании того, каким образом поставщики вносят вклад в достижение общих целей;
- ◇ *возможность контролировать ход выполнения работ*. Всем известны трудности, возникающие при попытках количественно оценить прогресс, когда вся деятельность заключается в создании и переработке документов. Прослеживание процессов в их окружении позволяет получить объективную оценку развития работ, особенно на начальных стадиях;
- ◇ *возможность сохранять баланс между затратами и достигнутым эффектом*. Сопоставление компонентов продукции с установленными требованиями позволяет оценить соотношение между достигнутым эффектом и понесенными затратами.

Отношения прослеживаемости обычно выступают в форме «многие ко многим», то есть одно требование низкого уровня может быть связано с несколькими требованиями более высокого уровня, и наоборот. Простейший способ реализации прослеживания — установить связи между формулировкой требований на одном уровне с формулировками на другом уровне. Инструментальные средства инженерии требований обычно поддерживают такую операцию установки связи способом «перетаскивания» (drag-and-drop) между пунктами документов. Такие связи в некоторой степени похожи на гиперссылки на веб-страницах, но в идеале должны обеспечивать перемещение в обоих направлениях. На рис. 1.6 показано прослеживание по вертикали по уровням требований и по горизонтали между требованиями и информацией, полученной в результате испытаний.

Направление стрелок определяется следующим правилом: стрелка всегда указывает на источник информации. Это правило принято по ряду причин:

- ◇ учет хронологии возникновения информации: связь всегда указывает на более старую информацию;

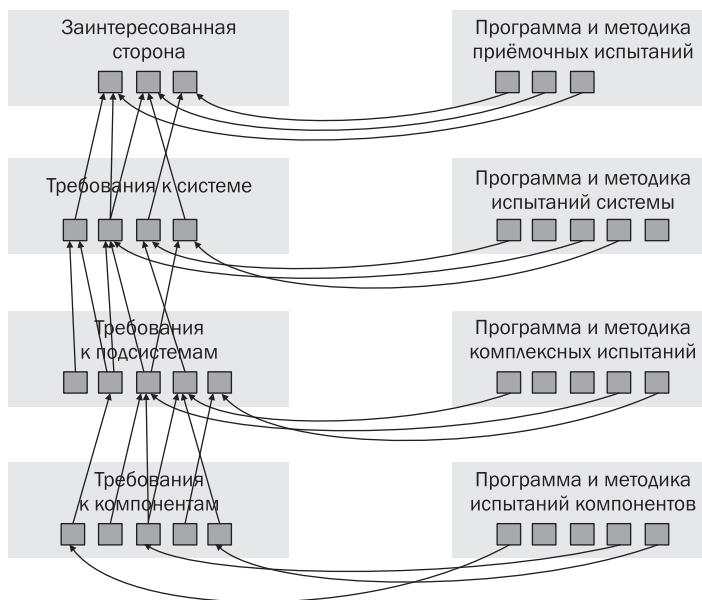


Рис. 1.6. Прослеживание требований

◇ учет прав доступа, обусловленных тем, что одна сторона обычно является владельцем связей, исходящих из документа, а другая сторона является владельцем только входящих связей.

Различные формы анализа прослеживаемости, которые могут использоваться для поддержки процессов инженерии требований, представлены в табл. 1.3.

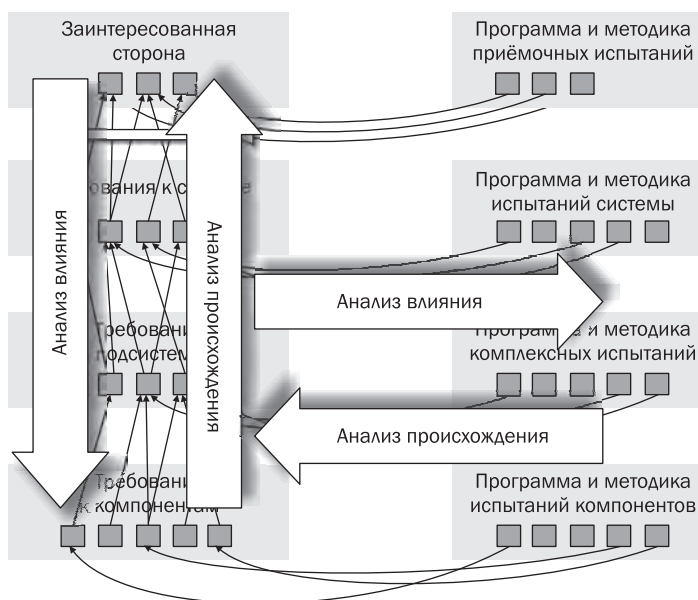
Таблица 1.3. Типы анализа прослеживаемости

Тип анализа	Описание	Поддерживаемые процессы
Анализ влияния	Исследование входящих связей с целью ответа на вопрос: «Что произойдёт, если внести данное изменение?»	Управление изменениями
Анализ происхождения	Исследование исходящих связей с целью ответа на вопрос: «Зачем это нужно?»	Анализ соотношения затраты/достигнутый эффект
Анализ покрытия	Учёт утверждений, которые имеют связи, с целью ответа на вопрос: «Все ли требования охвачены?» (может использоваться как приблизительная мера развития работ, но одной этой характеристики недостаточно – см. ниже)	Общая инженерия. Управленческая отчётность

При выполнении анализа покрытия важно понимать, что учитываемые связи дают лишь малую часть общей картины. Наличие одной или нескольких связей ещё не свидетельствует о том, что покрытие является надлежащим и полностью удовлетворительным, подобное свидетельство должно оставаться в компетенции технического анализа и инженерных расчетов.

В дальнейшем мы увидим, что при оценке качества прослеживания необходимо учитывать два показателя: достаточность и необходимость.

Анализ влияния используется для определения проектных решений, которые могут быть затронуты изменениями, которым подвергается выделенный объект или проектное решение. Это показано на рис. 1.7. Воздействие считается потенциально возможным; при необходимости точного определения природы и результатов воздействия необходим творческий анализ со стороны инженера.



**Рис. 1.7.** Анализ влияния и анализ происхождения

Анализ происхождения выполняется в направлении, противоположном анализу влияния. Выбирается проектное решение низкого уровня – требование, элемент конструкции или тест, – и выполняется операция прослеживания для определения требований более высокого уровня, которые породили данное проектное решение. Конструктивные элементы, для которых невозможно выполнить такое обратное прослеживание, являются потенциальными источниками дополнительных затрат без получения какой-либо пользы.

Наконец, анализ покрытия может использоваться для получения свидетельств того, что все требования могут быть отслезены сверху вниз от верхнего уровня к более низким уровням, и в результате испытаний возможно получение исчерпывающей информации о соответствии этим требованиям. Отсутствие какого-либо маршрута прослеживания явно свидетельствует о том, что рассматриваемое требование не будет выполнено или проверено. Разумеется, наличие связи не гарантирует, что рассматриваемое требование *непрерывно* будет выполнено, – для решения этой задачи вновь необходим творческий инженерный анализ.

Покрытие также может использоваться для количественной оценки развития работ: насколько далеко продвинулись системные инженеры в удовлетворении требований заинтересованных сторон? Предположим, что задача описания требований к системе, увязанных с требованиями заинтересованных сторон, возложена на некоторого инже-

нера. По мере формализации требований к системе инженер в обратном направлении увязывает эти требования с соответствующими требованиями заинтересованных сторон. (В процессе формализации требований прослеживание требует весьма незначительных дополнительных расходов, но гораздо труднее обеспечить прослеживание после того, как оба документа уже написаны.)

На любом этапе решения задачи результаты работы инженеров могут быть измерены и выражены в проценте требований заинтересованных сторон, покрытие которых в настоящий момент обеспечено. Это очень полезное средство управления на начальных этапах разработки.

Похожий принцип может использоваться для оценки результатов при планировании испытаний. Для какой части требований на текущий момент полностью определены процедуры проверки соответствия? Эти два измерения покрытия отображены на рис. 1.8.

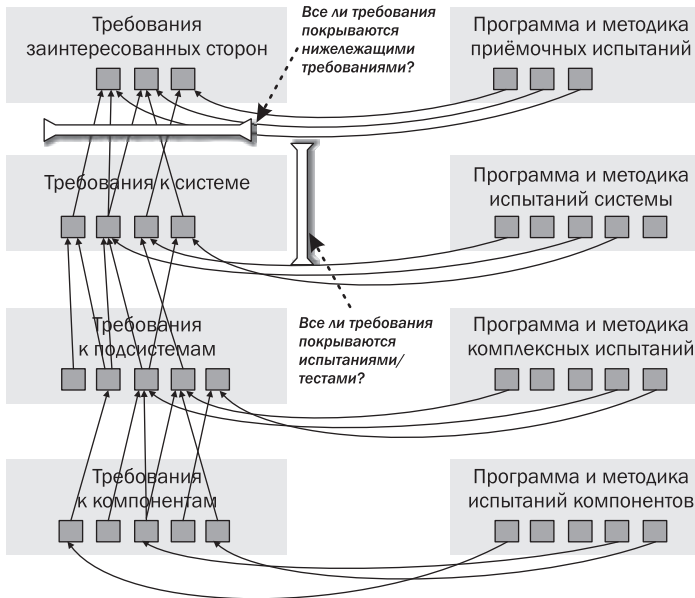


Рис. 1.8. Анализ покрытия

Поскольку указанные разновидности анализа могут быть выполнены всегда, прослеживание является базисной концепцией, лежащей в основе процесса инженерии требований. Более развитые формы прослеживания подробно обсуждаются в главе 7.

## 1.7. Требования и моделирование

Важно понимать взаимосвязь между управлением требованиями и моделированием систем. Они в равной степени поддерживают друг друга, но не следует ставить между ними знак равенства. На рис. 1.9 эта взаимосвязь иллюстрируется на примере сэндвича. Здесь управление требованиями это «хлеб с маслом» цикла разработки, а в качестве «начинки» выступает моделирование систем, которое посредством операций анализа и выработки вариантов проектного решения связывает между собой соседние уровни требований.

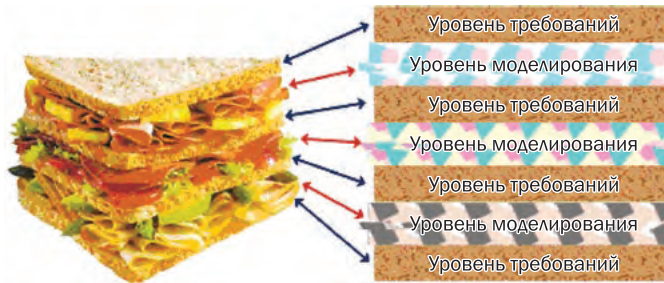


Рис. 1.9. «Сэндвич» системной инженерии

Иногда речь заходит о моделировании требований. Это совершенно неправильный термин. Моделируются проектные решения, относящиеся к системе, а не требования к ней. Моделирование поддерживает проектную и конструкторскую деятельность, то есть этап, на котором выполняется основная часть творческой работы. Моделирование помогает инженеру «вжиться» в систему в степени, достаточной для декомпозиции требований на определённом уровне для перехода на следующий, более низкий уровень. Сами требования представляют собой моментальный снимок полной картины того, что необходимо на каждом уровне, с повышением степени детализации по мере перехода на более низкие уровни.

Конкретная модель никогда не даёт полной информации о системе, в противном случае её уже нельзя было бы назвать моделью. Поэтому для получения как можно более полного представления о множестве разнообразных свойств системы часто используется несколько различных, возможно, взаимосвязанных моделей. Для свойств, которые невозможно промоделировать, остаётся возможность описания на уровне требований, которые в подобных случаях выражаются преимущественно в текстовой форме.

Модель является абстрактным представлением системы, и это представление целенаправленно отражает только выделенные свойства системы, оставляя без внимания все её прочие качества. В этом смысле абстракцию можно считать операцией отсечения всего того, что отвлекает внимание, то есть отказ от тех подробностей, которые, будучи важными сами по себе, тем не менее не имеют отношения к рассматриваемой конкретной модели. Преимущество такого подхода заключается в том, что он требует сбора, обработки, организации и анализа гораздо меньшего объёма информации, применяя при этом различные специализированные методики, наиболее уместные для изучаемых аспектов.

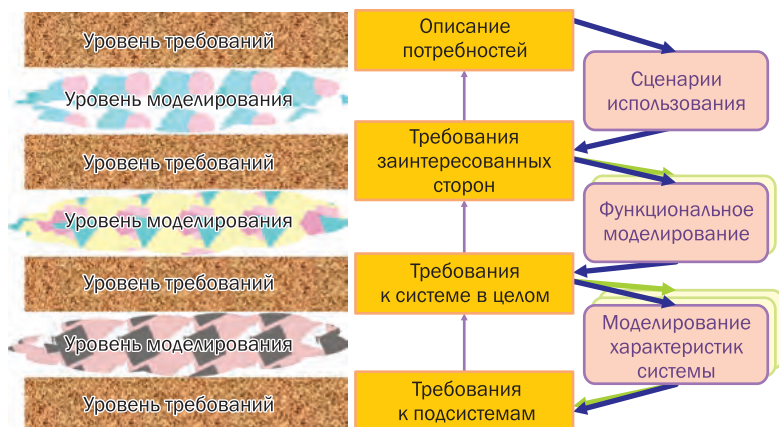
Там, где необходимо управлять большими объёмами сложной информации, моделирование предоставляет средства укрупнения, позволяя объединять подмножества данных для достижения определённой цели, и средства, позволяющие подняться на более высокие уровни, чтобы оценить всю картину в целом. Это обеспечивает сопровождение всей системы посредством сосредоточения именно на том небольшом объёме информации, который необходим в текущий момент.

На рис. 1.10 показана взаимосвязь между ролями, которые исполняют требования и моделирование систем. Модель помогает инженеру, ответственному за работу с требованиями, анализировать требования на определённом уровне, для того чтобы:

- ◇ вести по мере развития проекта обсуждение с заказчиком/потребителем в интересах улучшения взаимопонимания в отношении создаваемой системы;
- ◇ анализировать систему, для того чтобы убедиться в наличии желаемых эмерджентных свойств (и отсутствии нежелательных);



- ◇ определять способы удовлетворения требований посредством порождения новой группы требований на следующем, более низком уровне.



**Рис. 1.10.** Требования и моделирование

Природа используемых моделей будет меняться от уровня к уровню. На самом верхнем уровне используются модели, подобные «сценарию использования системы заинтересованными сторонами», при этом основная цель состоит в получении исходной версии описания требований заинтересованных сторон. Впоследствии возможно применение различных типов моделей функционирования, которые служат для установления требований к системе на основе требований заинтересованных сторон. В случае ПО к подобным моделям можно отнести UML-диаграммы: диаграммы классов (class diagrams), диаграммы последовательностей сообщений (message sequence charts) и диаграммы состояний (state charts) (в главе 3 эти способы моделирования рассматриваются более подробно).

При переходе от требований к системе в целом к описанию архитектуры всё внимание концентрируется на характеристиках системы. Для получения уверенности в том, что выбранная архитектура даёт возможность выполнения всей совокупности как функциональных, так и других требований, можно воспользоваться множеством различных моделей. Для моделирования поведения могут использоваться модели теории очередей, для моделирования аэродинамических характеристик — результаты продувки в аэродинамической трубе, наконец, для моделирования транспортных потоков — модели теории расписаний.

Из приведённых примеров становится понятно, что природа моделей также меняется от одной области применения к другой. Математическая модель расписания подходит, когда создаётся железнодорожная система, но не для проектирования летательного аппарата, где более уместно моделирование аэродинамических качеств (разумеется, аэродинамические испытания весьма важны и для высокоскоростных поездов). Применение диаграммы последовательностей сообщений уместно для систем связи, но для приложений, обрабатывающих большие объёмы данных, лучше использовать методики моделирования, ориентированные на данные, например диаграммы типа «сущность — связь».

Несмотря на такое разнообразие моделей, общие принципы управления требованиями остаются неизменными для любых приложений. Поскольку основной темой данной книги является инженерия требований, в ней также будут достаточно подробно рассматриваться вопросы, связанные с методиками моделирования.