

А.В. ЗАПОРОЖЦЕВ

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В ИНЖЕНЕРИИ

Нижний Новгород 2020

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА»

А.В. ЗАПОРОЖЦЕВ

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ИНЖЕНЕРИИ

*Рекомендовано Ученым советом Нижегородского
государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева
в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по
направлениям 27.03.02 Управление качеством,
27.03.03 Системный анализ и управление*

Нижний Новгород 2020

УДК 004.04:62:65:681.3

ББК 30 +32.812

3233

Рецензент

доктор технических наук, профессор,
зав кафедрой «ИСУИТ» ФГБОУ ВО ВГУВТ Ю.С. Федосенко

Запорожцев А.В.

3233 Системный подход к инженерии: учеб. пособие / А.В. Запорожцев; Нижегород. гос. техн. ун.-т. им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2020. – 195с.

ISBN 978-5-502-01344-4

В учебном пособии для учебного курса «Теория систем и системный анализ» излагается системный подход к инженерной деятельности, включающий рассмотрение воплощения систем в реальном мире, выявление стейкхолдеров и их требований к системе, определение систем через разработку ее архитектуры, учет жизненного цикла системы и практик инженерного проекта. Это позволяет бороться со сложностью создаваемых физических систем и обеспечивает успешность инженерных проектов. Системный подход рассматривает предприятие как систему, что позволяет использовать системные принципы в проектах повышения эффективности организационных систем.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 27.04.02 «Управление качеством» и 27.04.03 «Системный анализ и управление».

Рис. 101. Табл. 4. Библиогр.: 51 назв.

УДК 004.04:62:65:681.3

ББК 30 +32.812

ISBN 978-5-502-01344-4

© Нижегородский государственный
технический университет
им. Р.Е. Алексеева, 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	5
ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. БАЗОВЫЕ ПОНЯТИЯ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА.....	8
1.1. Действительность (реальность)	8
1.2. Мышление.....	9
1.3. Требования к системному мышлению.....	13
1.4. Абстрактное – конкретное.....	15
1.5. Целое – часть целого.....	16
1.6. Моделирование.....	16
1.7. Декомпозиция системы.....	17
1.8. Особые модели систем.....	21
1.9. Базовое понятие системы.....	23
1.10. Исползования системного подхода в практической деятельности.....	23
2. ПОДХОД СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ.....	25
2.1. Системная инженерия.....	25
2.2. Воплощение и определение системы. 4D экстенционализм.....	27
2.3. Множество точек зрения на систему. Стейкхолдеры.....	35
2.4. Холистический подход к описанию систем.....	40
2.5. Множественность аспектов рассмотрения системы.....	45
2.6. Междисциплинарный подход.....	48
2.8. Онтология системного мышления.....	51
2.7. Многоаспектное восприятие целого.....	53
3. ВЫЯВЛЕНИЕ СИСТЕМ В РЕАЛЬНОСТИ.....	56
3.1 Принципы работы со сложными системами.....	56
3.2. Целевая система.....	58
3.3. Использующая система.....	63
3.4. Обеспечивающие системы.....	65
3.5. Аспекты рассмотрения систем.....	68
3.5. Обозначение элементов систем.....	73
4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕВОЙ СИСТЕМЫ.....	76
4.1. Стейкхолдеры определяют систему.....	76
4.2. Выявление требований к целевой системе.....	80
4.3. Моделирование целевой системы.....	87
4.4. Методы моделирования систем.....	90
4.5. Архитектурный метод описания системы.....	95
4.6. Виды описаний и моделей.....	101
5. БАЗОВАЯ СТРУКТУРА ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	104
5.1. Предпосылки создания стандарта OMG Essence.....	104
5.2. Базовые элементы OMG Essence.....	105
5.3. Базовые элементы Ядра.....	106

5.4.	Определение альф инженерного проекта.....	110
5.5.	Пространства активности.....	112
5.6.	Оценка состояния альф проекта.....	113
5.7.	Схема основных элементов Ядра OMG Essence.....	114
6.	СИСТЕМНЫЕ ПОДХОДЫ К ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	116
6.1.	Базовая модель деятельности.....	116
6.2.	Процесс как система.....	122
6.3.	Проектный подход.....	126
7.	ПОДХОД ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА.....	128
7.1.	Базовые элементы жизненного цикла.....	128
7.2.	Системная модель жизненного цикла.....	133
7.3.	Практики жизненного цикла.....	136
7.4.	V- диаграмма жизненного цикла.....	138
7.5.	Гибкие подходы к разработке систем.....	140
7.6.	Примеры практик жизненного цикла.....	141
7.7.	Практики жизненного цикла системной инженерии.....	142
7.8.	Методологии.....	143
7.9.	Основной жизненный цикл.....	144
8.	СИСТЕМНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ.....	147
8.1.	Организация команды проекта.....	148
8.2.	Бизнес – анализ проекта.....	149
8.3.	Выявление стейкхолдеров.....	153
8.4.	Разработка ключевой идеи проекта.....	154
8.4.	Системное проектирование.....	158
9.	ИНЖЕНЕРИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ.....	166
9.1.	Дисциплины инженерии предприятия.....	166
9.2.	Предприятие как система.....	167
9.3.	Проекты предприятия.....	173
9.4.	Системная инженерия предприятия.....	176
9.6.	Совершенствование предприятия.....	183
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	191
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	192

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

СИ	системная инженерия
ЖЦ	жизненный цикл
SADT	методология структурного анализа и проектирования
DEMO	методология проектирования и реинжиниринга организаций
BABoK	свод знаний по организационному анализу
PMI PMBoK	свод знаний по проектному управлению
SEBoK	свод знаний по системной инженерии
DevOps	методология взаимодействия специалистов по разработке и обслуживанию программных систем
ТОС	теория ограничений
ТРИЗ	теория решения изобретательских задач
TQM	концепция «Всеобщее управление качеством»
Lean	концепция «Бережливое производство»
6 сигм	концепция управления производством фирмы Motorola

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время системный подход используется так широко, что часто теряется смысл этого термина и системами называют и водопроводную систему, и систему классификации литературы. Кроме того, активно обсуждается философский смысл термина система, а на практике все сводится к признанию взаимосвязи отдельных элементов системы и того, что свойства системы определяются не свойствами элементов, а структурой системы. Сложность инженерных систем возрастает в геометрической прогрессии, а возможности человеческого мышления остаются ограниченными. Преодоление этих ограничений человеческого мышления возможно только с использованием более совершенных принципов его организации. Системный подход - один из наиболее универсальных и действенных способов к расширению возможностей человеческого мышления.

Использование системного подхода в инженерии ставит своей целью создание успешных инженерных систем. Успешность означает, что система должна удовлетворить нужды заказчиков, пользователей и других стейкхолдеров инженерного проекта. Данный подход повышает вероятность того, что создаваемая система будет приносить практическую пользу.

Необходимость учета потребностей стейкхолдеров инженерного проекта выдвигает на первый план проблему множественности точек зрения на систему – каждый стейкхолдер видит в реальности «свою» систему. Для обеспечения целостности создаваемой системы необходимо использовать специальные практики работы с требованиями стейкхолдеров – сбор требований, их анализ и согласование. Данная работа производится в рамках разработки архитектуры системы – выявления тех элементов, которые и определяют проектируемую систему.

Дополнительной проблемой создания сложных систем является междисциплинарность – необходимость объединения в одном проекте работу большого числа инженеров разных специальностей: механиков, электриков, программистов, технологов и т.д. Каждая специальность имеет свой собственный язык, что требует согласовать представления и обозначения разных специалистов в команде одного проекта. Для решения этой проблемы в системном подходе к инженерии используется 4D экстенционализм – рассмотрение объектов в четырехмерном пространстве–времени. Это позволяет специалистам, использующим разные обозначения объектов, понимать, что речь идет об одном объекте, так как он занимает один и тот же экстенд в пространстве – времени.

Менеджерский подход к организации инженерных проектов нацелен исключительно на внешние атрибуты проекта: бюджет, сроки, работы. Для менеджера успешным будет проект, выполненный в срок и в рамках бюджета, однако финальной точкой в проекте будет процедура валидации – приемка проекта стейкхолдерами и, если созданная система не удовлетворит требования стейкхолдеров, то и проект будет провальным.

Системный подход к инженерии рекомендует постоянно контролировать ряд ключевых аспектов инженерного проекта:

- возможности создания системы и работу со стейкхолдерами;
- определение и воплощение разрабатываемой системы;
- команду проекта, технологии и работы по проекту.

Использование чек-листов позволяет оперативно контролировать ход работ проекта, что исключает ситуации, когда важные работы оказываются упущенными и выполнение проекта сильно затягивается.

Системный подход к организации и выполнению инженерного проекта основан на параллельном выполнении практик, что значительно сокращает время выполнения проекта и повышает вероятность его успешности. Понятие практики как совокупность дисциплины и технологии ориентирует на необходимость овладения дисциплиной, что обеспечивает осознанное использование полных возможностей данной практики.

Применение системного подхода в инженерии создает надежный фундамент в создании современных киберфизических систем.

1. БАЗОВЫЕ ПОНЯТИЯ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА

Инженерия и менеджмент – это два взаимосвязанных вида практической деятельности, одна из которых (инженерия) отвечает на вопрос «Что делать?», а вторая (менеджмент) – «Как это осуществить?» В теории систем рассматриваются наиболее общие свойства объектов реальности и практической деятельности человека. Системный подход к инженерии и менеджменту представляет собой практическое применение основных понятий и методов теории систем к этим видам деятельности человека.

К базовым понятиям теории систем относится разделение мира на две составляющих – окружающую нас действительность (реальность) и мышление человека, взаимодействующего с этой действительностью. Понимание особенностей взаимодействия этих двух элементов мира позволяет лучше разобраться в подходах, используемых в теории систем.

1.1. Действительность (реальность)

В философии понятия действительность и реальность различают. Реальность (от лат. *realis* – вещественный, действительный) – объективно существующий мир объектов. Действительность – осуществлённая реальность во всей своей совокупности – реальность не только вещей, но и овеществлённых идей, целей, идеалов, общественных институтов, общепринятого знания. В отличие от реальности, действительность включает в себе не только реальные объекты, но и всё идеальное, которое приняло вещественный, материальный характер в виде различных продуктов человеческой деятельности – мира техники, общепринятого знания, морали, государства, права. В теории систем понятия действительность и реальность обычно рассматриваются как синонимы. В дальнейшем будем рассматривать реальность как взаимодействие трех элементов (рис. 1.1):

- субъекта – носитель предметно-практической деятельности и познания (индивид или социальная группа);
- объекта – материальный элемент реальности;
- деятельности – воздействия, которое осуществляет субъект по отношению к объектам реальности.

Деятельность – это процесс активного взаимодействия субъекта с объектом с целью удовлетворения потребностей субъекта. Важным признаком деятельности является ее осмысленный характер и

характеризует сознательную сторону личности субъекта. Человек осознает свои потребности и планирует деятельность таким образом, чтобы удовлетворить свои потребности с минимальными затратами.

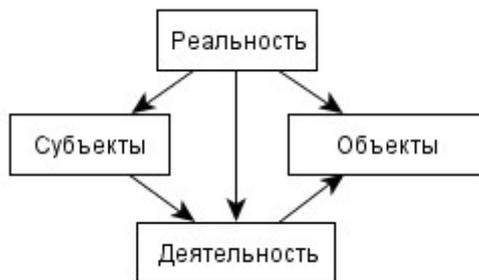


Рис. 1.1. Элементы реальности

1.2. Мышление

Вся практическая деятельность человека связана с его мышлением. Прежде чем человек начинает действовать, он должен представить это действие в своем мышлении, т.е. решить, зачем он будет действовать – каков конечный результат действий (цель), в какой последовательности он будет производить отдельные операции, на что нужно обратить особое внимание во время действий. Важным обстоятельством является то, что перечисленные мыслительные операции возможны только в таком мышлении, которое уже готово к планированию действий, имеет представление о свойствах объектов деятельности, знакомо с набором операций над объектами. Такая готовность мышления человека к деятельности основана на постоянном обучении мышления – изучении различных теоретических дисциплин, знакомстве с разными технологиями и приобретении практического опыта.

В мышлении выделяют [1, 2] два ключевых аспекта:

- обобщенное отражение действительности – способность мышления выделять в реальности то общее, что объединяет сходный ряд предметов и явлений. Например, когда мы говорим о мебели, то подразумеваем под этим словом столы, стулья, диваны, кресла, шкафы и т. д.;
- опосредованное отражение действительности – способность оперировать в мышлении условными образами (символами), за которыми не обязательно должны стоять конкретные объекты и действия. Например, за переменной X мы можем видеть размер объекта или скорость его движения.

Мышление – высшая ступень человеческого познания окружающего реального мира, основу которого составляет образование и непрерывное пополнение запаса понятий и представлений. Мышление включает в себя

вывод новых суждений (построение умозаключений) на основе имеющихся понятий и представлений. Мышление позволяет получить знание о таких объектах, свойствах и отношениях окружающего мира, которые не могут быть непосредственно восприняты при помощи первой сигнальной системы (органами чувств).

Мышление как познавательный процесс (рис. 1.2) включает три этапа:

- ощущение (чувственный опыт) – простейший психический процесс, представляющий собой психическое отражение человеком отдельных свойств и состояний внешней среды, его внутренних или внешних стимулов и раздражителей при участии нервной системы;

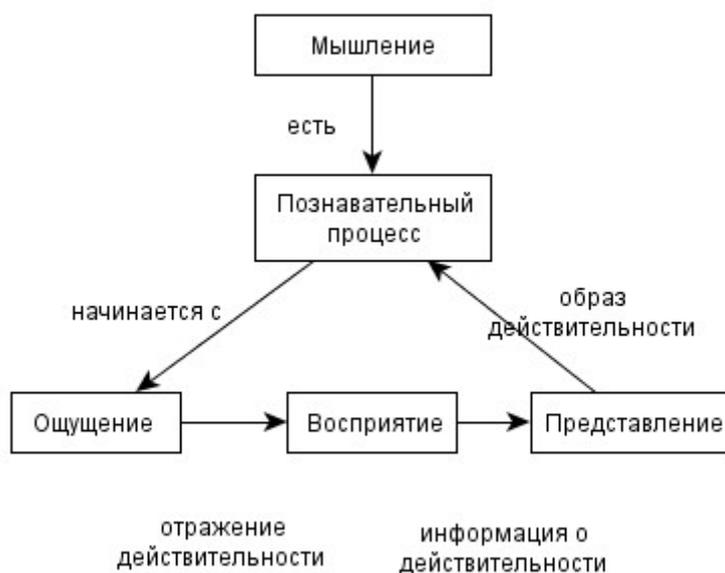


Рис. 1.2. Мышление как познавательный процесс

- восприятие – чувственное познание предметов окружающего мира на основе ощущений. Восприятие – это активный процесс извлечения информации об окружающем мире, включающий в себя реальные действия по обследованию того, что воспринимается. Извлечение информации происходит на основе имеющихся у субъекта схем различных предметов и мира в целом. Большинство из этих схем приобретается в процессе опыта, но есть и исходные схемы, которые являются врождёнными;

- представление – процесс и результат мысленного воссоздания образов предметов и явлений, которые в данный момент не воздействуют на органы чувств человека. Понятие «представление» имеет два значения. Одно из них обозначает образ предмета или явления, которые ранее воспринимались анализаторами, но в данный момент не воздействуют на органы чувств. Второе значение данного термина описывает сам процесс воспроизводства образов.

Ощущение и восприятие дают нам знание о единичных предметах и явлениях реального мира. Для принятия решения в своей деятельности, необходимо предвидеть последствия тех или иных явлений, событий или своих действий. Знание единичного объекта или явления не является достаточным основанием для предвидения в отношении других фактов и явлений. Чтобы предвидеть, надо обобщать единичные предметы и факты в представления о группе фактов и явлений. Такие обобщения позволяют прогнозировать свойства и поведение других единичных предметов такого же рода.

Таким образом, суть мышления как познавательного психического процесса заключается в порождении нового знания на основе творческого отражения и преобразования человеком действительности.

Мышление проявляется в нескольких формах (рис. 1.3), каждая из которых характеризуется особым продуктом мышления.

Понятие – отображенный в мышлении образ элемента действительности, в котором зафиксировано единство существенных свойств, связей и отношений предметов или явлений, имеющих общие и специфические признаки.



Рис. 1.3. Формы мышления

Суждение – это форма мышления, в которой что-либо утверждается или отрицается о предмете, его свойствах или отношениях между предметами. Различают простые и сложные суждения. Простые суждения – составными частями которых являются понятия. Простое (атрибутивное) суждение – это суждение о принадлежности предметам свойств (атрибутов), а также суждения об отсутствии у предметов каких-либо свойств. Сложные суждения – суждения, составными частями которых являются простые суждения или их сочетания. Сложное суждение образуется из нескольких исходных, соединенных в рамках

данного сложного суждения логическими союзами (связками). От того, при помощи какого союза связываются простые суждения, зависит логическая особенность сложного суждения.

В простом суждении содержится лишь одна смысловая единица, а в сложном – несколько таких единиц. Простое суждение можно разложить только на понятия; из сложного при необходимости выделяются, как минимум, два других суждения, каждое из которых можно оценить как истинное или ложное. Эти признаки можно выявить, рассмотрев следующие суждения.

- Демокрит не является идеалистом – простое суждение.
- Если идет дождь, то крыши мокрые – сложное суждение.

Суждение представляет собой относительно законченную мысль, отражающую вещи, явления реального мира с их свойствами и отношениями. Суждение имеет определенную структуру. Его элементами являются субъект, предикат, связка и в некоторых случаях квантор. Субъект – есть знание о предмете суждения (логическое подлежащее). Предикат – есть знание о том, что утверждается или отрицается о предмете суждения (логическое сказуемое). Предикат может выражать как мысль о существовании предмета, о его признаках, свойствах, отношениях, так и мысль о нашей оценке его или побуждениях к известным действиям, поведению и пр. Субъект и предикат называются терминами суждения. Субъект обозначается буквой S, а предикат – P. Связка устанавливает, что мыслимое в предикате присуще или не присуще предмету суждения. Каждый из членов суждения обязательно наличествует или подразумевается в этих суждениях. Квантор суждения указывает, относится ли суждение ко всему объёму понятия, выражающего субъект, или только к его части: «некоторые», «все» и т. п.

В зависимости от способа образования различают следующие суждения:

Дизъюнктивные – образуются с помощью разделительных (дизъюнктивных) логических связок (аналогичных союзу «или»).

Импликационные – образуются с помощью импликации, (эквивалентно союзу «если ..., то»).

Конъюнктивные – образуются с помощью логических связок сочетания или конъюнкции (эквивалентно запятой или союзам и, а, но, да, хотя, который, зато и других).

Эквивалентные – указывают на тождественность частей суждения друг другу (проводят между ними знак равенства).

Отрицательные – строятся с помощью связок отрицания «не».

Умозаключение – процесс рассуждения, в ходе которого осуществляется переход от некоторых исходных суждений (предпосылок) к новым суждениям – заключениям.

Обычно овладение понятиями происходит при обучении человека, когда обучаемый последовательно изучает ряд дисциплин, в каждой из которых он знакомится с новыми для себя понятиями. На практических занятиях эти новые понятия закрепляются путем выполнения учебных практических заданий. Однако активное использование понятий происходит в практической деятельности человека, когда ему приходится принимать решения на основе этих понятий. На этом этапе центр мыслительной деятельности смещается на такие формы мышления, как суждения и умозаключения.

1.3. Требования к системному мышлению

Системный подход предъявляет к мышлению человека особые требования. Мышление должно быть абстрактно, адекватно, осознанно и рационально.

Абстрактность – это требование, подразумевающее способность в суждениях и умозаключениях абстрагироваться от конкретного элемента реальности и сосредоточиться на существенном (абстрактном) в этом элементе. Без абстрагирования невозможно переносить опыт одних ситуаций на другие, невозможно эффективно учиться и создавать новые знания.

Адекватность – это постоянное желание проверить результат абстрактного мышления на соответствие с реальным миром. Адекватны ли наши мыслительные представления о ситуациях реальному (т.е. существующему независимо от нас, материальному) миру или мышление нас обманывает и предлагает неадекватные представления. Этот вопрос постоянно должен находиться в сознании практического деятеля.

Осознанность – постоянный контроль того, как мы мыслим, как рассуждаем. Противоположностью осознанности является вера в интуицию, когда человек «чувствует» правильный ответ и не задумывается над доказательством его справедливости. В этом случае мы не сможем заметить ошибку в нашем мышлении, не сможем его улучшить или изменить, не сможем выучить другой способ мыслить, ибо мы его не будем замечать, не будем его осознавать. Мы не сможем удерживать внимание в мышлении, ибо нельзя удерживать внимание на том, чего не осознаешь. Мы не сможем предъявить неосознаваемое нами мышление для проверки со стороны логики и рациональности. Мы хотим знать, о чём мы размышляем, как мы это делаем, хотим иметь возможность выбирать – мыслить о чём-то или не мыслить. Осознанность позволяет не только осознавать само мышление, но и наличие самого мыслителя.

Рациональность – это возможность проверить результаты быстрого, образного интуитивного мышления на отсутствие ошибок в

рассуждениях по правилам логики. Использование правил логического вывода в рассуждениях позволяет проверить допущения, на основе которых строится логический вывод, а также контролировать каждый этап логического вывода. Во многих случаях доказательство в форме логического вывода оказывается достаточным для признания адекватности этого вывода.

Убедительная иллюстрация использования рациональности мышления приведена в книге Голдратта «Правила Голдратта» [3]. В главе 18 «Эмоции, интуиция и логика» рассматривается соотношение эмоции, интуиции и логики при поиске решения в сложных проблемных ситуациях. Обобщая сказанное Голдраттом в этой главе, можно построить диаграмму циклической причинности (рис. 1.4.)[4].

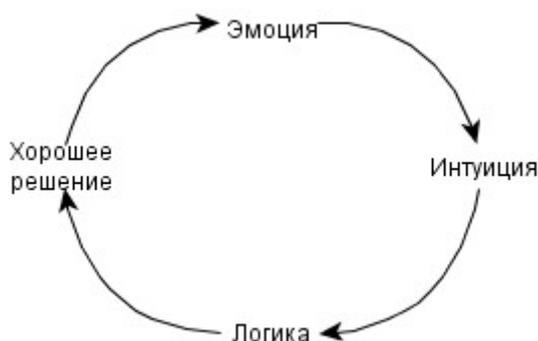


Рис. 1.4. Взаимосвязь эмоции, интуиции и логики

Если с помощью интуиции удастся «увидеть» хорошее решение, то для того, чтобы оценить правильность этого решения, необходимо подумать, т.е. «включить» логику. Это означает, что нужно оценить осуществимость найденного решения, выявить препятствия на пути реализации его и оценить его эффективность. В том момент, когда человеку удастся осуществить хорошее решение, он испытывает очень сильные эмоции и это не только гордость от достижения нового, но и удовольствие от того, что удалось правильно разобраться в проблеме – открыть что-то новое для себя. А дальше все просто – эмоции усиливают интуицию человека, и ему удастся находить все больше и больше хороших решений. В системной динамики такая петля циклической причинности называется усиливающей. Но у этой петли есть крупный недостаток – она может не только усиливать положительные эмоции, но и усиливать отрицательные. Поэтому не следует расстраиваться по поводу появления интуитивных решений, не дающих хорошего результата, нужно продолжать искать хорошие решения.

1.4. Абстрактное – конкретное

К базовым элементам теории систем относится соотношение между понятиями абстрактное и конкретное. Эти взаимосвязанные и противоположные по смыслу понятия выражают в своей взаимосвязи проявление единства между абстрактным и конкретным знанием.

Понятие «абстрактное» подразумевает мысленный образ, полученный путём отвлечения (абстрагирования) от тех или иных несущественных свойств или отношений предмета с целью выделения его существенных признаков. Абстрагирование представляет собой одну из наиболее важных операций мышления и необходимое условие познания мира путём формирования «вторичных образов» предметов или явлений действительности, которыми могут быть как отдельно взятые представления, категории, понятия, теории, модели и другие абстрактные сущности, так и их системы.

Понятие «конкретное» рассматривает то, что реально существует, вполне определённое, точное, предметное, вещественное, индивидуальное. Конкретное в мышлении подразумевает содержание понятий, отражающих предметы или явления действительности в их существенных признаках. Рассмотрение конкретного объекта реальности позволяет увидеть в нём всё многообразие его индивидуальных свойств и отношений с другими объектами. Важно увидеть в конкретном объекте те свойства, которые определены в абстрактном объекте (рис. 1.5), что позволяет отнести конкретный объект к группе абстрактных.

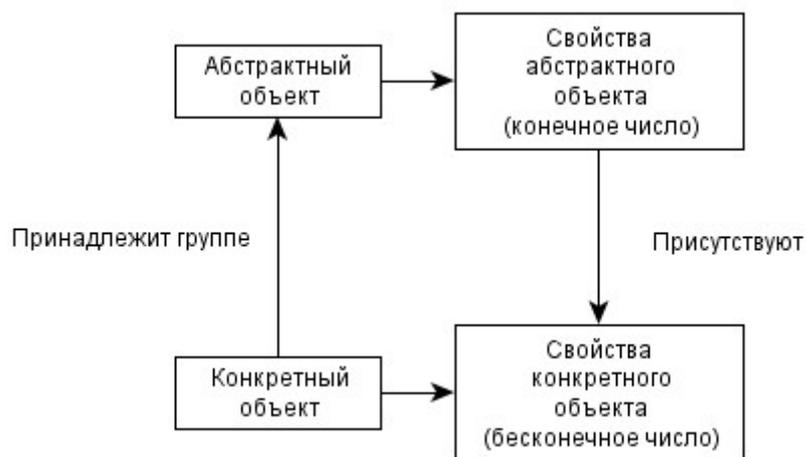


Рис. 1.5. Соотношение между абстрактным и конкретным объектами

Соотношение между понятиями абстрактное – конкретное в ходе изучения основных понятий системного подхода к деятельности будет детализироваться в более частных отношениях, таких как функция – конструкция, роль – исполнитель и т.д.

1.5. Целое – часть целого

Часть и целое определяются соотносительно, эти понятия не имеют самостоятельного, независимого друг от друга смысла. Часть и целое – категориальные характеристики любого конечного материального и духовного объекта.

Целое состоит из частей, но не сводится к их совокупности, так как целое обладает свойствами, которых нет ни в одной из частей, взятых по отдельности. Это называется эффект целостности (эмергентность). Так, ни одна часть автомобиля не способна к перевозке людей. Но также и целое не обладает всеми свойствами каждой отдельной своей части. Автомобиль в целом не может двигаться как кривошип в двигателе.

Целое можно делить на части экстенционально (объемно), например, разделить яблоко на части или лекцию на две части по 45 минут. При этом каждая часть будет иметь свой экстенс. Целое можно разделить на части интенционально (содержательно) – выделить отдельные аспекты в целом. При этом каждая часть целого, разделенного экстенционально, будет обладать таким аспектом, как и все остальные части. Таким образом, при интенциональном разделении целое делится на части, но только мысленно, в абстракции. Например, в картине можно выделить как части цветовой колорит и композицию (при искусствоведческом анализе). Экстенциональные части могут быть представлены как части либо в самой вещи (например, листы книги), либо путем ее разрушения (например, вырвать лист из книги, откусить яблоко). Интенциональные части имеют другую природу: они не представлены как части, и их нельзя получить в качестве таковых делением вещи. Это возможно только мысленно, в абстракции.

1.6. Моделирование

Моделирование – это метод замены одного (исходного) объекта другим объектом – моделью, на основе свойств или поведения которого делается вывод о свойствах исходного объекта. В SADT [5] дано следующее определение модели: «Объект М является моделью объекта S, если М отвечает на вопросы относительно S с точностью А». В этом определении устанавливается ключевое понятие моделирования как возможность получать ответы на вопросы относительно изучаемого объекта. Базовыми элементами SADT-модели являются: цель моделирования, точка зрения и система в ее окружении (граница системы). Цель моделирования определяется обобщением тех вопросов, на которые должна отвечать модель. Цель моделирования определяется субъектом, который имеет интерес к системе, а точка зрения определяется позицией такого субъекта – место, с которого он рассматривает систему.

Важно понимать, что модель можно использоваться для получения ответов только на некоторые вопросы в отношении S, и для получения ответов на другие вопросы необходимо поострить другую модель M.

Универсальность метода моделирования в жизни человека подтверждается тем, что все мышление человека построено на моделях. Все элементы мышления – восприятие и представление, понятие и суждение – представляют собой модели реального мира. Использование моделирования в своей деятельности является естественным расширением сферы моделирования – моделировать не только в мышлении, но и в виде диаграмм, текстов, алгоритмов и т.д. Необходимость расширения сферы моделирования обусловлена тем, что мышление человека ограничено – одновременно он может оперировать с очень ограниченным числом объектов. В своем мышлении человек не может собрать мысленный образ сложного целого. Именно поэтому в SADT модель сложной системы, которую человек осмыслить одновременно не может, представлена на отдельных фрагментах модели – диаграммах, на которых рекомендуется использовать не более 6-9 элементов.

Моделирование выполняет две функции:

- позволяет выразить в наглядной форме те представления, которые формируются у человека в процессе размышления об анализируемом объекте;
- позволяет организовать обсуждения определенной точки зрения на анализируемый объект.

Последний аспект не менее важен, чем первый. Только коллективное обсуждение модели будущей системы позволяет согласовать усилия по ее созданию и добиться, чтобы система оказалась успешной, т.е. соответствовала интересам всех заинтересованных лиц.

1.7. Декомпозиция системы

Декомпозицией называется операция моделирования, в ходе которой система разделяется на составные части (рис. 1.6). На первом этапе декомпозиции в модели выделяются элементы первого уровня (элемент 1, элемент 2, элемент 3 ..).

На втором этапе декомпозиции каждый элемент рассматривается как целое и разделяется на свои составные части (элемент 1.1, элемент 1.2, элемент 3.1, элемент 3.2). Глубина декомпозиции определяется точностью моделирования - выделением всех значимых элементов для ответа на все вопросы относительно системы.

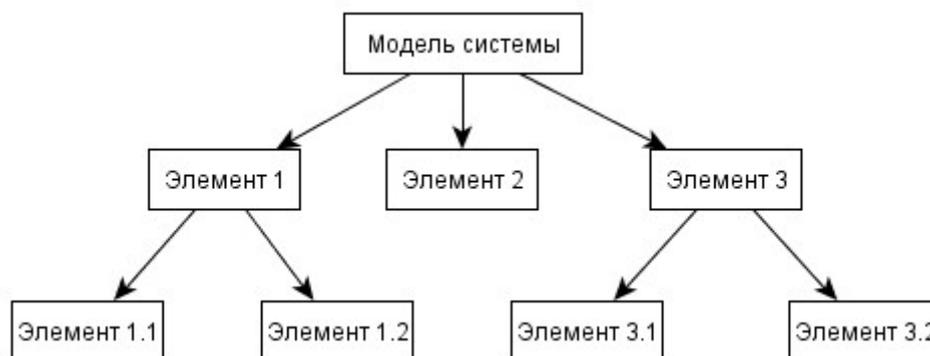


Рис. 1.6. Модель декомпозиции системы

В теории систем разделение целого на части называется анализом, а противоположная операция – соединение частей в целое – синтезом. Ведущим приемом научных исследований является анализ, так как его применение позволяет определить, из каких частей состоит целое и изучать свойства этих частей. Однако изучение свойств частей целого не позволяет ответить на вопрос, почему целое обладает определенными свойствами. В теории систем подход, ориентированный на объяснение свойств целого через свойства его частей, называется редукционизмом. Причиной невозможности объяснить свойство целого через свойства его частей заключается в фундаментальном понятии теории систем – эмергентности. Впервые это понятие сформулировал Аристотель: «целое больше, чем сумма его частей». Наиболее наглядно свойство эмергентности можно проиллюстрировать на примере часов (рис. 1.7).



Рис. 1.7. Эмергентное свойство системы

Если детали часов собрать правильно, то они становятся часами – системой, показывающей время. Ни одна деталь часов не обладает

свойством показывать время. Эмергентное свойство системы появляется только при соединении частей в целое – синтезе.

Чтобы при декомпозиции системы сохранить ее эмергентные свойства, необходимо на каждом шаге декомпозиции восстанавливать разделенную часть системы. Это делается за счет установления связей между частями. Таким образом, условием системности мышления является сочетание двух взаимосвязанных направлений исследования: анализа – разделение целого на части и синтеза – восстановления целого из частей (рис. 1.8).



Рис. 1.8. Анализ и синтез в системных исследованиях

Применение операции декомпозиции к конкретному объекту требует учета индивидуальных особенностей системы, и тогда эта операция превращается в настоящее системное исследование, так как каждый шаг декомпозиции требует понимания внутреннего устройства системы. Однако при всем своеобразии каждой системы процедуры декомпозиции должны подчиняться ряду общесистемных правил.

Самым сложным для аналитика является вопрос о том, как правильно разделить целое на части, чтобы модель была хорошо структурирована и формализована. Соблюдение структурной однородности при разделении целого на части является одним из важнейших требований при использовании декомпозиции. Большую помощь в соблюдении структурной однородности модели системы обеспечивается использованием моделей оснований для декомпозиции.



Рис. 1.9. Модель основания организационной структуры предприятия

Модель основание для декомпозиции – это формальная модель, отражающая определенные универсальные свойства любой системы данного класса. Примером модели основания для декомпозиции может служить модель организационной структуры предприятия (1.9). Эта модель применима для любой организационной системы, в которой используется функциональный подход к управлению. Для конкретного предприятия в модели организационной структуры будут указаны конкретные руководители и подразделения.

Рассмотрим более подробно понятие модель основания для декомпозиции (рис.1.10). Прежде всего, она формулируется как определенный аспект, определяющий точку зрения рассмотрения системы (подсистемы). Например, аспект системы управления организации. На основе этого аспекта формируется соответствующая модель основания.

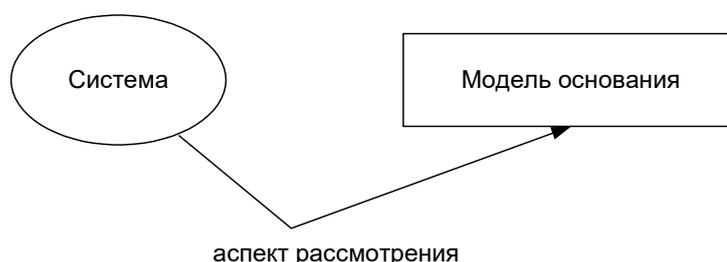


Рис. 1.10. Аспект рассмотрения системы

В данном примере этому аспекту будет соответствовать модель основания – организационная структура этой системы. Здесь аспект выступает в роли системного принципа, а сама модель основания отражает, как этот системный принцип реализуется в приложении к конкретной системе. Полученная модель основания является неким шаблоном, используемым при декомпозиции.

Рассмотрим требования, предъявляемые к модели основанию:

- требование полноты модели, заключающейся в том, чтобы в сфере рассмотрения данного аспекта были все элементы данной системы;
- требование простоты модели. Простота модели в ее компактности – чем меньше элементов модели, тем проще ее воспринимать и оперировать с ней.

Использование моделей оснований при декомпозиции позволяет поддерживать однородность структуры модели, что повышает уровень полезности такой модели для практического использования.

1.8. Особые модели систем

Модель поведения системы

Рассмотренные ранее модели систем отражают структурные свойства системы. Знание структурных свойств системы позволяет понять, как устроена система, но не дает возможности сделать заключение о том, что будет происходить с системой во времени. Изучение изменений системы во времени производится на основе динамических моделей. В этих моделях, кроме структурных свойств, учитывается в явном виде такой параметр, как время. Поэтому динамическая модель системы обычно представляется как изменение основных параметров системы во времени (рис. 1.11).

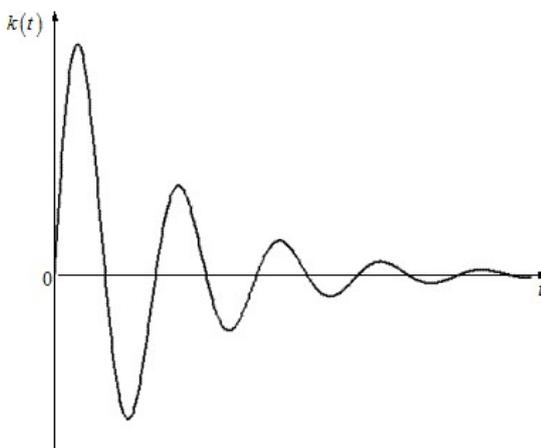


Рис. 1.11. Отображение параметра динамической модели системы

Совокупность значений основных параметров системы, характеризующих ее в определенный момент времени, называют состоянием системы. В наиболее общем виде динамическая модель системы описывается следующим уравнением:

$$Y(t) = f(X(t), Z(t), t),$$

где $Y(t)$ – вектор выходных параметров системы; $X(t)$ – вектор входных параметров; $Z(t)$ – вектор параметров состояния системы.

Возможность построения динамических моделей реальных систем основана на принципе причинности - одно явление приводит к появлению

другого. Такая пара явлений есть причина и следствие. Модель динамического поведения системы позволяет предсказать изменение основных параметров системы на предстоящий период, что позволяет принять меры для уменьшения действия негативных факторов, снижающих эффективность работы системы.

Особый подход к изучению систем представляет системная динамика [6], выявляющая циклические причинные связи в виде усиливающих и уравнивающих петель, в которых каждая переменная выступает как причина следующей переменной и является следствием предыдущей переменной. Анализ диаграмм циклической причинности позволяет предсказать поведение системы, а использование специальных программ имитационного моделирования – произвести расчеты параметров поведения системы.

При изучении поведения систем во времени различают два аспекта в ее поведении: функционирование и развитие. Под функционированием подразумевают процессы, которые происходят в системе (и окружающей ее среде), стабильно реализующей назначение системы. Развитием называют то, что происходит с системой при изменении ее целей, т.е. функций системы. Характерной чертой развития является тот факт, что существующая структура системы перестает соответствовать новой цели, и для обеспечения новой функции приходится изменять структуру, а иногда и состав системы, перестраивать всю систему.

Модель жизненного цикла системы

Рассмотренные ранее модели систем отражают ее структурные свойства или изучают поведение систем – изменение важнейших параметров системы во времени. Однако в изучении систем есть еще один важный аспект – изменение системы во времени на всем протяжении существования системы (от создания системы до вывода ее из эксплуатации). Рассмотрение системы на ее жизненном цикле пришло в теорию систем из социальных наук. Большинство социальных концепций жизненного цикла можно соотнести с тремя основными научными областями: биологией, философией и ранней психологией (онтогенез человека от зачатия до смерти).

В системном подходе понятие жизненный цикл (*life cycle*) применяют для обозначения отрезка времени, который разделен на стадии (*stages*), иногда называемыми фазами (*phase*) жизненного цикла, – отрезки времени, в которых система была в каком-то состоянии (рис. 1.12). Смена состояния системы является границей между двумя стадиями.

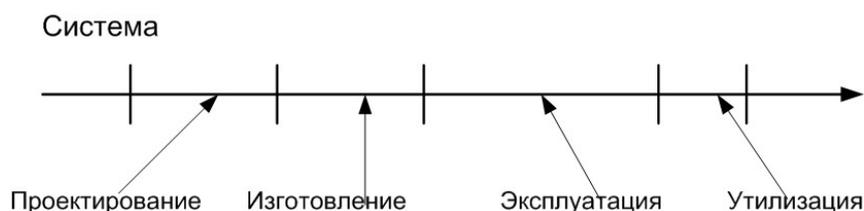


Рис. 1.12. Стадии жизненного цикла системы

Рассмотрение жизненного цикла системы позволяет посмотреть на систему с более общих позиций и при принятии решения, относящегося к одной стадии, предусмотреть влияние этого решения на других стадиях. Например, на этапе проектирования технической системы рассмотреть вопросы ее эксплуатации или утилизации.

1.9. Базовое понятие системы

Понятие система является базовым понятием системного подхода. Общепринято является следующее определение системы: «Система (от др.-греч. *σύνστημα* – целое, составленное из частей; соединение) – множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определённую целостность, единство [7].

Выделяют следующие свойства системы:

- целостность – имеет границы и связь частей между собой сильнее, чем с внешним миром;
- эмерджентность – появление у системы свойств, не присущих элементам системы.
- иерархичность – каждый элемент системы может рассматриваться как система.

В чем недостаток данного определения:

- 1) нет человека создателя системы и нет человека, выполняющего разные действия по отношению к системе;
- 2) нет понимания (технологии) работы с элементами, которые выделены в результате анализа системы
- 3) нет понимания, что делать с выделенными элементами на разных этапах жизненного цикла системы.

1.10. Использование системного подхода в практической деятельности

Изложенное ранее позволяет решать практические проблемы с точки зрения системного подхода. Рассмотрим использование базовых понятий системного подхода в задаче определения проблем предприятия и выработке предложений по улучшению его работы.

Понятие целостности системы и наличия у нее эмерджентных свойств ориентирует на то, чтобы решения по улучшению работы системы

обеспечивали положительный результат всей системы, а не отдельных ее частей. С другой стороны, проблемы предприятия связаны с наличием в системе элементов, низкая эффективность работы которых и порождает проблемы – причина проблем. Для выявления этих причин необходим анализ системы. Все известные методы анализа систем используют ее декомпозицию, построение моделей систем и на основе неформальных методов системного подхода определение того элемента, который связан с причиной проблем. Можно сделать предположение, что неформальные методы системного подхода и составляют суть системного анализа. Этот процесс происходит в мышлении аналитика после того, как он загрузил модели системы и соотнес эти модели с уже наработанными подходами в анализе других систем. Нарботка таких индивидуальных подходов в анализе систем и составляет практический опыт системного аналитика.

Возникает вопрос – можно ли дать системному аналитику дополнительные модели основания (шаблоны) об универсальных структурных свойствах систем, применение которых способно помочь аналитику в решении его практических задач? Ответ на этот вопрос дает данное учебное пособие.

2. ПОДХОД СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

2.1. Системная инженерия

Разработка программных систем активизировала системные исследования, так как обычные подходы к решению практических задач разработки программного обеспечения не позволяли справиться со сложностью проектов. Подходы к разработке программных систем были объединены в стандарты программной инженерии. В ходе разработки стандартов стало очевидным, что базовые принципы разработки и эксплуатации программных систем носят универсальный характер и могут быть использованы в проектах по созданию большинства систем. Сфера применения стандартов программной инженерии была расширена на задачи создания инженерных систем. Теперь эти стандарты называются стандартами системной и программной инженерии [8].

Системная инженерия (Systems Engineering) – это научно-методологическая дисциплина, изучающая вопросы проектирования, создания и эксплуатации структурно сложных, крупномасштабных, человеко-машинных и социотехнических систем [9]. Краткое определение системной инженерии – междисциплинарный подход и средство для создания успешных систем [10].

Необходимо различать инженерию и менеджмент как два взаимодействующих вида деятельности, направленных на достижение общей цели – создание успешных систем. Различие заключается в том, что системный инженер отвечает за содержательную часть проекта создания системы (что будем делать, какие ресурсы нужны), а менеджер за эффективную организацию этого процесса (в какой последовательности выполнять работы, сколько нужно ресурсов).

Стандарты системной и программной инженерии вводят несколько новых положений, среди которых наиболее важными являются следующие:

- существование в физическом мире – 4D экстенционализм;
- «деятельностная субъективность» определения системы; стейкхолдеры;
- определение систем через халархии;
- архитектурный принцип в определении систем;
- компонентное и модульное представление системы;
- жизненный цикл системы и проекта.

Данные положения дополняют базовые принципы системного подхода и в совокупности рассматриваются как системный подход 2.0 [10].

Определение системы в системном подходе 2.0

Предметом системного подхода в системной инженерии являются создаваемые людьми системы. Системами будем считать любые существующие в мире или воображаемые объекты или явления, если они обладают всеми четырьмя перечисленными признаками:

- могут быть выделены из окружения, отделены от внешнего мира;
- могут быть рассмотрены как состоящие из каких-то элементов;
- между этими элементами и между элементами и внешним окружением могут быть выделены связи, взаимодействия;
- может быть определено назначение системы.

Система – это то, что может быть выделено из окружения, разделено на имеющие связи элементы и имеет назначение для внешнего окружения.

Сравнивая данное определение системы с общепринятым можно отметить, что в нем появилось два новых понятия: выделение системы из окружения и наличие назначения системы. Введение этих новых понятий существенно изменяют системный подход, так как требуют определения того, кто выделяет систему из окружения, с какой целью выделяют систему и среди каких других объектов выделяется система. Ответ на первый вопрос предполагает наличие субъекта деятельности, что кардинальным образом меняет суть системного подхода. Общепринятое определение системы предполагает объективный характер системного исследования – существование системы в объективном мире. Кроме того, общепринятый системный подход неявно предполагает наличие системного аналитика – того, кто проводит системное исследование. В системном подходе 2.0 ключевым элементом является принцип множественности точек зрения специалистов на общую сферу деятельности, каждый из которых выделяет в деятельности только те объекты, которые субъективно интересны ему. Однако данный принцип неправильно понимать как полную свободу в выделении системы, так как точка зрения специалиста в системном подходе 2.0 рассматривается как культурно-обусловленная – подчиняющаяся вполне определенным правилам и понятиям этой специальности. Множественность точек зрения объединяется тем обстоятельством, что под системой понимается только то, что существует в реальном мире – этот принцип является принципиальным положением системного подхода 2.0.

Создаваемые людьми системы могут быть не только объектами, но организациями, включающими в себя и людей. Одним из основных применений системного подхода будет рассмотрение примеров человеческой деятельности (процессов, проектов) как систем.

2.2. Воплощение и определение системы. 4D экстенционализм

Как уже отмечалось, в системном подходе 2.0 [10] принято рассматривать только реально существующие объекты в настоящем или появляющиеся в результате инженерного проекта. Существование или появление системы в реальном мире в системной инженерии обозначено понятием *воплощение системы* (*system realization*), а вся информация о создаваемой системе содержится в *определении системы* (*system definition*). Необходимо четко различать систему, существующую в реальном мире (воплощенную), и абстрактное представление о системе – определение системы, т.е. информацию о системе. Информация о системе не является материальной, чтобы с информацией о системе могли работать люди ее необходимо представить в реальности. Такое представление информации о системе в реальности дается в виде *описания системы* (*system description*). Это описание делается на некотором физическом носителе. Классическим примером, подчеркивающим разницу понятий, является различие между картой и территорией, отображаемой на карте. В реальности мы идем по территории и, чтобы не заблудиться, смотрим на карту, сопоставляя изображения на карте с реальными объектами территории.

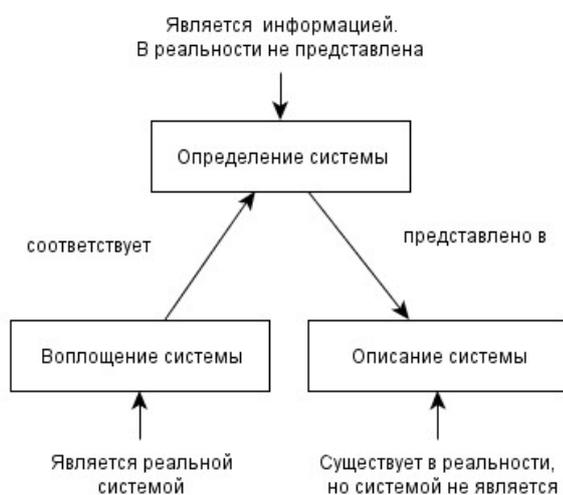


Рис. 2.1. Три представления о системе

Воплощение системы соответствует реальному объекту (индивиду), определение системы соответствует абстрактному объекту. Описание системы, хотя и существует в реальности, но системой не является (рис. 2.1). По одному описанию системы может быть изготовлено большое количество реальных изделий, но все они будут обладать индивидуальными свойствами – отличаться от всех других объектов, изготовленных по одному, общему описанию.

Таким образом, все рассуждения о системах подразумевают наличие

их в реальном мире или воплощение их в реальном мире в результате деятельности. Критерием наличия индивидуального объекта в реальном мире является то, что этот объект занимает конкретное место в пространстве на определенном отрезке времени и никакого другого объекта в этом пространстве – времени (4D) быть не может. Место индивида протяжённость в 4D пространстве – времени называется *экстенстом* (*extent*).

4D экстенционализм

Определение системы включает в себя некоторый набор источников информации об элементах системы: принципиальные и монтажные схемы, детальные и сборочные чертежи, спецификации и ведомости. Во всех этих документах один и тот же элемент системы будет называться по-разному. Первым, кто задумался над проблемой разных обозначений одного объекта, был Декарт (1596-1650). Он предложил подход, названный *экстенционализмом* (*extensionalism*). В рамках экстенционализма считается, что если экстенсты, т.е. место в пространстве, у двух объектов совпадают, то это один и тот же объект. В XX в. к этому представлению добавили ещё и протяжённость во времени – темпоральный/временной экстенст, а соответствующая теория получила название **4D экстенционализма** (*4D extensionalism*) [11]. Выделение экстенста объекта позволяет разделить свойство объекта - существование его в реальном мире и те конкретные свойства объекта, которые видят разные люди в соответствии с их интересом к объекту (рис. 2.2). И пусть разные люди будут видеть в этом объекте разные свойства, но наличие общего свойства - экстенста - позволяет понять всем, что речь идет об одном объекте.

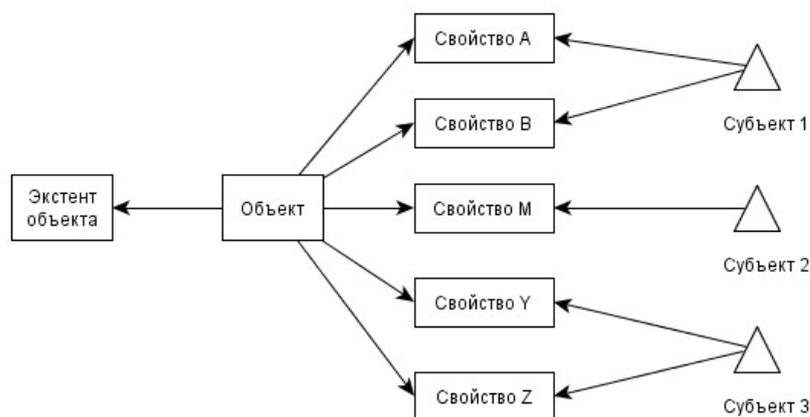


Рис. 2.2. Экстенст объекта в физическом мире

Использование экстенционализма в системном подходе 2.0 и опора на воплощение системы в системных исследованиях позволяет не только договориться об общем объекте исследования, но и отделить общие пожелания и абстрактные рассуждения от практической деятельности, имеющей конечной целью воплощение системы в реальности. Только то,

что существует в мире как уникальный физический объект имеет 4D пространственно-временную протяжённость, является онтологическим индивидом и позволяет системным инженерам работать со многими описаниями системы, и в то же время видеть систему как целое. Такое видение системы можно назвать многерицей [41] – взгляд на единую сущность, данную нам во многих ипостасях (описаниях).

Если считать, что индивид существует только в трёхмерном пространстве, то мы не сможем сказать, что происходит с ним в разные моменты времени. В этом случае объект рассматриваются как трёхмерные срезы реальности – объёмные фотографии, зафиксированные в данный момент. Для практической деятельности 3D представления об объекте недостаточно, так как в практической деятельности объекты изменятся во времени. Введение четвертой координаты – времени – позволяет расширить понятия экстенс, имеющее размерность пространства (3D), до понятия 4D экстенционализм. Введение координаты время позволяет различать, говорим ли мы об одном и том же объекте или о разных объектах, занимающих одно и то же место в пространстве. В подходе 4D экстенционализм объект считается четырёхмерным объектом, существующим как во времени, так и в пространстве. Для наглядности рекомендуется представлять 4D объекты в виде «темпоральных червячков», которые получаются за счет перемещения по оси времени 3D срезов объекта (рис. 2.3). Перестроить мышление с 3D времени на 4D время не так просто, так как в 4D прошлое и будущее считаются существующими одновременно, а наблюдатель находится вне времени. Это позволяет учитывать не только части 3D объекта в конкретный момент времени, но и выделять новые части, которые образуются при рассмотрении изменений части 3D объекта во времени.

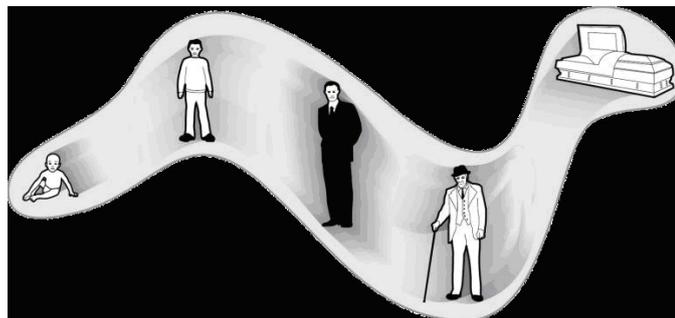


Рис. 2.3. 4D объект в пространстве - времени

Для отображения разных частей 4D объекта удобно использовать специальную диаграмму, в которой по горизонтальной оси представлено время существования 4D объекта, а на вертикальной оси отображается срез 3D объекта (рис. 2.4).

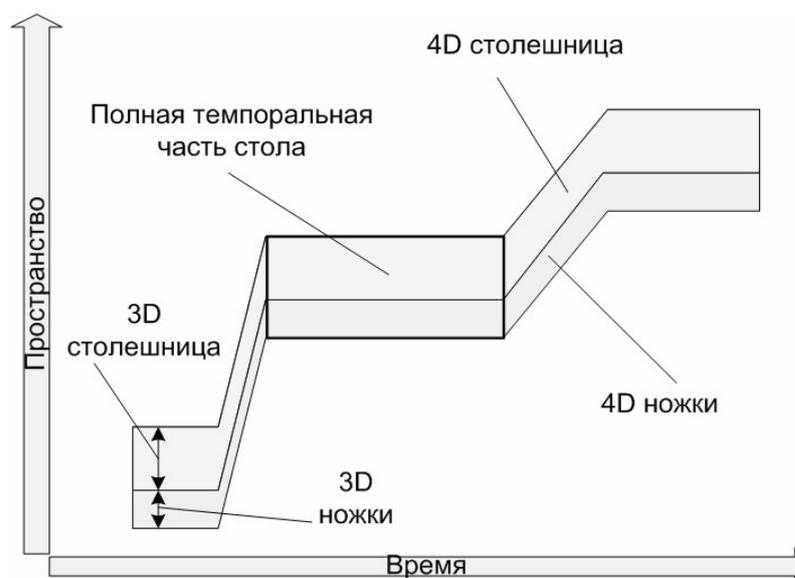


Рис. 2.4. Составные части 4D стола

В пространстве стол состоит из 3D частей – ножек и столешницы, ножки дополняют столешницу до полного стола, а столешница дополняет ножки. Горизонтальные участки на такой диаграмме соответствуют изменению времени существования стабильного состояния объекта, а наклонные участки – изменению положения объекта или его части в пространстве. Можно выделить несколько вариантов частей 4D объекта, которые определяются отношением часть-целое:

- обычные пространственные 3D части (в каждый момент времени) - 3D стол и его части: 3D столешница и 3D ножки;
- полные темпоральные части (*Whole Part*) – временная часть целого 4D объекта, в каждый момент времени полностью совпадающие с его пространственным экстендом – 3D стол;
- смешанные темпорально-пространственные части охватывающие полный временной участок существования части полного 3D объекта – 4D столешница и 4D ножки.

Чтобы описать объект или его часть с точки зрения 4D экстенционализма необходимо четко указывать как пространственные, так и временные части 4D объекта:

- фраза «4D стол» соответствует всему 4D объекту в пространстве - времени;
- фраза «3D стол» соответствует срезу объекта в определенный момент времени;
- фраза «4D стол в период от 00:00 1 января 2018 г. а до 24:00 31 декабря 2018 г.» соответствует полной темпоральной части 4D стола от начала до окончания 2018 г.;
- фраза «4D столешница» соответствует смешанной темпорально-пространственной части (столешнице) 4D стола.

Наиболее наглядным является использование 4D схем, на которых можно не только составные части объекта, но и изменение этих частей во времени (рис. 2.5). На диаграмме показано, что во время эксплуатации стола появилась необходимость заменить ножки. Процедура замены ножек стола состоит из двух операций: отсоединение ножек стола №1 от столешницы и присоединение ножек №2 к столешнице, что позволяет восстановить целостность стола. Таким образом, образуются две полные темпоральные части стола существующие в разные периоды времени и состоящие из разных частей;

1-я полная темпоральная часть состоит из столешницы и ножек стола №1;
 2-я полная темпоральная часть состоит из столешницы и ножек стола №2.

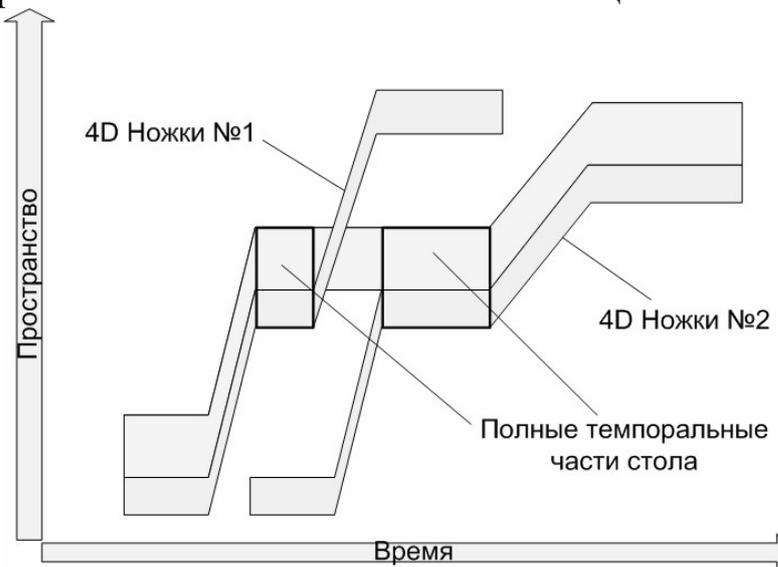


Рис. 2.5. Замена ножек 4D стола

Приведенный пример наглядно показывает возможности 4D диаграмм в отображении как состава объекта, так и тех изменений, которые могут происходить с объектом на разных этапах его существования. 4D диаграммы предназначены для иллюстрации принципов 4D, так как отобразить составные части реального объекта, включающие сотни и тысячи деталей, на таких схемах не представляется возможным.

При использовании 4D диаграмм необходимо учитывать, что они представляют собой абстрактные модели реальных объектов. Эти диаграммы помогают рассуждать о реальных объектах и за этими диаграммами всегда нужно видеть объекты, по которым можно «постучать» – убедиться в реальности их существования.

Функциональные объекты

4D диаграмм позволяют показывать не только реальные объекты, но также отображать функциональный уровень представления об объекте. Причем одному функциональному объекту в разные моменты времени

могут соответствовать разные физические индивиды. Кроме того, некоторая часть функционального объекта в некоторые периоды может не иметь физического воплощения. Все эти ситуации соответствуют реальностям жизни, и описание таких ситуаций с помощью 4D диаграмм получаются более точными, строгими и компактными. Стандартными отношениями часть-целое на 4D диаграммах можно описать то, для чего при использовании других подходов потребует вводить специальные отношения «исполнять роль», «занимать место» и т.п.

Функциональные объекты на 4D диаграммах принято обозначать пунктирными линиями. Такой функциональный объект занимает свой экстенст – определенное место в пространстве-времени. Этот экстенст может пересекаться с разными экстенстами реальных объектов (рис. 2.6).

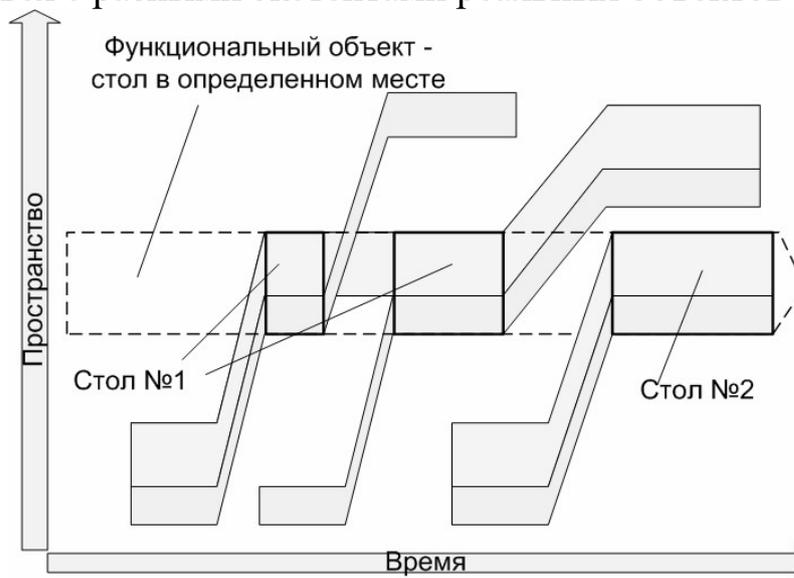


Рис. 2.6. Функциональный 4D стол

На данной 4D диаграмме представлен функциональный объект – стол. Это позволяет отобразить следующие ситуации:

- появление стола №1 и замену в этом столе ножек стола в определенном месте, например, в аудитории - второй стол в правом ряду;
- перемещение стола №1 в другое место, например, в другую аудиторию;
- установка стола №2 на место, которое освободилось во втором ряду аудитории после удаления стола №1.

На диаграмме показано, что в определенные моменты времени функциональный объект может быть не полным по составу или отсутствовать в данном экстенсте.

Процессы и действия

В системном подходе рассматриваются такие объекты реальности, которые существуют не сами по себе, а связаны с определенной

деятельностью. Важным является то, что в процессе деятельности участвуют некоторые объекты, с помощью которых и осуществляется эта деятельность. Возникает вопрос – как можно отобразить действия в 4D экстенционализме? Прежде чем ответить на этот вопрос, необходимо определить, что такое действие, как можно обнаружить действие? Ограничимся самым простым понятием действия – изменение тех объектов, которые принимают участие в этом действии. Тогда, с точки зрения 4D экстенционализма, действие определяется как индивид, состоящий из четырёхмерных индивидов, принимающих участие и взаимодействующих в этом действии. Таким образом, при описании действия с точки зрения 4D экстенционализма самым важным является описание объектов, которые участвуют в действии. Отношение «принимать участие» (*participation*) является одной из разновидностей более общего отношения «целое – часть». Такое отношение называют отношением состава (*composition*).

При построении диаграммы описания процессов используют как элементы описания процессов, так и элементы описания отношения между частями системы.

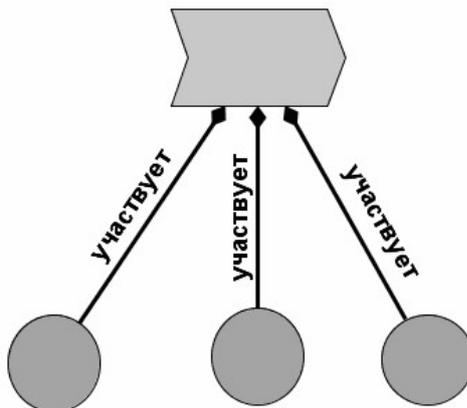


Рис. 2.7. Изображение процесса в виде объекта

Основным элементом диаграммы является направленная стрелка, часто используемая при моделировании процессов [12]. Элементы, которые используются в этом процессе, изображаются кружочками, а отношение состава процесса изображается стрелками с ромбиками на конце (рис. 2.7). Направление такой стрелки обозначает, что данный объект входит в состав данного процесса.

Использование такого представления о процессе унифицирует системное мышление – можно о совершенно разных объектах (включая процессы) думать одинаково. Это значительно экономит мышление.

Наглядным примером применения 4D экстенционализма к процессам является рассмотрение деятельности предприятия. В ходе этой деятельности задействовано множество объектов: люди, оборудование, здания и сооружения, сырьё и полуфабрикаты. Все эти объекты реальны –

по ним можно «постучать». Несмотря на процессный характер деятельности предприятия, с ним можно работать как с объектом, который состоит из многих других объектов, участвующих в его деятельности. Для отражения организованного характера деятельности предприятия рекомендуется использовать специальное понятие оргпроцесс в соответствии с рекомендацией стандарта ISO 29148. Термин «бизнес» используется, даже если он может применяться к некоммерческим организациям, таким как государственный сектор. Пользователи настоящего стандарта могут заменять каждое возникновение термина «бизнес» термином «организация» в зависимости от среды пользователей, вместо общепринятого понятия процесс.

Использование представления деятельности в 4D экстенционализме упрощает взаимопонимание при обсуждении процессов как совокупности используемых объектов в отличие от общепринятого представления процессов как совокупности действий. Действия обнаружить в реальном мире очень трудно, а вот об объектах всегда можно найти общее понимание.

Примеры воплощений и определений системы

В том случае, когда рассматривается материальная система, разделить воплощение и определение системы не вызывает затруднений. Чертеж детали – это описание детали, информация о параметрах детали на чертеже – это определение детали, а деталь, изготовленная на станке, – воплощение детали.

Значительно сложнее разделить воплощение и определение системы в тех случаях, когда речь идет об алгоритмах. Рассмотрим воплощение для программной системы. В программной системе можно выделить два ключевых элемента – данные и алгоритм их обработки. Возникает вопрос: «Является ли текст программы воплощением той системой, которую разрабатывают программисты?». Системная инженерия, рассматривая программу как материальную систему (4D индивид), имеет в виду, что программа работает в физической части компьютера, которая и проводит вычисления этой программы в ходе её работы по назначению. Программу следует считать воплощением системы только в тот момент, когда она реально запущена на исполнение и работает, делает то, ради чего она была написана. Исходный код программы – это не программа, а только её описание. Поэтому считать, что инженерная работа закончена в момент написания исходного кода, является ошибкой. Из признания этой ошибки появилось целое движение DevOps, объединяющего не только разработку кода программы (*Development*), но и сопровождение работы программы на рабочих серверах (*Operations*).

Другим примером алгоритма является деятельность людей в

организации. Такой поток работы людей называется обычно процессом или бизнес–процессом. В системной инженерии чаще используют название оргпроцесс, точнее характеризующее эту деятельность. Для оргпроцесса принято разрабатывать специальные инструкции, в которых регламентируется деятельность людей в рамках этого оргпроцесса. Можно провести аналогию между регламентом оргпроцесса и программной системой. Разработка регламента является проектированием (определением и описанием системы), а реализацией регламента процесса будет организованная деятельность людей по этому регламенту. Для того, чтобы клиент смог получить результат оргпроцесса, необходимо обучить людей работе по этому регламенту и систематически контролировать его соблюдение и корректировку.

2.3. Множество точек зрения на систему. Стейкхолдеры.

Предшествующий период использования системного подхода был основан на идее, что только человек, овладевший системным подходом (системный аналитик), может предложить системно обоснованное решение. В литературе [13] этот подход имеет определенное название - жесткое системное мышление (*Hard Systems Thinking*). Жесткий системный подход предполагает, что системный аналитик может определить цель системы, которую необходимо улучшить, и, что основной задачей системного аналитика является «техническое воздействие» на систему для достижения данной цели. Однако использование такого подхода при решении реальных проблем в большинстве случаев не позволяет добиваться успеха. Причинами провалов многих проектов являются: субъективность точки зрения системного аналитика и отсутствие учета требований основных заинтересованных сторон этого проекта.

В работах Р. Чекланда и Г.П. Щедровицкого [13, 14] подход, основанный на жестком системном мышлении, был заменен на более мягкий подход, в которых системный аналитик рассматривался только как одна из заинтересованных сторон, имеющих отношение к системе. При этом решение о воздействии на систему принимается на основе моделей, учитывающих точки зрения всех, кто имеет отношение к данной проблемной ситуации.

Один из ключевых принципов системного подхода 2.0 – практическая деятельность является коллективной, т.е. заинтересованных сторон в этой деятельности существует много. Для обозначения заинтересованных сторон в создании систем введено понятие стейкхолдер – определенная роль в рассматриваемой деятельности. Понятие роли по отношению к стейкхолдеру означает то, что все

индивиды, участвующие в коллективной деятельности и играющие одинаковые роли в этой деятельности, будет воспринимать реальность примерно одинаково, а разность в восприятии реальности разными индивидами, выполняющими одинаковую роль, будет игнорироваться. Для лучшего понимания сущности стейкхолдера используется театральная метафора. Здесь стейкхолдер является ролью некоторой пьесы, а конкретный индивид - актером, исполняющим эту роль. Таким образом, базовым аспектом в понятии стейкхолдер является то, что он рассматривается как функциональный субъект (роль), а не конкретная личность.

В системной инженерии для характеристики стейкхолдеров используется понятие «деятельностная субъективность» – субъективность, связанная не с индивидуальным восприятием реальности участника деятельности, а с субъективностью определенной роли в этой деятельности. Деятельность системного инженера как стейкхолдера отличается от деятельности менеджера по продажам инжиниринговой компании, и обе они отличаются от деятельности операционного менеджера. Различие ролей этих стейкхолдеров будет наглядно проявляться при обсуждении системы – системный инженер будет говорить о соответствии отдельных частей изделия его функции, менеджер по продажам будет озабочен объемом продаж изделия, а операционный менеджер – о сроках окончания изготовления партии изделий. Деятельностная субъективность стейкхолдера может быть описана, если известно, какая деятельность этим стейкхолдером выполняется, что можно ожидать от стейкхолдера в соответствии с его деятельностной ролью. Наиболее простым способом описать деятельностной субъективности стейкхолдера является составление списка интересующих его вопросов в рассматриваемой системе.

Деятельностная субъективность стейкхолдеров – серьезное препятствие на пути реализации успешного проекта. В начале инженерного проекта все стейкхолдеры будут представлять себе систему по-разному, и каждый по-разному будут проводить границу между системой и её окружением. Объективация же границы системы проходит последовательно, как согласование определений системы между различными стейкхолдерами – стейкхолдеры подстраивают свою точку зрения на деятельность так, чтобы в них появлялась общее понимание системы в одинаковых границах для всех стейкхолдеров. Данная возможность согласования различных точек зрения на систему заложена в 4D экстенционализме, в рамках которого рассматриваются экстененты – реально существующие (занимающие определенное место в пространстве – времени) объекты (как материальные, так и процессы). Реальность существования объектов, рассматриваемых разными стейкхолдерами как

системы, позволяет, в конечном счете, договориться об общем понимании проектируемой (рассматриваемой) системы. Данная возможность значительно повышается, если будут учитываться точки зрения стейкхолдеров, а не конкретных индивидов, так как в точке зрения стейкхолдера выделено только наиболее существенное из точек зрения всех индивидов, выполняющих эту роль.

Стейкхолдеры дают возможность (*opportunity*) для проведения инженерного проекта: если проект никого не затрагивает (никому не нужен), то его попросту невозможно выполнить. Если команда может делать проект, но пользователям он не нужен, то такого проекта не будет – разве что члены команды будут работать бесплатно и будут исполнителями также и других ролей (инвесторов, владельцев, пользователей, клиентов и т.д.). Почему важно определить наиболее важных стейкхолдеров инженерного проекта, а не ограничиваться единственным стейкхолдером – заказчиком? Ответ на это вопрос простой – заказчик субъективен в своих требованиях к разрабатываемой системе. Если пытаться выполнить требования заказчика и не работать с другими стейкхолдерами проекта, то резко возрастает риск провала проекта.

Список стейкхолдеров определяется особенностями инженерного проекта. В качестве примера наиболее распространённых типов (групп) стейкхолдеров можно использовать те, которые упоминаются в стандартах системной инженерии (ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288:2005, ISO/IEC 29148:2011, ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207:2010, OMG Essence), Своде знаний по системной инженерии (SEBoK) и учебниках по системной инженерии:

- приобретающая сторона, или покупатель (*acquirer*) - организация или физическое лицо, которое приобретает или получает (*procures*) продукт или услугу от поставщика. Приобретающей стороной может быть: покупатель, заказчик, владелец, оптовый покупатель;
- заказчик, или клиент (*customer*) – организация или физическое лицо, получающее продукт или услугу;
- разработчик (*developer*) – организация или физическое лицо, которое выполняет задачи разработки, включая анализ требований, проектирование, тестирование в течение всего жизненного цикла;
- поставщик (*supplier*) – организация или физическое лицо, которое вступает в соглашение с приобретающей стороной на поставку продукта или услуги;
- пользователь (*user*) – лицо или группа лиц, извлекающих пользу в процессе применения системы;

- производитель (*producer*) – представитель, ответственный за выполнение работы; лицо, ответственное за выравнивание расписания, бюджета и ограниченность ресурсов, чтобы удовлетворить клиентам;
- сопровождающая сторона (*maintainer*) – организация или физическое лицо, выполняющее поддержку системы на одном или нескольких этапах жизненного цикла; организация, которая осуществляет деятельность по сопровождению;
- ликвидатор (*disposer*) – организация или физическое лицо, выполняющее ликвидацию (изъятие и списание) рассматриваемой системы и связанных с ней эксплуатационных и поддерживающих служб;
- аккредитор, или инспектор (*accreditor*) – организация или физическое лицо, выполняющее проверку системы на соответствие требованиям в процессе сдачи системы в эксплуатацию;
- регулирующий орган (*regulatory bodies*) – организация или физическое лицо, проверяющее систему на соответствие требованиям в процессе эксплуатации;
- остальные – персонал поддержки (*supporters*), инструкторы (*trainers*), операторы (*operators*) и др.

Ключевых стейкхолдеров проекта принято рисовать на луковичной диаграмме, которая состоит из нескольких концентрических кругов, напоминающих луковицу в разрезе (рис. 2.8).



Рис. 2.8. «Луковичная» диаграмма стейкхолдеров проекта

Центр луковичной диаграммы соответствует проектируемой системе, а слой над центром диаграммы – системам, с которыми проектируемая система, взаимодействует. Таким образом, каждый следующий слой определяет все более общую систему по отношению к

проектируемой. На диаграмме изображены наиболее важные стейкхолдеры, имеющие отношение к проекту. В центре луковичной диаграммы указана команда проекта (разработчики) и стейкхолдеры, имеющие непосредственной отношение к эксплуатации система. Внешние стейкхолдеры во внешних кругах.

В рамках проектного подхода выделяют стейкхолдеров внешних по отношению к проекту и команду проекта. В команду проекта входят следующие стейкхолдеры:

- менеджер проекта;
- команда управления проектом;
- члены команды проекта;
- офис управления проектом;
- поставщики проекта.

Внешние стейкхолдеры:

- кредиторы компании;
- акционеры компании;
- менеджеры компании;
- бизнес партнеры компании;
- сотрудники компании.

Хорошим способом первичного анализа стейкхолдеров служит метод Г. Саважа. Метод основан на оценке стейкхолдеров с точки зрения их отношении к проекту – представлять определенные угрозы проектным событиям или вступать во взаимодействие в интересах общего дела. В итоге Г. Саваж [15] предлагает в зависимости от оценки выбирать одну из типовых стратегий: «Вовлечение», «Взаимодействие», «Наблюдение» и «Защита» (рис. 2.9).

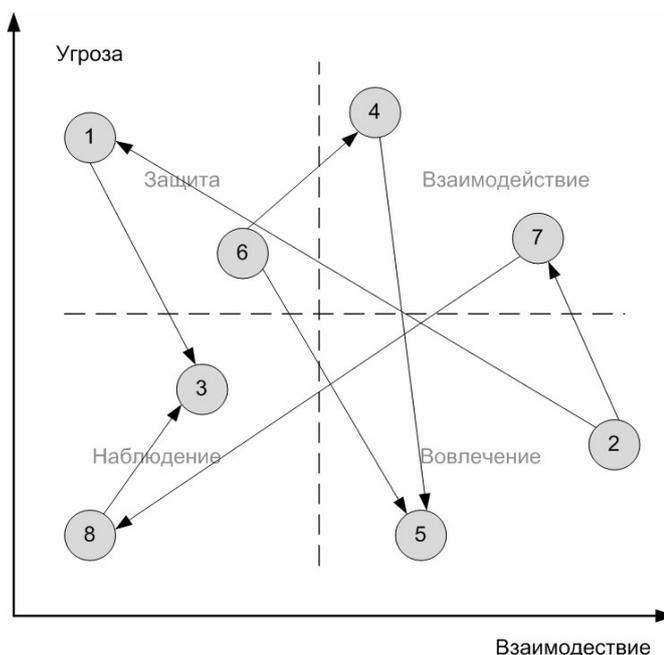


Рис. 2.9. Анализ стейкхолдеров по методу Г. Саважа

Благодаря этой логике строится матрица анализа стейкхолдеров, представляющая график-таблицу с четырьмя названными выше секторами. Если диагностика показывает стейкхолдера с невысоким уровнем готовности к кооперации и низкой степенью угрозы, выбирается стратегия наблюдения за стейкхолдером и отслеживания ее динамики. Когда стейкхолдер стремится к взаимодействию, но при этом несет в себе большие угрозы проекту, целесообразно избирать активное взаимодействие с ним.

Кроме влияния, которое стейкхолдеры могут оказывать на проект, они имеют определенные интересы (*concerns*), причем один стейкхолдер может иметь несколько интересов, разные стейкхолдеры – один интерес. Пример обобщенного списка интересов, разделенного на две части, имеет вид:

- общесистемные свойства: бизнес-цели и стратегия, характеристики системы, структура, поведение, сложность, способность эволюционировать, открытость, согласованность, автономность, функциональность, целесообразность использования, интеграция подсистем;
- показатели качества: производительность, эффективность использования ресурсов, информационное обеспечение, стоимость, сроки, качество обслуживания, гибкость, модифицируемость, модульность, взаимодействие между процессами, доступность данных, обеспечение, надежность, безопасность, ремонтпригодность.

Предметные интересы стейкхолдеров – важный элемент в инженерном проекте – требования к целевой системе. На основе согласованных требований к системе системные архитекторы смогут сделать описание будущей системы и согласовать это описание со стейкхолдерами. Вопросы описания системы и учета требований стейкхолдеров в описаниях будут рассмотрены в гл. 4 «Определение целевой системы».

2.4. Холистический подход к описанию систем

Одним из недостатков в общепринятом определении системы является то, что оно направляет наше внимание на составные элементы этой системы, что соответствует принципу редукционизма - разделение целого на части и попытке определить целое через свойства его элементов. Системная инженерия построена на понятии холон. *Холон* – система (или явление), представляющая собой часть большей системы, но вместе с этим представляющееся целым, т.е. состоящим из своих частей.

Холистический взгляд на систему позволяет построить *холархию* – совокупность холонов разных уровней от рассматриваемой системы.

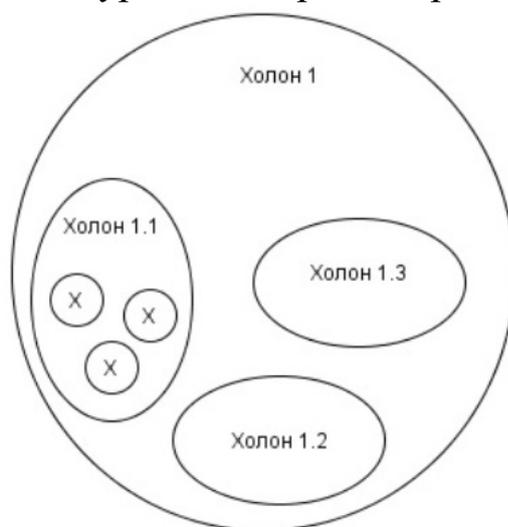


Рис. 2.10. Модель холархии

Цель использования понятия холонов заключается в приоритетном рассмотрении совокупности объектов как целого, а не отдельных элементов системы. Отличие холистического и редукционистского подходов наглядно можно продемонстрировать на схеме (рис. 2.10). Пусть объект 1.1 является анализируемой системой. При использовании холистического подхода для анализа объекта «Холон 1.1» будут заданы следующие вопросы:

- Каково назначение данного объекта в составе объекта «Холон 1»?
- Как взаимодействует объект «Холон 1.1» с другими объектами – «Холон 1.2» и «Холон 1.3» в достижении своего назначения?
- Насколько эффективно составные части объекта «Холон 1.1» обеспечивают его целостные свойства (назначение) и взаимодействие с объектами «Холон 1.2» и «Холон 1.3».

При использовании редукционистского подхода вопросы будут принципиально другими:

- Из каких объектов состоит «Холон 1»?
- Каковы свойства этих объектов?
- Как взаимодействуют объекты «Холон 1» между собой?

Если в первом случае анализ будет подчинен целостному свойству объекта «Холон 1.1», то во втором случае внимание будет сосредоточено на свойствах отдельных элементов объекта «Холон 1.1». Редукционизм и холизм, как анализ и синтез, рассматриваются как два комплементарных (противоположных) познавательных приема, эффективных при решении соответствующих проблем. С одной стороны, редукционизм позволяет решать структурные задачи и находить решения, повышающие эффективность работы элементов. В свою очередь, холистический подход

важен с точки зрения эффективности системы в составе более общей системы.

Классификация систем

Холистический подход положен в основу классификации систем в стандарте ISO 15228 Системная инженерия (*System engineering*) - Процессы жизненного цикла систем (*System life cycle processes*) [16]. В тексте самого стандарта термин «холархия» не упоминается, а используется более известный термин «иерархия», однако в стандарте рассматриваются взаимодействие систем разного уровня, что ориентирует на использование холистического подхода. Наглядным примером холистического представления системы является рисунок из этого стандарта (рис. 2.11), на котором рассматривается самолет в среде его использования.

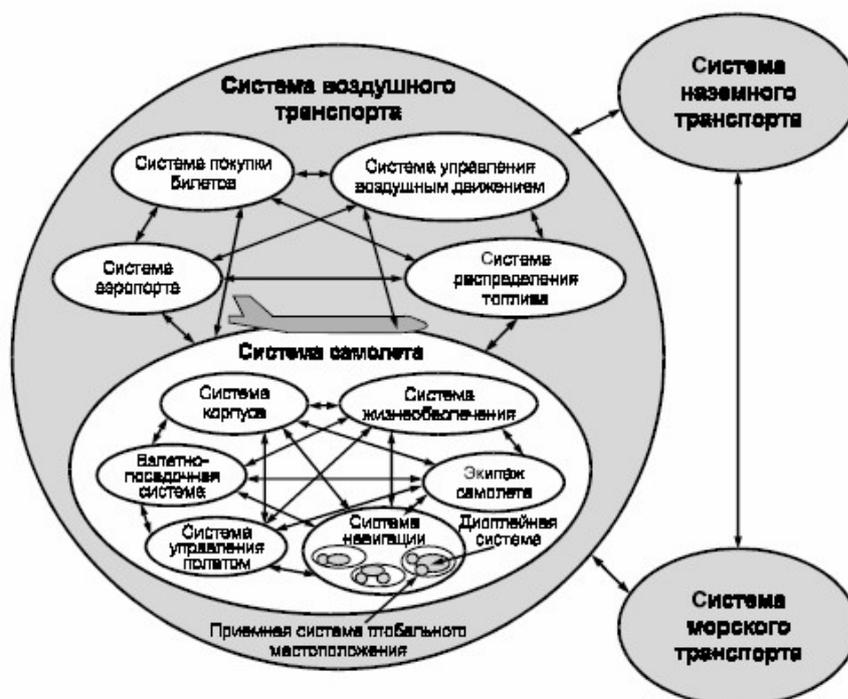


Рис. 2.11. Представление самолета в среде его использования (из стандарта ISO 152288)

В приложении D данного стандарта даны концепции, на основе которых построен стандарт:

- системные концепции: системы, структура системы, иерархия систем и проектов, обеспечивающие системы;
- концепции жизненного цикла системы: модель жизненного цикла, стадии жизненного цикла, стадии рассматриваемой системы и обеспечивающих ее систем;
- концепции процесса: процессы жизненного цикла, ответственность и соглашения внутри и между организациями, применение процессов.

В системной инженерии используется следующая классификация систем, основанная на стандарте ISO 152288 (рис. 2.12):

- целевая система (*system-of-interest*) – подлежит созданию (или модернизации) командой инженеров и рассматривается на всём протяжении жизненного цикла, например, насос;
- система в операционном окружении, система в эксплуатационной среде/операционном окружении (*system in operational environment*) – одна из систем, окружающих целевую систему в момент её эксплуатации, например, трубопроводная система, к которой подключён насос во время эксплуатации;
- использующая система (*using the system*) – система, которая в своей работе объединяет целевую систему и системы в операционном окружении для достижения своего назначения, например, котельная, использующая трубопроводную систему и насос;
- обеспечивающие системы (*enabling systems*) – системы, которые создают и поддерживают целевую систему в ходе её жизненного цикла. Примерами обеспечивающих систем могут быть: цех (производит насос), организация (эксплуатирует насос в составе котельной).

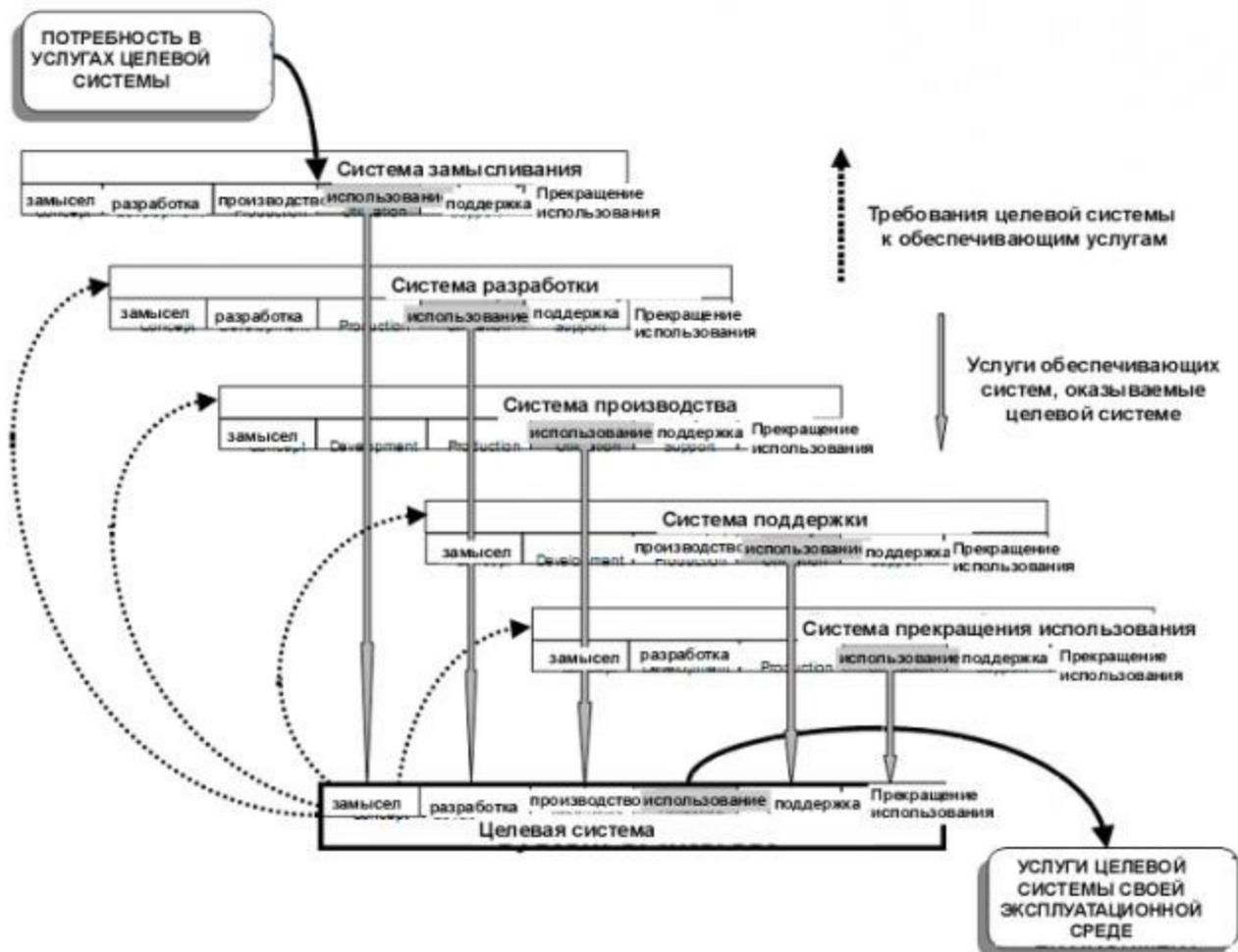


Рис. 2.12. Обеспечивающие системы для целевой системы

(из стандарта ISO 152288)

Любую систему можно классифицировать либо как целевую, либо как обеспечивающую, либо как систему в операционном окружении. Все зависит от интереса конкретного стейкхолдер. Цех как обеспечивающую систему, которая производит насос, тоже кто-то проектировал и строил. Инжиниринговая компания, которая проектировала и строила цех, тоже была кем-то создана – и она тоже обеспечивающая система по отношению к цеху. Диаграмма (рис. 2.12) показывает существование множества обеспечивающих систем, которые на стадии своей эксплуатации (*operation*) выполняют работы по обеспечению (*enabling*) той или иной стадии жизненного цикла целевой системы. Сама же целевая система на стадии своей эксплуатации работает в составе систем своего операционного окружения, выполняя свою функцию.

Основным достоинством стандарта ISO 15288 является то, что он ориентирует аналитика на последовательное выявление систем, начиная с целевой системы, и затем всех систем, имеющих отношение к целевой (анализируемой) системе (рис. 2.13).

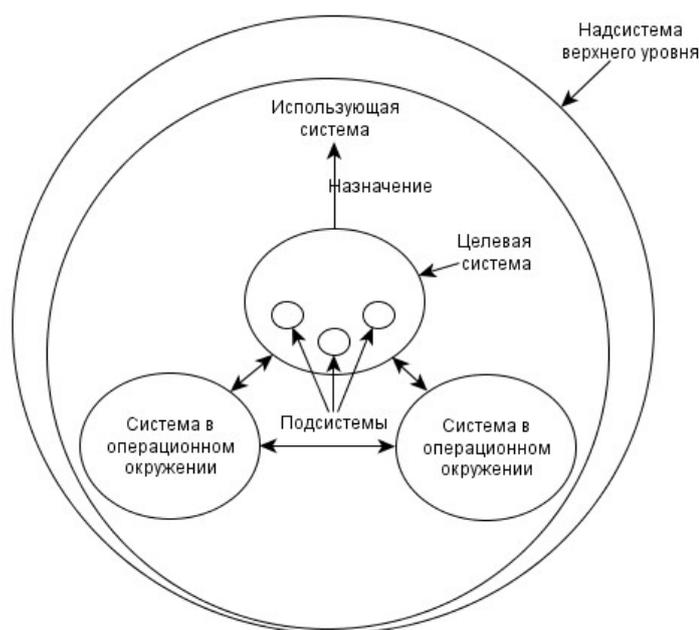


Рис. 2.13. Холархия систем в системном исследовании

Отсюда можно сделать практический вывод – при проведении системного анализа необходимо точно определить целевую (анализируемую) систему. Определение целевой системы должно быть основано на осознании своего интереса к проблемной ситуации, т.е. того, в чем действительно мы хотим разобраться. Насколько осозанным и точным будет ответ на этот вопрос, определяет эффективность всего системного изучения проблемы. На втором этапе необходимо определить назначение целевой системы в составе использующей системы. Наибольшую сложность на этом этапе представляет определение

ближайшей надсистемы по отношению к целевой системе, так как формально вся холархия систем над целевой системой может рассматриваться как использующие системы. Заключительным этапом определения целевой системы является определение систем в операционном окружении.

2.5. Множественность аспектов рассмотрения системы

При анализе объектов реальности с системной точки зрения необходимо учитывать, что в системе можно выделять различные аспекты и рассматривать их отдельно от других аспектов. Рассматривая физически сложные объекты, принято выделять в них два аспекта: функцию и конструкцию.

Функция системы – это ее назначение, то, для чего она создана, где она используется. Функция системы соединяет ее с окружающим миром, т.е. указывает, в каких других системах она используется. Карандаш с системной точки зрения это объект, используемый для создания изображений на бумаге. Отсюда назначение карандаша – создавать изображение на бумаге. Пока карандаш не используется, он не может проявить свое назначение. Как только человек, умеющий пользоваться карандашом, возьмет его в руку и проведет грифелем по бумаге сразу становится понятным основная функция карандаша – создавать изображение на бумаге.

Когда мы встречаемся с незнакомым нам объектом, то мы всегда просим показать, как он работает. Это позволяет понять назначение объекта. Пока мы не увидим использование объекта, наши знания о нем ограничатся знаниями о форме объекта и его размерах, а этого совершенно недостаточно для использования объекта. Таким образом, функция объекта является абстрактным понятием. Его невозможно увидеть в самом объекте, функция проявляется только в действии. Необходимо учитывать, что термин «функция» используется в разных значениях: как активность (действие), как роль в деятельности, как назначение физического объекта, которую этот объект играет в активности, как указание на связь между аспектами (факторами), как математическое отношение между числовыми объектами. Смысл слова раскрывается через контекст, в котором оно употребляется. Системная инженерия очень требовательна к использованию слов, особенно таких многозначных, как «функция».

В большинстве случаев нам достаточно знать назначение объекта, уметь пользоваться им и нас совершенно не интересует, из чего сделан объект, каков принцип его работы, из каких материалов выполнены составные части объекта. Однако ситуация меняется, если перед нами

стоит задача изготовить объект, тогда общих сведений об объекте будет недостаточно, а нужны знания о внутреннем устройстве объекта.

Системная инженерия требует умения видеть в объекте как его функцию (назначение), так и конструкцию – те его составные части, из которых сделан объект, и взаимодействие которых обеспечивает возможность объекта выполнять свою функцию. Такое многомерное «видение» для системного инженера необходимо, так как функция и конструкция конкретного объекта неразрывно связаны между собой. Связь эта объясняет появление эмергентности системы. Под эмергентностью понимают возникновение у системы особых свойств, которых нет у элементов системы. Главное эмергентное свойство системы – ее функция (назначение) создается определенной взаимосвязанностью ее элементов.

Диаграмма «Гамбургер»

Одной из самых полезных моделей, используемых в системном мышлении, является диаграмма «Гамбургер» [17]. Эта модель позволяет в наглядной форме выделить в объекте его функцию и конструкцию, представить в одной модели два аспекта рассмотрения объекта. Модель объекта «Гамбургер» состоит из верхней и нижней половин (рис. 2.14).

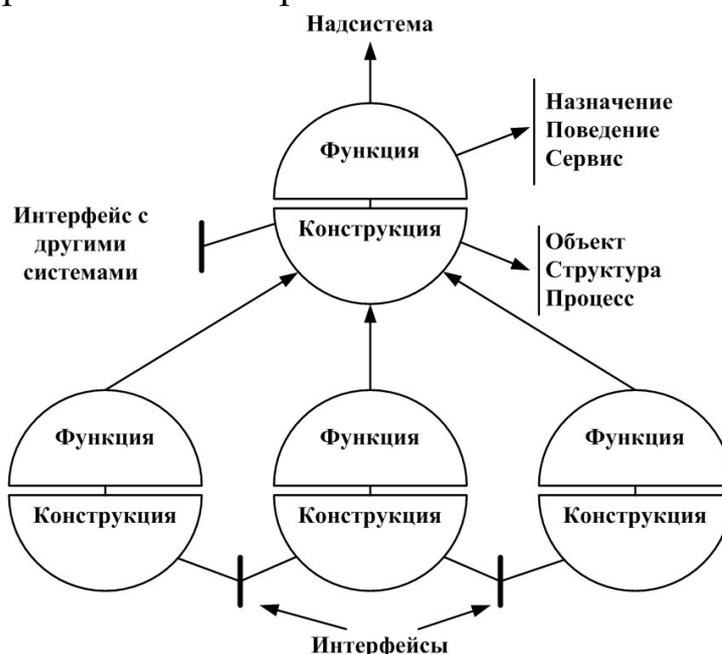


Рис. 2.14. Модель системы «Гамбургер»

Верхняя половина «Гамбургера» обозначает функцию системы. Синонимами функции системы являются: назначение и поведение системы или сервис, предоставляемый системой. Каждый из этих терминов будет использоваться в разных контекстах: когда речь идет о разных аспектах рассмотрения системы, то рациональнее использовать понятие «функция» (как противопоставление понятию конструкция),

когда противопоставляются целевая и использующая система, то рациональнее использовать понятие «назначение системы». Термин «поведение» системы будем считать менее строгим определением (бытовым), однако его используют достаточно часто. Термин «сервис, предоставляемый системой», используется в обсуждении систем в рамках сервис ориентированной архитектуры. При этом сервис – это внешнее поведение системы как модуля (конструкции).

Нижняя половина гамбургера обозначает конструкцию системы – из чего сделана система, ее основные физические элементы (объекты), структуру системы и процессы. Конструкция системы реализуется в некоторой структуре, состоящей из объектов и подсистем, каждая из которых может быть описана своим «Гамбургером». Подсистемы взаимодействуют между собой, т.е. участвуют в процессах. Связи между подсистемами реализуются через интерфейсы – специальные устройства, обеспечивающие возможность взаимодействовать разным подсистемам. Через назначение система связана с вышестоящей системой (надсистемой). В соответствии со своим назначением рассматриваемая (целевая) система взаимодействует с другими системами, входящими в надсистему. Это взаимодействие реализуется через специальные интерфейсы.

Модель «Гамбургер» позволяет продемонстрировать важное свойство мысленного разделения объекта на функцию и конструкцию – относительную независимость функции и конструкции. Эта относительная независимость позволяет рассматривать разные варианты конструкций для реализации одной функции и разного использования одной конструкции для реализации разных функций (рис. 2.15).

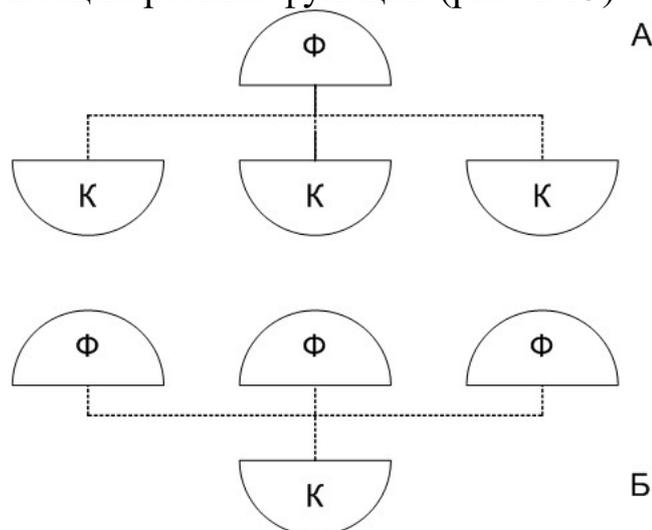


Рис. 2.15. Независимость функции (Ф) и конструкции (К) в модели «Гамбургер»

Из рис. 2.15 следует, что:

- А – функция может быть реализована разными конструкциями;

- Б – одна конструкция может выполнять разные функции.

Относительная независимость функции и конструкции объекта широко используется в практической деятельности. Все приемы проектирования основаны на определении потребности в системы и на основе этих потребностей определении основных функций. На последующих этапах разработки изделия конструкторы ищут эффективные способы реализации этих функций – определяют конструкцию изделия. Существует и обратный процесс – на основе стандартных деталей реализовать разные функции. Наиболее ярко данный принцип используется в микроэлектронике.

2.6. Междисциплинарный подход

Кроме множественности точек зрения на систему, в системной инженерии большое значение имеет множественность специальностей, принимающих участие в крупных инженерных проектах, множественность дисциплин, на языке которых разговаривают специалисты. Междисциплинарный подход в системной инженерии выдвигает специфическое требование к системным инженерам – умение работать со всеми остальными предметными как инженерными специальностями, так и любыми другими специальностями, участвующими в общем проекте.

Терминология и онтология

Проблемой является то, что в каждой специальности существуют наборы специальных терминов, которые в этой специальности имеют определенные значения, т.е. обозначают какие-то объекты и их отношения. К проблеме языков разных специальностей имеют отношение две науки: терминология и онтология. Задача онтологии – понять, как и почему выделяют в мире те объекты и отношения, которые обозначаются терминами. Различие в следующем: терминология – это про язык и слова, онтология – это про реальный мир и его объекты.

В области терминологии различают специальные группы людей – речевые сообщества (*speech communities*) и сообщества значений (*semantic communities*) (рис. 2.16). Людей в речевом сообществе объединяют естественный язык (русский, японский, немецкий и т.д.) и специальное подмножество словаря этого языка – терминология конкретной предметной области. Так как инженеры-специалисты учатся по разным учебным программам, изучают свои дисциплины, в которых используются особые термины, то каждая специальность образует особое речевое сообщество. Поэтому при общении инженеров разных специальностей достичь однозначного соглашения по терминологии даже в области общих интересов очень трудно. Сообщество значений (*semantic*

commuinity) – это совокупность людей, которые одинаково понимают суть окружающих предметов и явлений. Значение разных терминов, относящихся к одному объекту реальности, изучает семантика.



Рис. 2. 16. Речевые сообщества

Семантика – это наука о связи разных терминов с общими для разных людей и ситуаций значениями из реального мира, поэтому перевод термина *semantic community* означает «сообщество значений».

Если люди в мире видят одинаковые понятия – они принадлежат к одному сообществу значений. А использование одинаковых терминов для определённых понятий означает принадлежность к одному речевому сообществу. Сообщество значений всегда разбито на речевые сообщества. Профессиональные сообщества часто являются и речевыми сообществами, причем терминология может существенно отличаться не только для разных профессий, но и разных групп внутри одной профессии.

В рамках одного инженерного проекта целесообразно принять правила использования терминов в практической деятельности. Можно рекомендовать два варианта решения этой проблемы:

- определять набор терминов в специальном документе «Тезаурус проекта» по схеме: «<Понятие> – означает следующее...». Во всех документах проекта использовать данное понятие в том значении, которое принято в глоссарии и разрешить использовать синонимы этого понятия по схеме: Понятие/Синоним 1/Синоним 2;
- в каждом документе проекта иметь собственный список используемых понятий, что позволит определить содержание этого понятия в рамках данного документа.

Проблема общения существует не только между разными специалистами, но и между разными информационными системами, используемыми в инженерных проектах. При создании и эксплуатации крупных промышленных объектов (нефтяных платформ, электростанций, химических производств, фармацевтических предприятия и т.п.) занято множество организаций: проектировщики, строители, поставщики

оборудования, службы эксплуатации и т. д., каждая из которых обычно использует свой набор компьютерных систем и свои форматы данных. Большинство разработчиков инженерных информационных систем (CAD/CAM/CAE/PLM) используют объектные модели данных и стандартные реляционные базы данных. Многолетние попытки объединения инженерных информационных систем на единой платформе пока не увенчались успехом. Одной из проблем объединения информационных систем является принципы классической реляционной теории моделирования данных, заключающихся в жестких границах между сущностями, атрибутами и связями. При объединении множества реляционных баз данных информационных систем разных производителей возникает проблема междисциплинарности – все производители принимали разные решения при моделировании основных понятий предметной области.

Решение проблем интеграции инженерных данных может быть достигнуто в рамках семантического подхода к моделированию данных – RDF (Resource Description Framework). В рамках этого подхода [18] информация предоставляется в виде совокупности связанных отношениями субъектов и объектов (графа) (рис. 2.17).

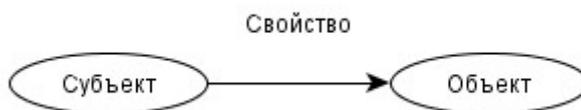


Рис. 2.17. Основные элементы семантической модели

Модель данных представляет собой граф, соединяющий совокупность понятий определенной предметной области. Пример описания совокупности понятий предметной области «Книга» дан на рис. 2.18.

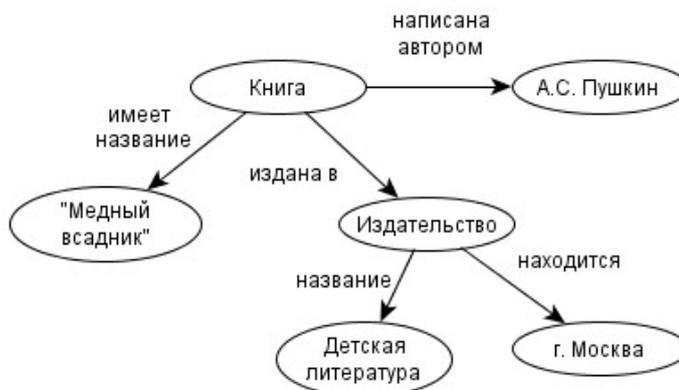


Рис. 2. 18. Пример семантической модели

Графовая структура модели данных наиболее удобна для представления разнородной инженерной информации, требующей

постоянного развития и усложнения модели данных на протяжении всего жизненного цикла. Информация в семантической форме легко пополняется и расширяется при появлении новых источников, без необходимости фундаментальной переработки системы хранения, как в случае баз данных, основанных на реляционной модели данных.

Дополнительные преимущества при работе с семантическими данными даёт применение онтологических стандартов, позволяющих не просто получать информацию из разных источников в одном гибком и расширяемом формате, но и одинаково её интерпретировать. При онтологическом моделировании данных в семантическом представлении используются понятия и отношения из заранее согласованного (определённого каким-то стандартом) списка понятий и отношений, описывающего некоторую предметную область инженерной сферы (механику, электрику, гидравлику, строительство, и т.п.). Например, один раз вводятся понятия «насос», «давление» или «подключение», и далее универсальные ссылки на такие понятия стандартного словаря-тезауруса используются всеми сторонами для описания объектов, извлекаемых из разнообразных баз данных.

Онтологическая модель данных является составной частью самих данных – понятия стандартного словаря – тезауруса (так называемые «справочные данные») используются для описания смысла и способов использования данных при обработке их как компьютерами, так и людьми. При необходимости уточнить смысл полученных данных можно из заранее известных источников (библиотек справочных данных) и с использованием тех же стандартизированных технологий и инструментов, которые применяются для обмена данными

Современные решения по моделированию данных легли в основу нейтральной по отношению к отдельным инженерным системам модели данных стандарта ISO 15926 [19]. Этот стандарт определяет инженерную онтологию – основные типы объектов и отношений, используемых при представлении инженерной информации, упорядочивает терминологию, используемую для её организации, а также определяет принципы расширения стандартной терминологии через механизм нормативных библиотек справочных данных.

2.8. Онтология системного мышления

Онтология системного мышления даёт ответ с точки зрения системного подхода на вопрос «Что есть в мире». Этот ответ основан на инженерных и менеджерских стандартах, публичных документах и предполагает в качестве главного ответа, что мир состоит из систем. Исходя из этой предпосылки люди, освоившие системное мышление,

начинают видеть мир как взаимодействующие друг с другом системы, а в разных документах – описания систем. К основным понятиям онтологии системного подхода [10] относятся:

- ❖ привязка к физическому миру – 4D экстенционализм:
 - 4D индивид, занимающий место в пространстве-времени;
 - воплощение против описания индивидов;
 - изменения (процессы, проекты, кейсы) как 4D индивид;
 - события как 3D индивид;
 - функциональный (ролевой) объект как индивид;
 - софт как 4D индивид (исходный код как описание софта-индивида);
 - предприятие как 4D индивид;
 - полная темпоральная часть индивида;
 - экстенционализм: совпадение двух объектов в пространстве-времени – это один объект;
 - отношение состава (*composition*, часть-целое) в 4D;
 - холоны (многоуровневая декомпозиция);
- ❖ деятельность субъективности определения системы:
 - деятельность (в отличие от действий – критерии культурной обусловленности, повторяемости), театральная метафора;
 - стейкхолдер как действующее лицо (роль);
 - стейкхолдерский интерес и аспекты;
 - успешная система;
- ❖ холархия воплощения системы:
 - системы против систематики («система Линнея») и методологии («система Станиславского»);
 - холон (уровень системы);
 - эмерджентность;
 - виды систем: целевая, подсистема, использующая, в системном окружении, обеспечивающая;
 - имя системы (по функции);
 - модели систем: чёрный и прозрачный ящики;
 - требования, потребности, ограничения, архитектура;
 - проверка и приёмка;
- ❖ определение и описание системы:
 - определение (*definition*) системы;
 - рабочий продукт;
 - описание системы (*description*);
 - потребности (стейкхолдеров);
 - частное описание (*view*);
 - метод описания (*viewpoint*);

- модель, метамодель, мультимодель, мегамодель:
- прожекторный и синтетический подходы к описанию систем;
- ❖ компоненты, модули, размещения:
- разбиения: компонентные, модульные, размещения;
- описания: компонентные, модулей, размещения;
- компонента: порт, связи;
- модуль: интерфейс, платформа;
- размещение;
- архитектурное решение, требование, описание;
- архитектурный синтез (логической и физической архитектур)
- ❖ жизненный цикл системы 2.0:
- жизненный цикл системы, проекта;
- стадии жизненного цикла;
- практика, метод/методология;
- дисциплина;
- технология;
- вид жизненного цикла, водопад, спираль;
- V-диаграмма;
- ❖ системная схема проекта (стандарт OMG Essence):
- альфа, подальфа;
- основные альфы: стейкхолдеры, возможности, воплощение системы, определение системы, работы, команда, технологии;
- зоны интересов: клиентская, инженерная, предприятия;
- состояния альфы как контрольные точки, контрольные вопросы.

Эта онтология системного подхода удивительно компактна: самый сложный мир самых разных ситуаций представляется относительно небольшим числом понятий, а сам набор этих понятий выбран так, чтобы мир представлялся менее сложным, чтобы о мире было проще мыслить. Учебник в последующих разделах подробно описывает эту онтологию, связи между всеми её сущностями, особенности проведения рассуждений об этих сущностях и их связях. Именно на эту онтологию опирается инженерное, менеджерское и другое предметное мышление, когда говорят об его опоре на системный подход.

2.7. Многоаспектное восприятие целого

Ключевым понятием системного подхода является целостность системы. Основное свойство целостной системы – наличие эмергентных свойств у системы. Умение сохранять видение целого на любом этапе системного исследования или проектирования является необходимым условием системного подхода. Однако целое не является чем-то

однозначным, восприятие целого подчиняется общему закону системного подхода – многоаспектности. Принято различать два вида целого:

- по отношению часть-целое (разбиения) – система представляется состоящей из частей и сама является частью другой системы. Наиболее полно такое представление выражено в понятии холярхия и при работе с физическими объектами (в этом случае используется экстенциональный подход);
- целое, проявляющее себя в разных аспектах (ипостасях). В системном подходе аспектность в рассмотрении целого проявляется в междисциплинарности при работе с описаниями системы. В данном случае используется интенциональный подход.

Кроме рассмотренных двух видов целого, необходимо одновременное удерживание в мышлении разных аспектов рассмотрения этого целого:

- разного представления о системе разными стейкхолдерами;
- холярхии, в которой находится целевая система;
- функционального и конструктивного аспектов системы;
- разного обозначения одного понятия в разных дисциплинах.

С системной инженерии используются разные совокупности аспектов рассмотрения систем:

- функциональные и физические объекты – стандарт ISO 15926 [19];
- функция, продукт, место – стандарт IEC 81346 [20];
- компоненты, модули, размещения – книга Р. Clements др. «Documeting Software Architectures: Views and Beyond (2nd edition)» [21];
- функциональный элемент, компонента (модуль), размещение - книга А. Косякова, У. Свита [22].

В разных источниках предлагается свой вариант выделения аспектов и свои названия этих аспектов. Наибольшее распространение в системной инженерии получило выделение трех аспектов: компонент, модулей и размещений [20].

Разные стейкхолдеры будут видеть в системе разные аспекты (рис.2.19). Например, кладовщика будет интересовать размещение определенного узла изделия, а проектировщик будет разрабатывать конструкцию некоторой детали для совершенно другого узла, дизайнера будет интересовать внешний вид всего изделия.

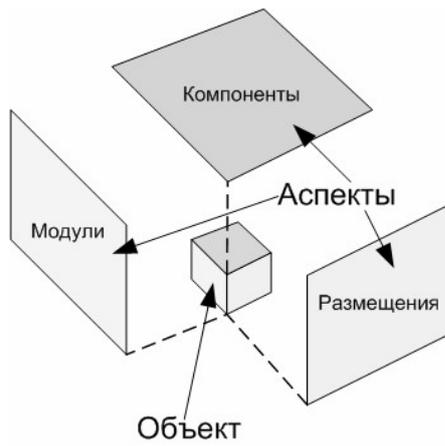


Рис 2.19. Основные аспекты рассмотрения объекта

Кроме того, разные стейкхолдеры, интересующиеся одинаковыми аспектами, будут видеть разные проекции одной системы на этот аспект. Однако системный инженер в своем мышлении должен воспринимать эту систему целостной по структуре, холистичной, целостной во всех своих аспектах.

3. ВЫЯВЛЕНИЕ СИСТЕМ В РЕАЛЬНОСТИ

Системная инженерия построена на основе базового принципа – во всех обсуждениях по проекту речь идет о реально существующей материальной системе – системе, воплощенной в реальность в настоящем или в будущем. Обсуждение реально существующих систем исключает разговоры вообще о системах, в которых сталкиваются мнения участников обсуждения. Только наличие общей задачи построения системы в реальности позволяет сфокусироваться участникам проекта на поисках решений, которые будут претворены в жизнь.

3.1. Принципы работы со сложными системами

Возрастание сложности современных инженерных систем требует от разработчиков способности оперировать с все большим числом объектов. Это требование вступает в противоречие с ограничением числа объектов, которые человек может удерживать в своем мышлении одновременно. Системная инженерия предлагает при разработке сложных систем использовать несколько специальных принципов.

Базовым принципом работы с разными аспектами одной системы служит «разделение интересов» (*separation of concerns*) [23]. Этот принцип гласит, что при решении сложных проблем необходимо одновременно фокусировать внимание на одном аспекте проблемы и одновременно удерживать в мышлении целостное представление о проблеме. Данный принцип был сформулирован в противовес распространенной практике рассмотрения отдельного аспекта проблемы без учета влияния других аспектов. В системной инженерии данный принцип используется не только для учета разных аспектов одного стейкхолдера, но и для учета точек зрения разных стейкхолдеров.

Важным принципом системного подхода является разделение сложного объекта на составные части как по уровням, так и на отдельные части в пределах одного уровня. При декомпозиции системы необходимо учитывать, что каждая часть системы и каждый ее уровень влияют на остальные части системы (холистичность системы) через эмергентные свойства системы. В итоге, сложность обсуждения системы можно разделить по двум направлениям:

- разделение обсуждения всей системы на обсуждение её отдельных частей по уровням холярхии. Так как каждая часть холона проще, чем холон в целом, поэтому обсуждение может быть унифицировано – выделены общие элементы обсуждения. Специфические свойства холона определяется требованиями (*requirements*) к нему со стороны стейкхолдеров. В этих требованиях определяется внешние свойства

холона как «чёрного ящика»;

- деление полного обсуждения каждого холона на обсуждение отдельных его ипостасей – принципов организации взаимодействия и структуры частей холона. Важнейшие из этих определений – это архитектура (*architecture*) системы в виде «прозрачного ящика».

Таким образом, в рамках системного подхода детальное обсуждение сложных систем разделено на достаточно небольшие части, и ни одна часть этого обсуждения не будет забыта, ни одно описание не будет пропущено. Принцип «разделение интересов» решает еще одну задачу – поддерживает коллективный характер человеческой деятельности за счет разделения как умственной деятельности по проектированию системы, так и физической деятельности по ее изготовлению и эксплуатации. Учет мнения стейкхолдеров при проектировании системы позволяет обеспечить детальное продумывание всех частей системы (холархия) со всех сторон (множественность частных описаний). Объединение самых разных частных описаний самых разных частей системы в одно целое можно сделать только на основании 4D экстенционализма. Все эти описания можно совместить, если понимать, что они описывают одно и то же место в пространстве-времени, относятся к одному и тому же воплощению системы. Без системного подхода сложные проекты с участием большого количества разных специалистов выполнить в срок и с первого раза невозможно.

Сферой применения подхода системной инженерии является преобразование действительности, организованного в виде проекта. При этом сфера деятельности, относящейся к проекту, должна быть представлена с точки зрения системного подхода в виде совокупности систем: целевой (*system-of-interest*), использующей системы (*using the system*), систем в операционном окружении (*system in operational environment*) и обеспечивающей системы (*enabling systems*). Можно представить эту совокупность систем как системную карту проекта (рис. 3.1).

Наличие такой карты значительно облегчает понимание окружения, в котором находится проектируемый объект – целевая система, позволяет выявить те аспекты, которые важны в остальных системах с точки зрения существования целевой системы. Центральным элементом этой карты является целевая система, относительно неё определяются остальные системы.

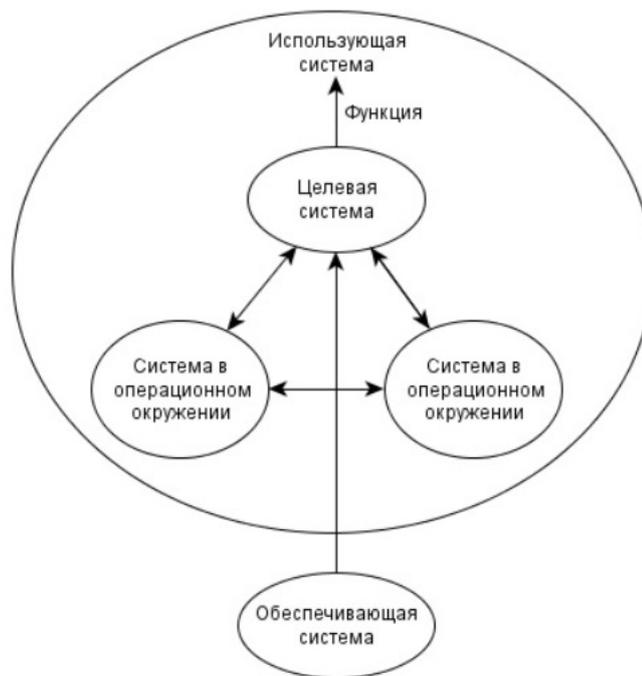


Рис. 3.1. Системная карта проекта

Относительный характер выделения целевой системы можно иллюстрировать следующим примером. Пусть целевой системой для предприятия является станок. Очевидно, что для выпуска этого станка нужна производственная система предприятия, одним из основных элементов которой являются станки. Один и тот же тип объекта (станок) в рамках одного проекта будет рассматриваться и как целевая система, и как элемент обеспечивающей системы.

3.2. Целевая система

Построение системной карты проекта начинается с определения центрального ее элемента - целевой системы, которую можно условно рассматривать как начало координат системного представления проекта. Почему необходимо определять именно целевую систему? Целевая система определяет тот объект реальности, который команда проекта создает, или то, что команда проекта преобразует в реальном мире. Целевая система – центральный объект все деятельности в рамках проекта. Все остальные решения по поводу выделения других систем – использующей, систем в операционном окружении, подсистем, обеспечивающей системы – делаются по отношению к целевой системе.

Важнейшим аспектом в выделении целевой системы является коллективный характер деятельности – наличие стейкхолдеров проекта. Именно стейкхолдеры определяют целевую систему, только учет точек зрения всех стейкхолдеров позволяет договориться в самом важном вопросе – что будет рассматриваться в качестве целевой системы. С другой стороны, каждый стейкхолдер видит свою систему, в полной мере

соответствующую его интересам. Совокупность систем стейкхолдерского интереса образует множество систем, центральным элементом этого множества и будет целевая система (рис. 3.2).

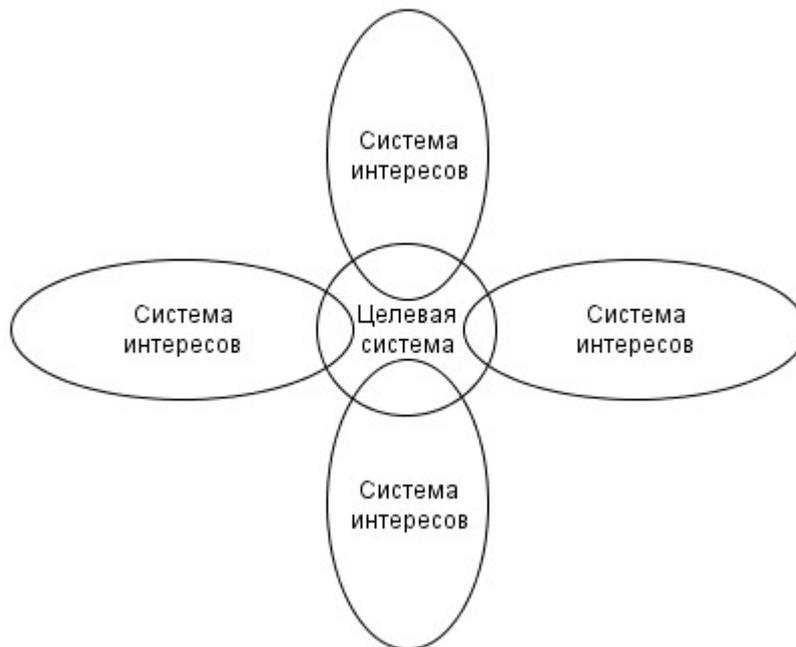


Рис. 3.2. Системы интересов стейкхолдеров и целевая система

Если все стейкхолдеры озабочены созданием единой системы в рамках проекта, то объективно существует возможность договориться о целевой системе проекта. Способы реализации этой возможности будут рассмотрены в гл. «Определение систем». Важно понять, что выделение целевой системы – сложный процесс, требующий анализа многих аспектов проекта, чтения документации и, самое важное, обсуждения со всеми заинтересованными лицами с целью создания единой системы.

Целевая система определяется для команды проекта, что позволяет скоординировать деятельность команды проекта. Если система достаточно сложная, то работы по созданию целевой системы будут распределены между соисполнителями, и отдельная группа будет заниматься отдельной подсистемой (рис. 3.3).



Рис. 3.3. Целевая система и ее подсистемы

Возникает вопрос: «Может быть проще и удобнее для этой группы определить подсистему как свою, маленькую целевую систему?» Нет, целевой системой может быть только все устройство, где та часть, которую делает отдельная группа, является подсистемой. Во-первых, если отдельная группа делает подсистему, это заставит ее лучше разобраться в том, куда эта подсистема будет подключена в полной целевой системе, а значит, проект подсистемы будет скоординирован со всей целевой системой.

И последнее, опыт в разработке систем имеет относительное значение, особенно в вопросе выделения целевой системы. При всей схожести проектной деятельности в разных проектах можно утверждать, что процедуру построения системной карты проекта для каждого проекта правильнее считать уникальной. Это позволяет избежать многих ошибок в случае построения системной карты проекта по аналогии с другими проектами.

Признаки целевой системы

Самым важным критерием, позволяющим выделить целевую систему из ее окружения, является интерес стейкхолдера [10]. Поэтому при выделении целевой системы команда проекта и стейкхолдеры должны договориться, что считать целевой системой. На основе практики системной инженерии сформулированы эвристические правила, помогающие выявить целевую систему среди других в соответствующих холархиях. Слово «выявление» (*discovery*) использовано в том смысле, что целевая система есть, и её нужно только найти/выявить через обсуждения этого вопроса с большим количеством самых разных стейкхолдеров. В этих разговорах речь идет не о целевой системе как таковой, а том интересе, который имеет стейкхолдер. Этот интерес формулируется как требования, совокупность которых позволяет описать целевую систему как «черный ящик». Однако сами по себе требования не определяют целевую систему, необходимо обобщение и осмысление этих требований. Следующий набор эвристических правил может помочь при выявлении целевой системы:

- целевая система – это то, что непосредственно делает команда проекта;
- целевая система – это то, что команда предъявляет стейкхолдерам для приемки в конце проекта;
- целевая система – это то, за что команде проекта платят деньги;
- целевая система – это продукт, который пересекает границу предприятия и идет его поставка (*delivery*) клиенту.

Типичные ошибки определения целевой системы

Наиболее часто встречаются следующие ошибки определения целевой системы [10]:

- считать целевой системой ее описание. Ошибка в том, что целевой системой считается только та, которая имеет воплощение в реальной жизни. Сделать описание не означает сделать;
- считать целевой систем обеспечивающую систему. Это типичная ошибка менеджеров, заключающаяся в том, что будет изменяться обеспечивающая система, а целевая система изменяться не будет. Если такому менеджеру поручить построить авиазавод, то он построит авиазавод, который будет хорошо работать, но его самолёты летать не будут;
- использовать для обозначения целевой системы имени, которое не позволяет выделить целевую систему. Это имя может совпадать с именем использующей системы или части целевой системы;
- свехобобщение – определение целевой системы как универсального объекта, используемого во многих использующих системах. «Где используется ваш сверлильный станок? – В машиностроении»;
- релятивизм - это ошибка тех, кто называет целевой системой то, что не имеет обеспечивающей системы;
- игнорирование того, что первичным в определении любой системы является её основное назначение, функция. Пример такой ошибки – название целевой системы «информационная система предприятия», в котором нет специфического назначения системы, а указано, что система принадлежит предприятию.

Наименование системы

В рамках подхода системной инженерии используется следующее правило наименования системы: название системы должно соответствовать типу (узкому классу) ее основной функции – назначению в использующей системе [10]. При использовании такого правила упрощается понимание системного контекста, так как все элементы этого контекста будут иметь содержательные наименования.

Использование в наименовании класса/тип системы, а не уникальных свойств экземпляров системы фокусирует на общих признаках системы, что упрощает понимания ее сути. В названии часто используются слова, характеризующие систему как «исполнитель деятельности» (сборщик, погрузчик, нарезчик). С другой стороны, в названии системы желательно использовать уточняющие характеристики. Например, название системы «ножницы» характеризует резание, но желательно дать уточнение «ножницы по металлу».

Типичными ошибками в наименовании системы являются:

- перечисление всей возможной функциональности. Вместо «автобус» будет «система посадки, перевозки по автомобильным дорогам, оповещения об остановках и коммуникации водителя и пассажиров, высадки пассажиров и закрывания дверей в целях безопасности»;
- указание не на функцию, а на конструкцию. Вместо «ножницы по металлу» будет «система лезвий, ручек и винта»;
- указание слишком общей функции. «Система разрезания» вместо «ножницы по металлу» или «автотранспортное средство» вместо «автобуса»;
- неоправданное использование слова «система» в названиях. например, «система ножниц по металлу».

Целевая система как продукт

Целевая система часто мыслится как поставляемый продукт. Система изготавливается командой проекта, а затем поставляется его потребителю. И уже у потребителя этот продукт выполняет свою функцию, назначенное ему поведение в ходе эксплуатации. Клиент использует продукт двумя способами:

- в составе своей целевой системы (например, ваши часы-продукт он устанавливает в свой автомобиль-продукт, а затем продаёт автомобиль своему клиенту);
- в составе своей обеспечивающей системы (например, ваши часы-продукт он устанавливает в свой цех на стену, чтобы рабочие могли следить за временем в ходе сборки ими автомобиля. Продаёт же клиенту автомобиль без часов или с какими-то другими часами).

Альтернативное представление продукта – это представление его как целевой системы, принадлежащей клиенту. Например, квартира полностью принадлежит клиенту и требуется произвести ее ремонт. В данном случае обеспечивающая система предоставляет сервис (*service*) – услугу по изменению целевой системы клиента в виде ремонта квартиры клиента.

Внутреннее устройство целевой системы

Завершающей стадией выделения целевой системы является описание ее внутреннего устройства в виде модели «прозрачного ящика». Эта модель включает в себя отдельные подсистемы (на верхнем уровне описания модели) и отдельные элементы, входящие в данные подсистемы. Такая модель называется моделью состава системы. Важнейшим элементом модели являются связи между элементами системы – структура системы. Именно структура системы и определяет эмергентные свойства, через которые реализуется назначение системы. Если в рамках

инженерного проекта поставлена цель создать новую систему, то внутреннее устройство системы будет определено на этапе проектирования системы. Если стоит задача модернизации существующей целевой системы, то перед разработкой проекта совершенствования необходимо сделать описание существующего состояния, а все усовершенствования в системе отобразить в модели «как должно быть». При описании внутреннего устройства целевой системы необходимо выявить все существенные связи целевой системы со всеми системами, составляющими операционное окружение целевой системы.

3.3. Использующая система

Для построения системной карты проекта необходимо определить использующую систему для целевой системы как вышестоящую систему (надсистему) в системной халарихии, с которой целевая система находится в отношении состава/сборки/часть-целое (*composition*) [10]. Отношение часть-целое соответствует тому факту, что во время эксплуатации целевая система будет неотъемлемой частью использующей системы. Никакие другие возможные отношения целевой системы с другими системами (отношения классификации и специализации, принадлежности в части имущества, назначения на роль и т.д.) не позволяют выявить целевую систему. Термин «неотъемлемая часть» означает включение целевой системы как физической части использующей системы.

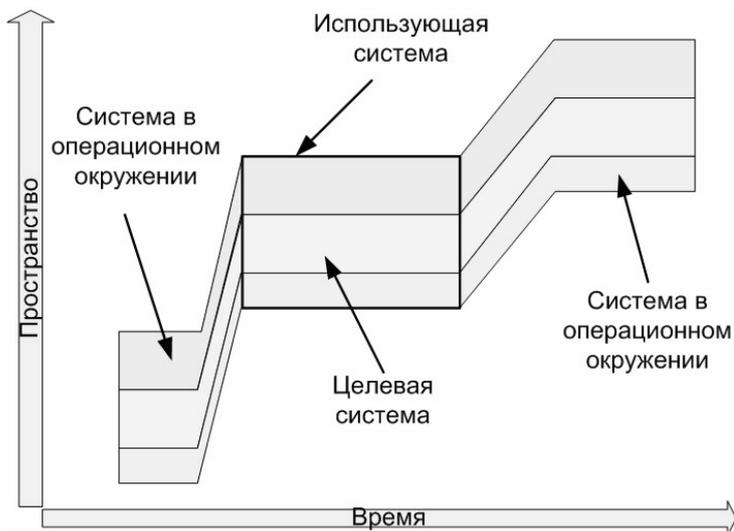


Рис. 3.4. Использующая система как композиция целевой системы и систем в операционном окружении

В терминах 4D экстансионализма ситуация формулируется следующим образом. Полная темпоральная часть использующей системы содержит элемент, который соответствует целевой системе. Остальные элементы полной темпоральной части соответствуют системам в

операционном окружении по отношению к целевой системе. 4D схема использующей системы (рис. 3.4) наглядно показывает, что использующая система – это холон, имеющий составными частями целевую систему и системы в ее операционном окружении. Из этого можно сделать следующий вывод: основное внимание при определении использующей системы необходимо уделять выявлению тех систем, с которыми взаимодействует целевая система, т.е. систем в ее операционном окружении. В нотации IDEF0 [5] использующей системе соответствует блок A0 на обобщенной диаграмме (A-0), а целевой системе и системам в операционном окружении будут соответствовать блоки A1, A2 .. на диаграмме декомпозиции.

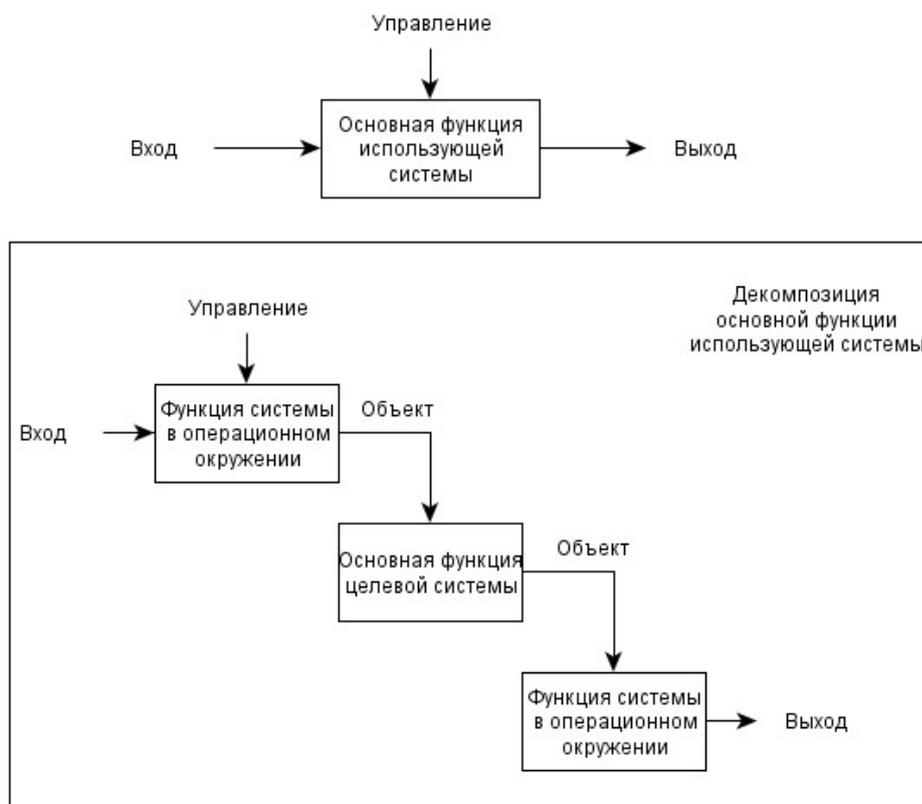


Рис. 3.5. IDEF0 модель использующей системы

Когда возникает задача определения использующей системы, обычно не требуется определить назначение использующей системы, а фокус внимания переносится на взаимосвязи целевой системы с системами в ее операционном окружении. SADT методология ориентирует аналитика проекта на выявление «объективных» связей между элементами системы. Подход системной инженерии делает акцент на выявление связей, соответствующих требованиям стейкхолдеров.

Таким образом, при использовании нотации описания систем IDEF0 будем иметь в виду, что функции использующей системы и связи между ними выявляются в ходе обсуждения системной карты проекта всеми

заинтересованными лицами проекта как аналитиками проекта, так и всеми остальными стейкхолдерами.

Определенную сложность представляет определение наименования использующей системы как обобщенного названия композиции (объединения) целевой системы и систем в операционном окружении.

Признаком использующей системы является то, что команда проекта не уполномочена изменять использующую систему самостоятельно. Чаще всего, команда проекта не может повлиять на использующую систему и должна обеспечить стыковку (соединение) своей целевой системы с имеющимся системным окружением. Однако все чаще возникают ситуации, что, хотя команда проекта не уполномочена изменять системное окружение непосредственно, но она может влиять на использующую систему. В целях согласования характеристик целевой и использующей системы вторая может быть изменена или самостоятельно её стейкхолдерами, или командой проекта по согласованию со стейкхолдерами.

3.4. Обеспечивающие системы

Согласно классификации систем, обеспечивающие системы – это системы, которые создают и поддерживают целевую систему в ходе её жизненного цикла. При выделении обеспечивающей системы необходимо обращать внимание на элементы, непосредственно связанные с выполнением функций создания и поддержки целевой системы. Следует учитывать, что обеспечивающих систем для одной целевой системы будет несколько (рис. 3.6).

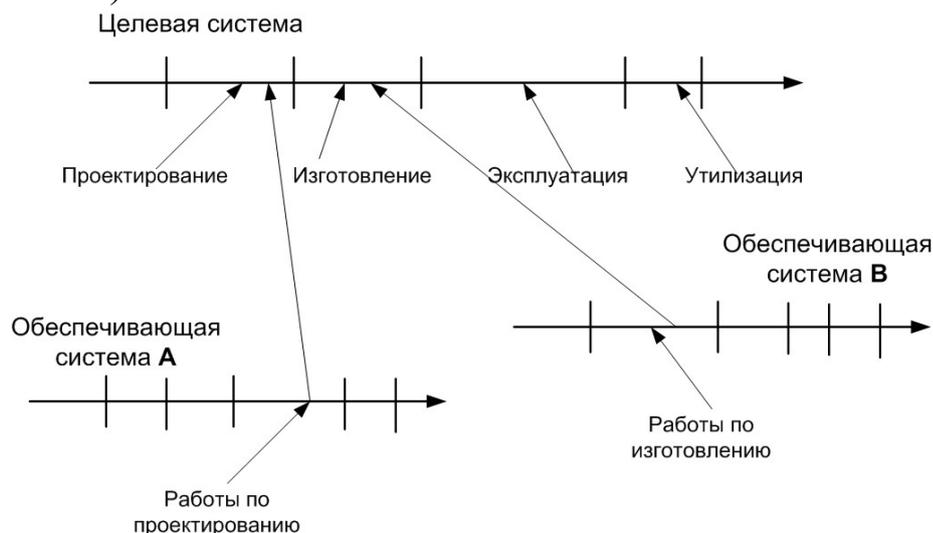


Рис. 3.6. Целевая система и обеспечивающие системы

Количество обеспечивающих систем определяется особенностями целевой системы и тем, как организована работа с данной системой. Например, изделие как целевая система может проектироваться и

изготавливаться. В этом случае для такой целевой системы будет две обеспечивающих системы. Если изделие производится по готовым чертежам, то обеспечивающей системы проектирования не будет.

На стадии эксплуатации целевой системы она связана с системами в операционном окружении, что позволяет выполнять функции в использующей системе. Одним из элементов операционного окружения целевой системы можно считать операторов, которые непосредственно управляют работой целевой системы. Кроме того, целевая система обычно связана с несколькими обеспечивающими, каждая из которых выполняет для нее некоторые работы. Например, для целевой системы предусмотрен цикл работ по техническому обслуживанию и ремонту (ТОиР). Очевидно, что во время проведения этих работ система не может выполнять свои функции – она выводится из эксплуатации на время проведения ремонта. Таким образом, параллельно во времени со стадией эксплуатации периодически возникает дополнительная стадия жизненного цикла целевой системы, которая называется стадией обслуживания и ремонта.

По аналогичной схеме необходимо рассматривать стадию модернизации, целевую систему изменяют для достижения других, более высоких характеристик, чем у неё были первоначально. Модернизацией тоже занимается специальная обеспечивающая система, а не находящиеся в операционном окружении люди – это другая стадия жизненного цикла. Конечно, в производственной системе Тойота существуют кружки качества – небольшие добровольные объединения работников (6 – 12 чел.) непосредственно на рабочих местах, которые занимаются постоянным совершенствованием производственных процессов, элементом которых является целевая система. Однако даже здесь совершенствованием процессов работники заняты не в то время, когда эксплуатируется целевая система. В этом случае такую рабочую ячейку нужно рассматривать как два разных стейкхолдера: рабочий и разработчик по совершенствованию процессов. Под модернизацией целевой системы обычно понимается серьезные преобразования, требующие привлечения специалистов различных профилей, что делает модернизацию специальной стадией жизненного цикла целевой системы, выполняемой параллельно со стадией эксплуатации (рис. 3.7).

Дополнительные стадии на рис. 3.7 показаны штриховыми линиями, что означает стадии по времени занимают только небольшую часть стадии эксплуатации целевой системы и периодически начинаются и заканчиваются.

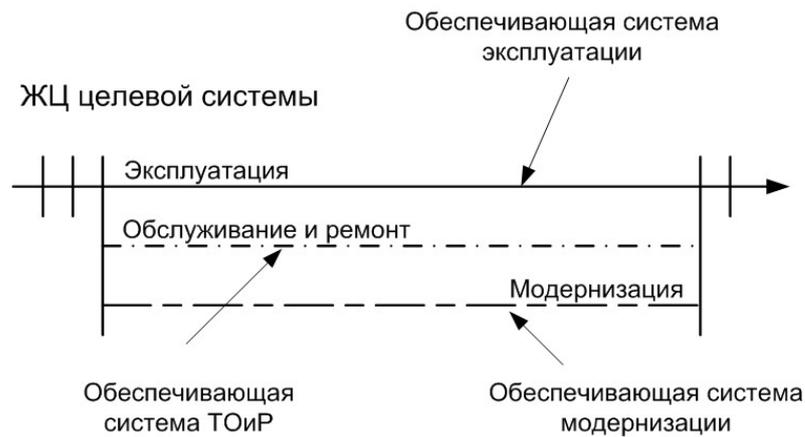


Рис. 3.7. Дополнительные стадии жизненного цикла целевой системы

Взаимосвязь целевой системы и обеспечивающих систем подчиняется закону Конвея [24] – «Организация, которая разрабатывает систему, ... вынуждена делать систему по структуре, повторяющую структуру коммуникаций внутри организации». Закон Конвея не является законом в строгом смысле – это эвристическое правило, подтверждаемое многочисленными наблюдениями. В системной инженерии данный закон трактуется следующим образом – структура целевой системы неизбежно будет отражать структуру обеспечивающей системы. Например, если единую систему проектируют два отдела, то целевая система окажется разделенной на два модуля. Это закон можно использовать для преобразования структуры обеспечивающей системы в соответствии с требуемой структурой целевой системы на данном этапе его жизненного цикла. Например, организация поставки целевой системы заказчику будет определяться параметрами целевой системы – сложную систему придется поставлять по частям, а затем собирать в месте ее эксплуатации.

Значительно теснее связаны целевая и обеспечивающая система в том случае, когда целевая система принадлежит клиенту, а обеспечивающая оказывает услугу – сервис (*service*) клиенту по преобразованию целевой системы. В таком случае непросто разобраться, где целевая система и где обеспечивающая, оказывающая сервис. Примером сервиса является парикмахерская, в которой голова и причёска на голове (целевая система) принадлежат клиенту, парикмахерская – обеспечивающая система производит внешнее поведение (сервис), меняющий голову так, чтобы на ней появилась причёска. Здесь внешнее поведение обеспечивающей системы соответствует еще одному варианту её назначения – делать причёски. Для организаций, предоставляющих сервис, одинаково важными будут и целевая система и сервис. Шикарный сервис стрижки (поведение парикмахерской) с результирующей плохой причёской не удовлетворит клиента. Никогда не нужно забывать о целевой системе, когда мы занимаемся обеспечивающей системой, чтобы получить сервис: легко забыть, для чего существует обеспечивающая

система, для чего существует сервис. И в этот момент потерять клиентов.

Системное мышление не просто позволяет отдельно мыслить об обеспечивающей системе (парикмахерской) и целевой системе (прическе), оно ориентирует на удержание во внимании одновременно отдельных систем и их взаимодействующее как целое - весь процесс оказания услуги.

3.5. Аспекты рассмотрения систем

В соответствии с принципом разделения интересов вторым направлением в анализе систем является рассмотрение каждой из систем в разных аспектах. Каждый из аспектов отображает определенную точку зрения (способ видения) на систему. Аспектное рассмотрение системы применимо к любому классу систем: целевым, использующим, системам в операционном окружении и обеспечивающим системам. Аспектное рассмотрение позволяет детализировать представление о системе - рассмотреть ее составные части. Рассмотрим представление системы с точек зрения (способов видения) разных стейкхолдеров, каждый из которых имеет свой основной аспект интереса: проектирование, изготовление и использование (рис. 3.8).

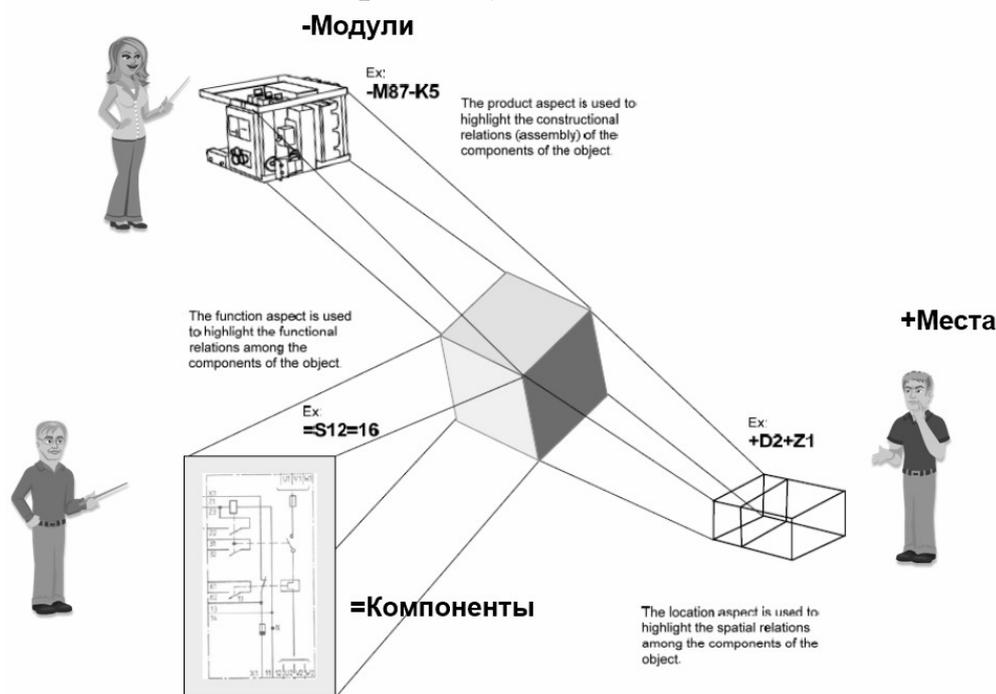


Рис. 3.8. Компоненты, модули, размещения (из стандарта ИЕС 81346-1)

Этим точкам зрения соответствуют три главных частных описания системы, отражающих разные аспекты: описание подсистем как функциональных объектов, как конструктивных/физических объектов и как место в пространстве. Функциональное и конструктивное рассмотрение отражает функцию и конструкцию целевой системы, а размещение рассматривает целевую систему как целое и определяет ее

место в использующей системе. Стандартом IEC 81346-1 [20] предусмотрено три аспекта в рассмотрении системы:

- Компоненты (*components*), или функциональные элементы, которые позволяют отвечать на вопрос о том, как взаимодействуют части системы, чтобы она выполняла свою функцию («как работает система»). На рис. 3.8 приведена принципиальная схема, на которой приведено описание компонент и их соединений (*connectors*). Поведение компоненты – это выполняемая ей функция
- Модули (*modules*), или конструктивные элементы, продукты, сборочные единицы, логистические единицы – этот вид частей позволяет отвечать на вопрос, из чего собрать и как соединить через интерфейсы (*interface*) части системы («как сделать систему»). Поведение модуля – это выполняемый им на интерфейсе сервис (*service*), услуга, служба. На рис. 3.8 дана сборочная диаграмма, позволяющая понять, как собрать систему из её частей, но при этом совершенно непонятно, как эта система работает.
- Места (*locations*), или размещения (*allocations*), которые позволяют отвечать на вопрос, где можно найти части системы, как она скомпонована в пространстве. На рис. 3.8 изображены отсеки, в которых ведётся монтаж системы и в которых она затем работает, но непонятно, из чего система собрана и как она работает.

Компоненты

Прежде всего, целевая система рассматривается как компонента (как функция). Для этого, компонента должна быть представлена моделью «черный ящик», что позволяет показать её назначение в объемлющей (использующей) системе. Назначение реализуется во взаимодействии целевой системы с другими частями объемлющей системы. Кроме того, компонента должна быть описана моделью «прозрачный ящик» для показа частей целевой системы и их взаимодействия друг с другом и объяснения того, как система функционирует. Диаграммы, показывающие соединения компонент друг с другом и удобные для объяснения принципа функционирования системы, чаще всего, называют «принципиальными схемами».

В нотации IDEF0 внешнее компонентное описание системы представлено на диаграмме А-О, а внутреннее описание раскрывается на диаграмме основных функций системы – диаграмме А0. Стандарт IDEF0 позволяет описывать системы в самом общем виде, на уровне функций, поэтому является способом компонентного описания широкого круга систем.

При компонентном (функциональном) описании инженерных (физических) систем принято использовать структурные и

принципиальные схемы. В качестве примера рассмотрим структурную схему усилителя низкой частоты (рис. 3.9). На структурной схеме показаны цепи обратной связи и частотной коррекции, обеспечивающие требуемые характеристики усилителя.

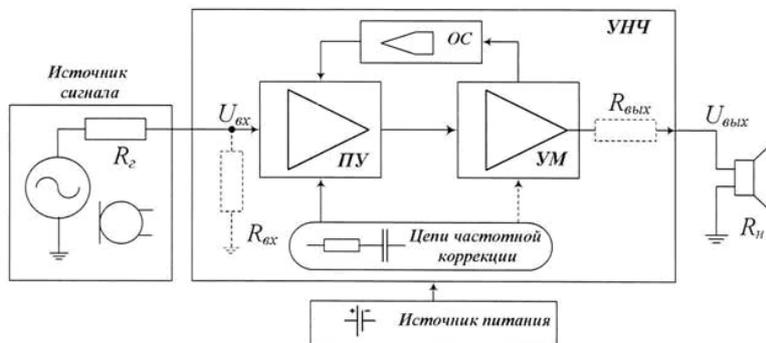


Рис. 3.9. Структурная схема усилителя низкой частоты:

ПУ – предварительный усилитель; УМ – усилитель мощности; R_n – нагрузка

Для каждой конкретной физической системы сложились свои способы компонентного описания систем: принципиальные схемы систем электроснабжения и гидравлических схем, принципиальные схемы электронных систем и т.д. Различие в этих принципиальных схемах заключается в использовании разных условных изображений на схемах.

На принципиальной схеме усилителя низкой частоты (рис. 3.10) показаны основные элементы этого усилителя:

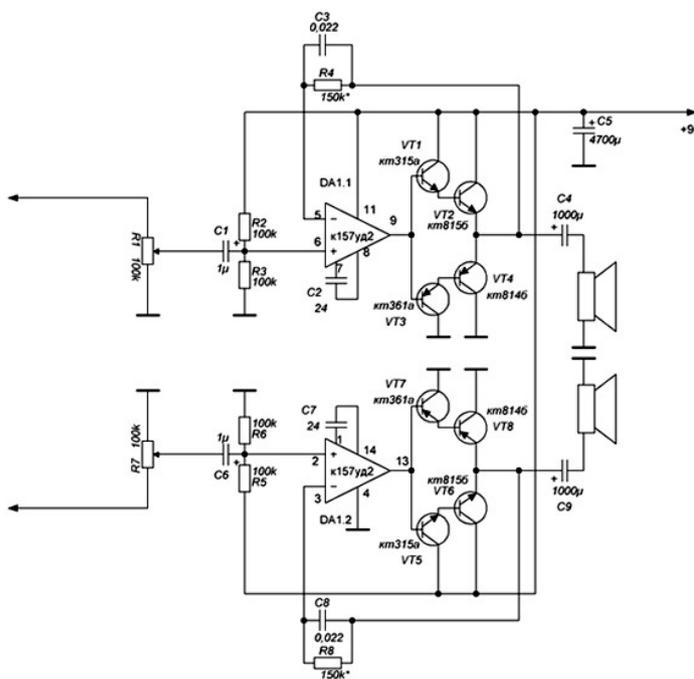


Рис. 3.10. Принципиальная схема усилителя низкой частоты:

предварительный усилитель на микросхемах DA1.1 и DA1.2;

усилитель мощности на транзисторах VT1 – VT8;

R1 – R8 и C1-C9 - резисторы и конденсаторы

Структурные схемы дают обобщенное описание – только функции системы, а принципиальные схемы содержат значительно больше элементов и дают достаточно информации, чтобы рассчитать параметры работы системы. Обычно к принципиальным схемам прилагаются спецификации, в которых имеется дополнительная информация о модулях, используемых в данной принципиальной схеме.

В стандарте IEC 81346 [20] принято давать обозначения компонентам (определяемым там как функциональный аспект объекта), начинающиеся с префикса «=». Таким образом, сопротивление на радиосхеме в стандарте IEC 81346 будет иметь обозначение «=R1».

При компонентном описании реальной системы может потребоваться на одной схеме компонентов использовать разные условные изображения. Такие схемы называются «гибридные».

Модули

Модуль – это физический объект в виде продукта, элемента конструкции, сборочной единицы. Модуль – индивид, реализующий в реальности функцию компоненты. Модульное описание целевой системы – описание реальных элементов, из которых собирается система (рис. 3.11).

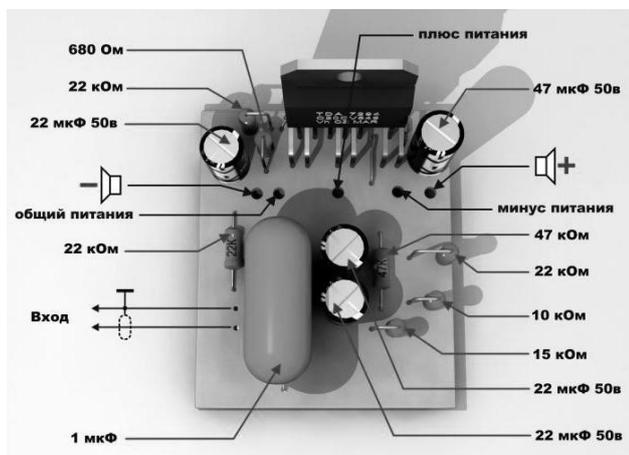


Рис. 3.11. Модули усилителя низкой частоты

Модули обсуждаются, когда необходимо разобраться с тем, как изготовить систему: как расположить отдельные элемент относительно друг друга, как соединить элементы и т.д. (рис. 3.12). Таким образом, модульное описание тесно связано с работами по изготовлению системы. При модульном описании могут появиться такие элементы, как отверстие в детали (его нужно изготовить) или сварной шов (результат сварочных работ).

Проще всего понять разницу между модулем и компонентом можно на примере двухмоторного самолёта: двигатель самолёта – это модуль, он разрабатывается один раз. А левый и правый двигатели – это компоненты,

самолёту для полёта нужны оба двигателя, иначе он не выполнит своей функции.

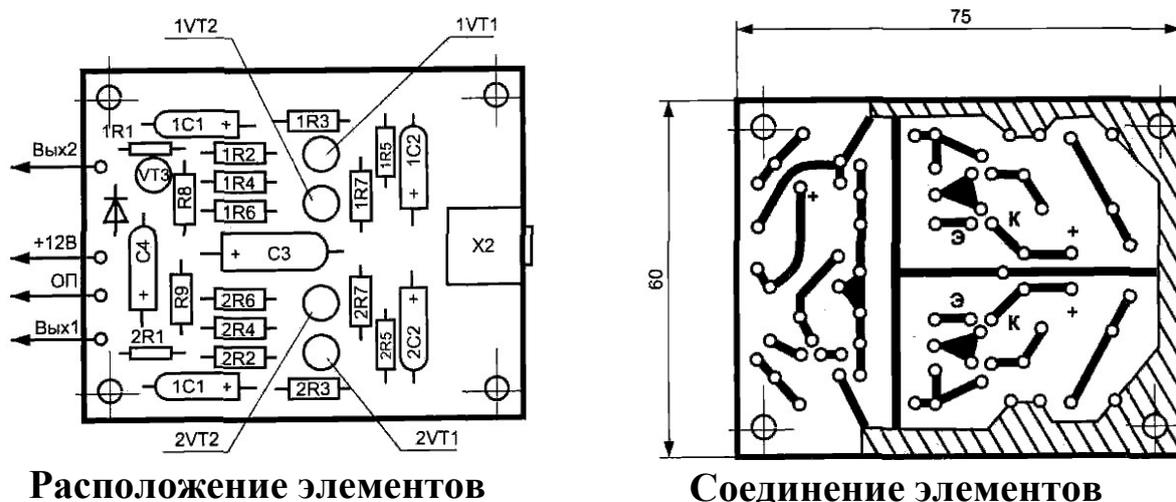


Рис. 3.12. Монтажная схема усилителя низкой частоты

Модули связываются друг с другом через «интерфейсы» — специальные элементы, обеспечивающие работу разных модулей в составе общей системы.

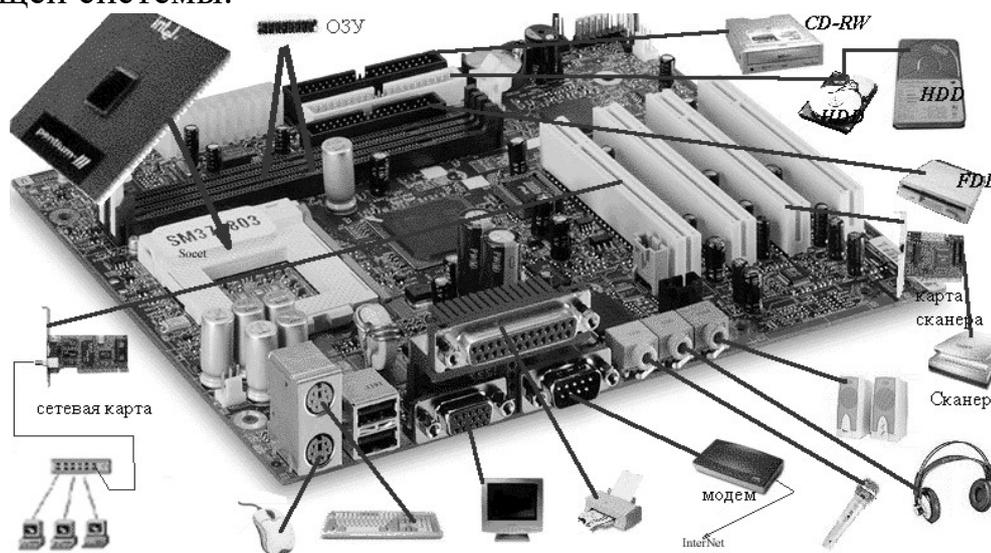


Рис. 3.13. Подключение внешних модулей через интерфейсы к материнской плате компьютера

На материнской плате компьютера (рис. 3.13) устанавливается большое число интерфейсных модулей, через которые подключаются такие устройства, как монитор, принтер, клавиатура, звуковые колонки, сетевой кабель и т.д.

В стандарте IЕС 81346 [20] принято давать обозначения модулям (там это называется «продуктивный аспект объекта»), начинающиеся с префикса «-». Таким образом, сопротивление на монтажной схеме будет иметь обозначение «- R1».

Размещения

Мир трёхмерен, и каждая система характеризуется ещё и своим местом в пространстве. Например, насос может быть компонентой (функция «обеспечить подъем давления», номер Р-101 на гидравлической схеме), может быть модулем (насос НС-1234 Пензенского завода, серийный номер №56789), но может быть и лежащим на складском месте №159 склада №689, ибо ещё не выдан в монтаж. Это разные ипостаси одной и той же системы. Размещения тесно связаны с логистическим аспектом инженерного проекта, они крайне важны для менеджеров (планы работ часто привязываются именно к размещениям).

В стандарте IEC 81346 [20] принято давать обозначения месту размещения (там это называется «аспект размещения объекта») начинающиеся с префикса «+». Таким образом, размещение насоса на складе будет иметь следующее обозначение «+Склад689+Место159».

3.5. Обозначение элементов систем

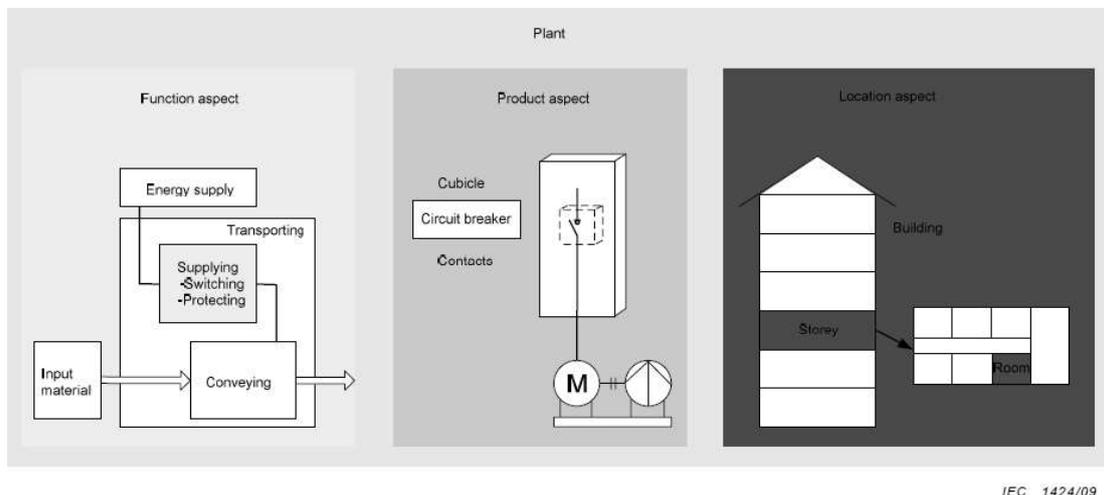
Современным стандартом, описывающим структуру системы и отвечающим за обозначения структурных элементов системы в их отношениях часть-целое по каждому аспекту, т.е. отвечающим принципам системного подхода и поэтому подходящим для системной инженерии, является IEC 81346-1:2009 Industrial systems, installations and equipment and industrial products – Structuring principles and reference designations. Part 1: Basic rules” [20]. Этот стандарт вобрал в себя многочисленные достижения предыдущих поколений стандартов.

Стандарт предписывает правила, по которым происходит аспектное структурирование системы и создание следующих принципов системного подхода «справочных обозначений» (*reference designations*). Эти обозначения учитывают аспектность и произвольность числа уровней системы.

Отдельных аспектных обозначений в огромной системе может быть очень большое количество, и каждый из них должен быть иметь наименование как компонента, как модуль, плюс ещё и размещение. Необходимо обозначать подсистемы из отдельных элементов и подсистемы более высокого уровня вплоть до обозначения изделия.

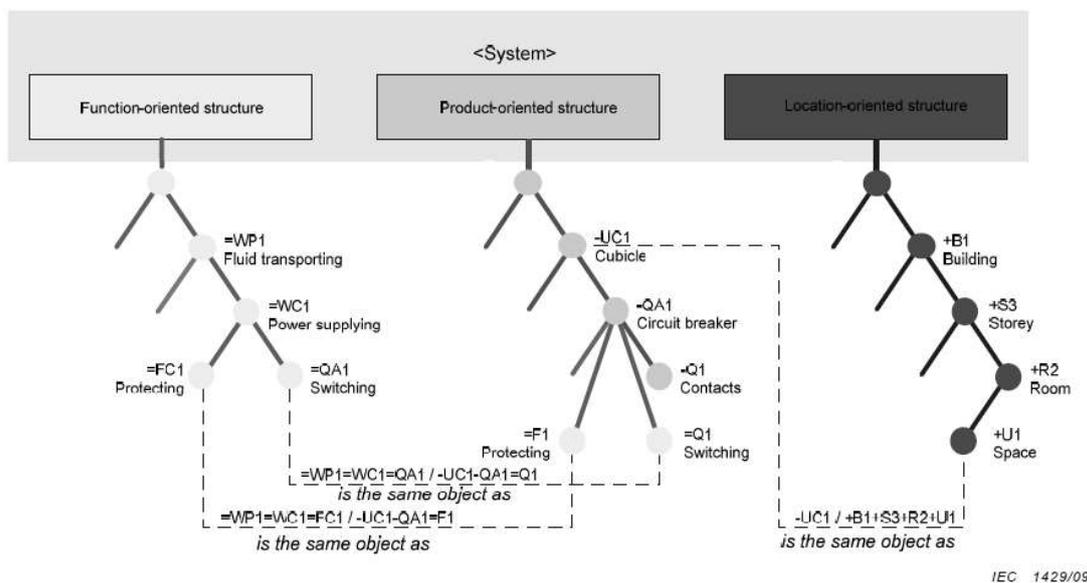
Простейший способ обозначать ипостаси систем – это давать им уникальные порядковые номера на каждом уровне разбиений, указывая при этом спецсимволом-префиксом аспект (компонента это, модуль или размещение). Более сложный способ – обозначения, включающие в себя какой-то (чаще всего функциональный) классификатор, т.е. отдельные символы и их сочетания, означающие принадлежность данной ипостаси к определённому классу (математическому множеству) ипостасей системы.

В общем случае обозначение системы состоит из цепочки обозначений какого-то маршрута по разбиению или разных маршрутов по разным разбиениям. Например, установка (plant) по транспортировке жидкости представлена из следующих компонент, модулей и размещений (мест), изображенных на рис. 3.14.



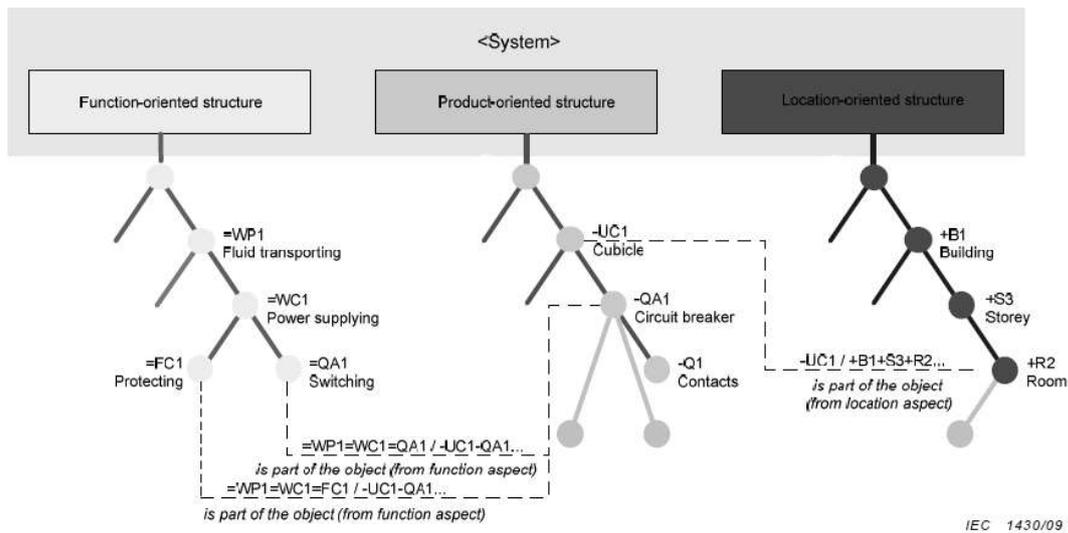
3.14. Три аспекта одной системы

Если теперь представить разбиения и ввести аспектные обозначения каждой системы-подсистемы-элемента, то получим рис. 3.15.



3.15. Обозначения трех аспектов одной системы

Заметим, что некоторые элементы получили полные обозначения сразу в двух аспектах. Для однозначного указания на объект достаточно иметь только одно полное имя, а остальные имена пусть указывают на надсистему (рис. 3.16).



3.16. Полное обозначение объекта в двух аспектах системы

Каждое обозначение - это имя холона (объекта, который состоит из частей, но сам является частью другого объекта), ибо система по определению – это холон в системной холархии (у любой системы есть её элементы-подсистемы и она является элементом в надсистеме). Поэтому все имена компонент, модулей, мест подразумевают, что перед ним будет имя надсистемы, а после него – подсистемы.

4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЛЕВОЙ СИСТЕМЫ

Определение системы – это центральный элемент инженерного проекта, так как только после определения целевой системы можно приступить к ее воплощению в реальности. Базовым принципом системной инженерии является принцип успешности проекта по созданию целевой системы. Проект будет успешным только в том случае, если в разработке целевой системы будут учтены потребности/требования основных стейкхолдеров проекта. Основной проблемой в определении целевой системы является множественность интересов стейкхолдеров, так как они выполняют разные деятельностные роли по отношению к этой системе. Несмотря на то, что разные стейкхолдеры будут выделять в системе разные аспекты, будут представлять систему по-разному, необходимо обеспечить целостность создаваемой системы. Системная инженерия предлагает способы решения этой проблемы.

Определение системы должно быть представлено в описании системы – тех документах, в которых содержится вся информация, необходимая для воплощения целевой системы.

4.1. Стейкхолдеры определяют систему

Наиболее важное положение стандарта системной инженерии ISO/IEC 42010:2007 Системная и программная инженерия – Описание архитектуры (Systems and software engineering – Architecture description) [25] заключается в том, что система определяется заинтересованными сторонами (стейкхолдерами) (рис. 4.1).



Рис. 4.1. Контекст определения системы
(из стандарта ISO/IEC 42010:2007, нотация UML)

Заинтересованные стороны – стейкхолдеры (*stakeholder*) какой-либо системы – это субъекты, имеющие интерес в этой системе. Интересы

могут возникать на разных стадиях жизненного цикла системы: проектировании, реализации и эксплуатации, причем у одного стейкхолдера может быть несколько разных интересов на каждой стадии жизненного цикла системы. Интерес может быть заявлен как соответствие потребностям заинтересованной стороны, ее целям, ожиданиям, обязанностям, требованиям, ограничениям проекта и т.д.

Стейкхолдеры формируют для системы различные цели (*purpose*). Цели являются одним из видов выражения интересов (*system concern*). На диаграмме (рис. 4.1) связь между этим элементами изображена сплошной линией с «пустой» стрелкой на конце. В языке UML такая стрелка означает отношение между двумя сущностями, одна из которых является частным (специализированным) случаем другой. Таким образом, интерес является частным случаем цели.

Окружающая среда – внешняя среда по отношению к системе определяет все множество воздействий на систему в ее жизненном цикле, включая взаимодействия с другими системами и природной окружающей средой. Важным аспектом является то, что в стандарте ISO/IEC 42010:2007 окружающая среда системы определяется заинтересованными сторонами системы и их интересами.

Таким образом, стандарт ISO/IEC 42010:2007 устанавливает, что в рамках системной инженерии вся совокупность объектов реального мира рассматривается с точки зрения интересов заинтересованных сторон, которые выделяют среди этих объектов подмножество, рассматриваемое как система. Чтобы определить целевую систему, необходимо выявить стейкхолдеров этой системы и сделать описание их требований.

Классификация систем и стейкхолдеры

Знание о существовании различных видов систем в их относительном положении от целевой системы в системной холархии позволяет дать строгие определения таким понятиям, как потребности, требования и ограничения.

Два ключевых положений системной инженерии холархия систем и множественность точек зрения на систему образуют проблемное поле определения целевой системы. Напомним, что холархия систем относительно целевой системы включает использующую систему, системы в операционном окружении и внутреннюю структуру самой целевой системы. Кроме того, в проекте по созданию системы всегда присутствует обеспечивающая система. В соответствии с холархией систем выявляются и стейкхолдеры, которых условно можно разделить на две группы:

- внешние стейкхолдеры, принадлежащие к использующей системе и системам в операционном окружении и имеющие интерес к целевой системе;
- внутренние стейкхолдеры обеспечивающей системы – стейкхолдеры, которые определяют и воплощают целевую систему, а также стейкхолдеры, которые непосредственно взаимодействуют с целевой системой на этапе ее эксплуатации.

Определение системы проходит две стадии. Первая стадия соответствует знанию о системе снаружи, т.е. из ее окружения. На этой стадии система представляется в виде «чёрного ящика» (*black box*) – представлении о системе, без знаний о внутреннем её устройстве. На этой стадии можно наблюдать внешнюю границу системы, т.е. занимаемое место в пространстве-времени, её свойства и поведение (и тем самым функцию), ничего не зная о внутреннем устройстве системы. Такое рассмотрение вполне соответствует точке зрения внешних стейкхолдеров системы, причем каждый стейкхолдер видит целевую систему по-разному. Разница в точках зрения внешних стейкхолдеров определяется не только тем, что они принадлежат разным системам из системного окружения целевой системы, но и тем, что стейкхолдеры выступают в разных ролях по отношению к целевой системе.

Определение целевой системы как «чёрного ящика» называют системными требованиями (*system requirements*). Системные требования, прежде всего, содержат информацию о функциях целевой системы по отношению к системам её окружения, поэтому системные требования называют функциональными. В специфических случаях могут использоваться более содержательные названия системных (функциональных) требований. Например, требования для предприятия чаще называют стратегия (*strategy*) – это то, что определяет ожидаемое поведение или свойство предприятия как целого. Часто слово «системные» (или «функциональные») опускают и говорят о требованиях.

Вторая стадия определения системы связана с тем, что стейкхолдеры, которые формулируют требования или стратегию, хотят указать не только внешние свойства системы, описать не только границы системы и её поведение как «чёрного ящика», но и указать какие-то детали внутреннего устройства системы: определить (*define*) части системы (подсистемы), указать на процесс взаимодействия подсистем. В этом случае о системе говорят как о «прозрачном ящике», в нём можно считать известными какие-то подсистемы, свойства и поведение этих подсистем. Если в списке требований встречаются описания «прозрачного ящика» (упоминания подсистем), то эти требования называют ограничениями (*constraints*) (рис. 4.2). Эти ограничения нужно понимать как ограничения конструкторской свободы команды, которая должна

разработать и изготовить систему.

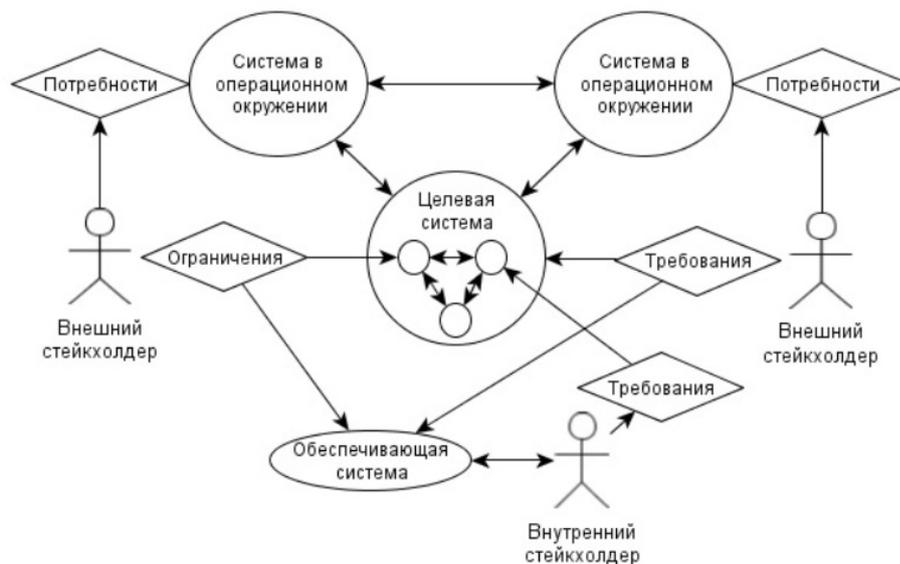


Рис. 4.2. Стейкхолдеры и системная холархия

Обычно команда проекта согласовывает со стейкхолдерами системы функции и свойства, которые должна выполнять целевая система как «чёрный ящик», т.е. согласовывает требования, а устройство системы внутри – её конструкцию – определяет самостоятельно. Важнейшие из этих решений по устройству системы, т.е. решения «прозрачного ящика» называют «архитектурой». Общая рекомендация по работе с требованиями стейкхолдеров – согласовывать системные требования, а по поводу ограничений предлагать свои варианты внутреннего устройства системы, так как вполне возможно, что внешний стейкхолдер не знает о существовании возможных альтернативных решений.

Поднимаясь вверх по системной холархии относительно целевой системы, необходимо рассматривать использующую систему – совокупность систем в операционном окружении по отношению к целевой. Каждый внешний стейкхолдер определяет требования к своей системе вне зависимости от существования целевой системы. Такие требования называют «потребностями/нуждами стейкхолдеров» (*stakeholder needs*), хотя иногда и говорят о «требованиях стейкхолдеров» (*stakeholder requirements*) (рис. 4.2).

Важно отличать требования/потребности стейкхолдеров от системных требований – требований к целевой системе: это требования к разным, вложенным друг в друга, систем – использующей и целевой. Во избежание путаницы предпочтительно про требования стейкхолдеров говорить «потребности/нужды».

Требования являются частью определения системы, поэтому они всегда есть. Даже когда в явном виде требования не выявляют (не системный подход к созданию системы), такие требования

подразумеваются. О требованиях не принято говорить, что их **разрабатывают** (их не придумывают!), их обычно **выявляют** (*discover*) в беседах с различными стейкхолдерами. Таким образом, разные требования как часть определения системы нужно выявлять, обсуждать, а затем по этим требованиям разрабатывать части описания системы. К таким частным описаниям обеспечивают доступ всех стейкхолдеров, что позволяет начать процесс согласования требований разных стейкхолдеров. В результате этого процесса устраняются противоречия в требованиях, что открывает возможность перейти к следующему этапу – разработке архитектурного описания системы. Вся работа с требованиями разделяется на две составляющих: инженерия требований и управление требованиями. Инженерия требований ставит своей целью выявление и согласование требований, а управление требованиями ориентировано на документацию, анализ, отслеживание, приоретизацию требований, достижение соглашений по требованиям и затем управление изменениями и уведомление заинтересованных лиц.

4.2. Выявление требований к целевой системе

Выявление стейкхолдеров

Первый шаг в определении системы – выявление требований стейкхолдеров. Для этого необходимо сначала выявить самих стейкхолдеров. Возникает вопрос: «Как выявить стейкхолдеров, если не определена целевая система?» Ответ очевиден – необходимо сделать предварительное предположение о том, какую целевую систему будет создавать команда проекта. Неопределенность – постоянное состояние в проектной деятельности, и единственным методом уменьшения неопределенности является использование рекурсивного процесса (рис. 4.3), на каждом шаге которого уточняется предположение о целевой системе, затем стейкхолдерам предлагается это описание, а далее стейкхолдеры высказывают свои уточненные требования. Анализ этих требований позволяет сделать следующее предположение о функциях системы, и процесс уточнений повторяется.



Рис. 4.3. Рекурсивный процесс определения системы

Предварительное определение системы всегда существует. Никогда системы не создаются вдруг, на пустом месте. Проблемой является то, что инициаторы создания целевой системы в большинстве случаев не документирует идею создания системы и системному инженеру придется самому составить такое предварительное описание на основе бесед с инициаторами проекта. Исходя из предварительного определения системы, следует составить первоначальный список стейкхолдеров. В качестве основы можно использовать списки стейкхолдеров, представленные в стандартах системной инженерии (ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288:2005, ISO/IEC 29148:2011, ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207:2010), выбирая из него стейкхолдеров, которые ближе всего к разрабатываемой системе.

Таблица 4.1

Предварительный список стейкхолдеров

Стейкхолдер (роль)	Исполнитель
СХ1 Владелец предприятия	-
СХ2 Заказчик системы	Руководитель организации, спонсор разработки нового изделия
СХ3 Потребитель	-
СХ4 Поставщик комплектующих изделий	Представитель предприятия по поставке комплектующих изделий.
СХ5 Разработчик	Представитель отдела разработки
СХ6 Изготовитель	Представитель цехов
СХ7 Специалист технической поддержки	Представитель сервисного отдела
СХ8 Продавец системы	Представитель коммерческого отдела

При выявлении стейкхолдеров необходимо дать им названия в соответствии с ролью, которую они играют по отношению к целевой системе. Эта роль должна быть однозначно интерпретируемой с точки зрения конкретного интереса стейкхолдера. Например, стейкхолдерами могут быть: инвестор, заказчик, пользователь, сервисный инженер, но не Константин Константинович, ООО «Компания», начальник отдела сбыта. Если взять в качестве примера разработку нового изделия на предприятии, то предварительный список стейкхолдеров будет иметь вид, представленный в табл. 4.1.

При выявлении стейкхолдеров требуется опираться на холярхию систем относительно целевой системы, что позволяет выявить стейкхолдеров, внешних по отношению к целевой системе. Эти

стейкхолдеры определяют саму возможность создания целевой системы, так как среди них те, кто будут определять основные требования к системе (заказчик системы), кто обеспечит ресурсами проект по созданию целевой системы (инверсор проекта).

В ходе выполнения любого проекта первоначальный список стейкхолдеров будет пополняться, так как на каждом этапе проекта определение системы все больше уточняется, появляются новые элементы системы, что инициирует появление новых стейкхолдеров. На основе списка стейкхолдеров планируется проведение обсуждения целевой системы и выявление потребностей/требований стейкхолдеров.

Выявление потребностей

На предыдущем этапе выявления требований к целевой системе сделано предварительное определение целевой системы и составлен предварительный список стейкхолдеров, которые могут иметь интерес в целевой системе. Основной задачей на втором этапе является определение границ целевой системы и ее основной функции, по которой можно дать название целевой системе. Очень часто целевые системы называют беспредметно и абстрактно: «Устройство для выполнения того-то» или «Сервис управления системами сего-то». Трудности выбора адекватного названия целевой системы объективны, так как уровень понимания, что необходимо создать в инженерном проекте на данном этапе, очень низкий. В данной ситуации работу со стейкхолдерами нужно начать с выявления потребностей – проблем, которые они хотели бы решить независимо от разрабатываемой целевой системы.

Потребность стейкхолдера на начальном этапе рекомендуется [26] определять через выражение следующего вида:

Я как <стейкхолдер> хочу <потребность>, потому что <проблема>. Например, для заказчика можно сформулировать следующую потребность: Я как заказчик хочу получить больше прибыли (потребность), потому что наличие прибыли позволяет расширить производство и, как следствие, захватить большую долю рынка (проблема). Потребность должна оставаться актуальной вне зависимости от целевой системы. Например, прибыль можно увеличить повышением эффективности производства или выпуском на рынок нового продукта.

В результате переговоров со стейкхолдерами будут сформулированы их потребности, которые рекомендуется представить в табличной форме (табл. 4.2).

Потребности стейкхолдеров системы

ИД	Стейкхолдер	Потребность	Проблема
П1	(СХ1) Владелец	Получать больше прибыли	Прибыль недостаточна
П3	(СХ1) Заказчик	Выживание компании в кризис	Падение спроса на продукцию
П2	(СХ1) Потребитель	Получать изделие с большей функциональностью	
П4	(СХ4) Поставщик комплектующих	Сбыть продукции	Клиентов недостаточно
П5	Разработчик	Увеличение штата	Много проектов, но мало разработчиков
П6	Станочник и сборщик	Повышение заработной платы	Уровень жизни недостаточен
П7	Продавец	Получить большую долю рынка	Спрос на продукцию падает

Остановимся на потребности (П1) – получать больше прибыли. В прошлом владелец предприятия был удовлетворен прибылью от производства продукции. Но если объемы продаж продукции падают, то бизнес может стать убыточным. Одним из вариантов решения этой проблемы является разработка нового продукта. Здесь возникает два вопроса: окупаемости проекта по созданию новой продукции, какими потребительскими свойствами должна обладать данная продукция, чтобы завоевать рынок? Ответ на эти вопросы инициирует выявление соответствующих требований.

Очевидно, что контекст этих потребностей пока еще очень размыт, однако по ним уже можно начинать делать первые описания системы. Со временем эти описания будут становиться строже и конкретнее. Эти описания необходимо рассматривать как уточнения целевой системы. Если системному инженеру удастся обосновать целесообразность проекта набором непротиворечивых потребностей/проблем, заставляющих стейкхолдеров проявлять активность, значит, работы над проектом могут быть продолжены.

Системный инженер должен структурировать потребности относительно стейкхолдеров системы (простейшая форма дана выше), а затем для каждой потребности сформулировать набор требований. Требование формулируется относительно самой системы или ее элементов. Рекомендуется использовать следующую переходную конструкцию от потребности к требованию: «Я как <стейкхолдер> считаю, что система должна <требование>, чтобы <потребность>». Например, для пользователя можно сформулировать следующее требование: «Я, как пользователь, считаю, что новый смартфон должно потреблять меньше энергии (требование), чтобы до меня всегда можно было дозвониться».

Такое формализованное описание потребностей и требования системный инженер можно составить только на основе умения выделять из беседы со стейкхолдерами необходимую информацию. Слова, которые произносит стейкхолдер в ответ на ваши вопросы, будут содержать много лишней информации, и задача системного инженера выявить, что соответствует потребностям и что требованиям к системе. Для конструктивной беседы со стейкхолдером необходимо умение задавать «правильные» вопросы, направляющие мышление стейкхолдера в нужное русло.

Чтобы задать «правильный» вопрос, системный инженер должен для себя сначала выделить тот аспект, относящийся к деятельности стейкхолдера, который потенциально связан с целевой системой (рис. 4.4). Если такой аспект найден, то для выявления потребности стейкхолдера «правильным» вопросом будет; «Какие проблемы существуют в данном аспекте деятельности стейкхолдера?» Конструктивный ответ на это вопрос позволяет перейти к вопросу о потребностях стейкхолдера: «Что бы могло помочь решить данную проблему?» Выявив потребности всех стейкхолдеров, можно перейти к уточнению определения целевой системы. Вопрос о требованиях к системе должен формулировать по следующей схеме: «Что необходимо сделать, чтобы решить вашу проблему?»

Таким образом, логическая последовательность коммуникации начинается от аспекта использующей системы, а заканчивается формулировкой требований, анализ и согласование которых позволяют системному инженеру определить функции целевой системы. Требования бывают различные, но все они начинаются одинаково: «Система должна...».

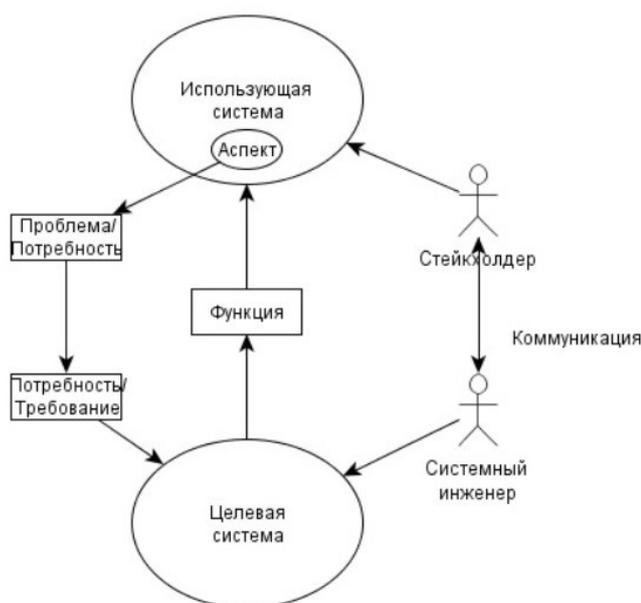


Рис. 4.4. Схема коммуникации при определении требований стейкхолдеров

В разных отраслях промышленности требования группируют по-разному: требования к назначению, показателям функционирования, функциональным характеристикам, безопасности, защите интеллектуальной собственности, к документации и т.д. Рекомендуется по каждой потребности составить список требований. Пример списка требований для стейкхолдера «Владелец» и его потребности «Получать больше прибыли» дан в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Требования владельца (СХ1) для потребности (П1) «Получать больше прибыли»

ИД	Требование (система должна)
T1	Новая продукция должна относиться к группе товаров, имеющих наибольший рост спроса и имеющей наименьшее предложение на внешнем рынке
T2	Производство продукции должно быть организовано на существующих производственных мощностях
T3	При производстве продукции должны быть максимально использованы отработанные узлы предыдущей модели
T4	При технологической подготовке производства необходимо заменить наиболее изношенное технологическое оборудование

Число требований в инженерном проекте может быть достаточно много, поэтому их всегда имеет смысл ранжировать. Это позволит локализовать работу с требованиями, относящимися к одному аспекту системы, сопоставить их, обобщить и выбрать наиболее существенные. Уровень важности того или иного требования может оценить каждый стейкхолдер. При работе с требованиями целесообразно оценить их по методу Саважа [15], что даст дополнительный аспект в учете требований. Снимать требования на основании их низкого ранга можно только после обсуждения со стейкхолдерами. Для управления требованиями необходимо параллельно с их сбором и анализом вести проработку вариантов архитектуры систем, что позволяет фокусироваться на наиболее важных требованиях.

Целеориентированная инженерия требований

Значительно больше возможностей в описании и анализе требований появляется при использовании специальных подходов. В рамках объектно-ориентированного подхода была предложена техника выявления требований на основе диаграммы UML [12] «Варианты использования» (*Uses cases*). Вариант использования определяет взаимодействие между пытающимися достичь своих целей внешними актерами (*actors*) и целевой

системой. Акторы (действующие лица) на диаграммах «Варианты использования» – это функциональные объекты, обладающие активностью. Это, как правило, стейкхолдеры, но акторами могут быть компьютерной программой, подразделением организации или компанией.

Использование диаграмм «Вариант использования» делает описание требований очень наглядным, что полезно при коллективном обсуждении требований. Для рассмотренного примера определения требования для создания нового изделия в диаграмме «Варианты использования» следует дать описание функций, которые необходимо выполнить для того, чтобы новое изделие появилось на рынке. Например, на диаграмме «Варианты использования» необходимо отразить требования Разработчика изделия, Изготовителя, Продавца и Заказчика. Разработчик как стейкхолдер будет участвовать в выполнении двух функций – разработке дизайна нового изделия и в его проектировании (рис. 4.5). Пример диаграммы «Варианты использования» показывает, что этот подход к описанию требований позволяет указать участие разных стейкхолдеров в выполнении различных функций системы, но не дает возможности отобразить потребности стейкхолдера и его цели в разработке целевой системы.

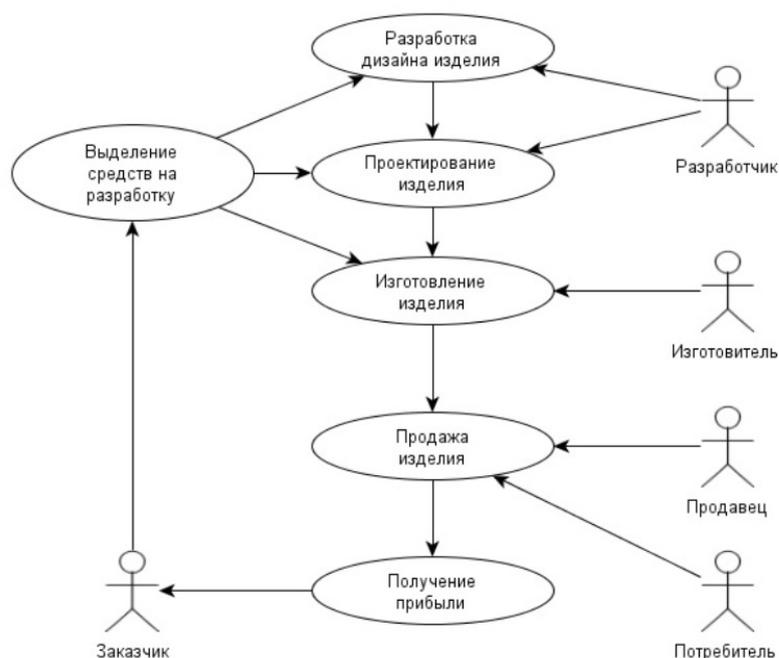


Рис. 4.5. Диаграмма «Варианты использования» для задачи разработки нового изделия

В 1995 г. появился подход к моделированию требований, получивший название целеориентированной инженерии требований – GORE (*goal-oriented requirements engineering*) [27]. В этом подходе упор был сделан не только на варианты использования системы агентами, но и на описания взаимодействий самих агентов. Термин «агент» (*agent*) обозначает субъект любой природы, который имеет цели. В подходе

GORE принято, что требования отражают цели, убеждения, возможности и договорённости агентами, что признает социальную природу требований – их «необъективность». Основными принципами GORE являются:

- агенты приписывают преднамеренные свойства (цели, убеждения, способности, обязательства) друг другу и рассуждают о стратегических отношениях;
- зависимости между агентами порождают как возможности, так и уязвимости;
- сети зависимостей анализируются с использованием подхода качественного рассуждения;
- агенты рассматривают альтернативные конфигурации зависимостей для оценки их стратегического позиционирования в социальном контексте.

В GORE предложен специальный язык для описания взаимодействий агентов, преследующих свои цели, на графических диаграммах.

В настоящее время моделями требований называют такие описания требований, которые включают не только сами модели требований, но и как-то описывают ситуации их возникновения, прежде всего, участвующих агентов, достигающих своих целей. В 2008 г. международный союз телекоммуникаций принял стандарт ITU-T Z.151 [28], в котором для моделирования требований предлагался целеориентированный язык требований подхода GORE и карты Вариантов использования (*Uses cases*).

4.3. Моделирование целевой системы

Определение системы реализуется в виде ее описания [29]. Описание системы – это модель, отображающая определенную группу свойств системы. Создание систем начинается с ее общего описания (схемы, диаграммы, тексты, макеты, симуляторы), что позволяет определить систему, т.е. выявить наиболее важные элементы системы. Определение системы завершается детальными описаниями (чертежи, технологические документы), по которым будут изготавливаться отдельные элементы системы и происходить их сборка в целостную систему. Для обеспечения эксплуатации системы разрабатываются специальные документы, главный из которых «Инструкция по технической эксплуатации». Таким образом, разработка описания системы представляет важнейший этап её создания.

Во всех видах описаний системы используются знаки – слова, графические элементы, диаграммы и т.д., с помощью которых

фиксируется в документе сведения о системе. Например, в паспорт оборудования записано, что мощность двигателя равна 100 кВт. Эта информация является элементом описания данного оборудования. Примерами графического описания системы служит диаграмма составных частей системы или чертеж отдельной детали. Таким образом, описание системы – это совокупность знаков, в которой отражены факты (утверждений) о целевой системе (бывшей, нынешней, будущей) и которая может быть использована для получения данных об этой системе.

Виды описаний системы

Факты, относящиеся к системе, могут быть отражены в документах отдельными фразами текстов, цифрами в таблице или наборами линиями на чертежах. Описание систем на основе документов называется *документоцентрическим* описанием. До последнего времени документоцентрическое описание было единственным способом описания системы. Основным недостатком такого описания является то, что составные части документа – отдельные факты, относящиеся к системе, невозможно обрабатывать независимо от документа.

С развитием электронных систем хранения информации произошел переход от описания систем в виде документов, включающих совокупность фактов, к хранению отдельных фактов в виде данных – отдельных полей таблиц баз данных. Способ описания систем на основе данных называется *датацентрическим* описанием. Датацентрическое описание позволяет работать с отдельными характеристиками системы (фактами) как по отдельности, так и с группой однородных данных. Это описание дает возможность устанавливать связи между различными данными, передавать и принимать данные, обрабатывать по определенным алгоритмам. Датацентрическое описание систем позволяет автоматизировать многие процессы обработки информации об элементах систем и перейти к цифровому производству, когда по описанию системы в цифровой форме напрямую (без преобразований) получается готовое изделие.

Важным аспектом в описании систем является наличие информации о появлении каждого факта. Такая информация обязательно будет включать время, когда произошел этот факт, время, когда этот факт был зафиксирован, кто создал этот факт, изменение в характеристиках элемента системы, статус этого факта (предложение, одобренное предложение, утверждённый вариант). Такие описания производятся в учетных системах, которые также могут быть документоценитическими и датацентрическими.

Организация хранения информации о фактах системы и фактах изменения её состояния требует особого описания системы в виде

информационной модели. При разработке таких моделей основное внимание уделяется построению онтологии предметной области – основных объектов, существующих в реальном мире в данной сфере деятельности.

Уровни описания систем

Описание системы может быть выполнено с разной степенью детализации – от наиболее общего описания всей системы до детального описания каждого элемента. Выделяют следующие уровни:

- опорный – наиболее общий уровень;
- принципиальный – определяющий большую часть элементов системы;
- выполняемый – позволяющий изготовить систему.

На опорном уровне система описывается как целое в модели «чёрный ящик». Опорное описание должно позволять выделить систему из окружающего мира – дать ее название и указать, что она с точки зрения внешнего окружения делает и зачем, каково её назначение и получаемые ей результаты. Такое описание является функциональным – определяющим функцию системы.

На принципиальном уровне дается описание основных элементов системы и их взаимосвязи между собой и с окружающей средой (системами в операционном окружении). Такое описание называется описание «прозрачного ящика» – конструкционное описание. Конструкционное описание позволяет представить конструкцию системы, понять, каким образом обеспечивается выполнение системой её назначения, уточнить функциональное описание, ответить, каким образом конструкционные элементы и связи между ними участвуют в выполнении назначения системы в целом. Принципиальному уровню описания соответствуют, например, принципиальные схемы устройств и механизмов.

На выполняемом уровне составляется описание конкретной реализации элементов системы и её связей. Выполняемое описание имеет достаточный уровень детальности для того, чтобы сделать эту систему из камня и металла, из компьютеров и программного обеспечения, из людей и организаций. Примером описания выполняемого уровня являются сборочный чертёж, должностная инструкция, технологическая карта, приказ о назначении ответственного. Выполняемое описание должно в полной мере соответствовать функциональному и конструкционному описаниям системы.

Описание существующей системы в виде фактов называется историческим описанием (измерения, временные ряды, отчёты). В историческом описании выделяют следующие уровни:

- актуальные (измеренные);
- исторические (данные о предыдущих измерениях);
- прогнозные (расчетные данные о будущих значениях)
- нормативные (показатели эффективности).

Актуальная информация позволяет оценить состояние системы в настоящее время и, после появления следующего изменения, переходит в разряд исторических данных, которые постоянно накапливаются. На основе актуальных и исторических данных вычисляются данные на предстоящий период – прогнозные данные, по которым принимаются управленческие решения об объемах закупок, планах выпуска продукции и ремонта оборудования. Алгоритмы вычисления таких прогнозов тоже рассматриваются как часть описания системы, принципиального или иногда выполняемого уровня. Показатели эффективности (например, дневные нормы выработки электроэнергии) тоже включаются в группу исторических описаний.

Два наиболее абстрактных (опорный и принципиальный) уровня описания системы объединяют общим названием архитектурных описаний. Это соответствует традиционному пониманию архитектуры как представления об основных элементах системы и правилах их соединения.

4.4. Методы моделирования систем

При разработке описаний системы можно пользоваться разными методами в зависимости от конкретной задачи моделирования. Общими для всех методов является понятие нотация – совокупность графических изображений для концептов (понятий) и их отношений и правил использования этих изображений. Таким образом, метод описания (моделирования) систем представляет способ отображения представлений человека о системе в виде совокупности символов на определенном носителе (бумага, информационная система и т.д.). Результатом использования определенного метода описания является модель системы. Разработать модель системы может только тот специалист, который знает нотацию разработки модели и владеет методом описания как технологией.

Наибольшее распространение получили следующие методы описания систем:

- SADT технология (Structured Analysis and Design Technique);
- UML (Unified Modeling Language) - универсальный язык объектно-ориентированного проектирования.

Специализированными методами моделирования являются следующие методы описания:

- BPMN (Business Process Model and Notation) – язык моделирования бизнес-процессов.
- ArchiMate (Architecture – Animate) – язык моделирования архитектуры предприятия.

Наиболее важный аспект моделирования систем – отображение понимания системы в виде графического образа, используемого для обсуждения со всеми стейкхолдерами.



Рис. 4.6. Нотация метода описания

На диаграмме рис. 4.6 показано, то в результате анализа системы в мышлении аналитика создается собственное представление о системе, отражаемое в описании системы (документе) с помощью нотации. Для того, чтобы читатель данного описания мог правильно интерпретировать описание системы (понять свойства системы), он должен знать правила чтения описания, т.е. знать нотацию.

SADT технология

Наиболее простым и универсальным методом описания является SADT технология [5], на основе которой построен стандарт моделирования IDEF0. В SADT технологии для создания моделей систем используется простая нотация, включающая набор базовых элементов: блок, который отображает активность (операции) в системе; дуга, отображающая объект, передаваемый от одного блока к другому. В нотацию SADT входят дополнительные элементы: ICOM метки и тоннельные дуги. Разработка моделей в SADT подчиняется ряду принципов и правил: иерархический принцип построение диаграмм модели, расположение блоков на диаграмме модели в соответствии с принципом доминирования, правила соединения и разъединения дуг. Важным элементом моделирования в SADT является принцип

ограниченного числа элементов на диаграмме, что повышает уровень понимания модели.

Источником информации о конкретной системе служит естественный язык общения специалисты предметной области. Графический язык SADT позволяет формализовать утверждения естественного языка однозначным способом и представить их в простой графической форме. В SADT впервые дано формальное определение модели: *М есть модель системы S, если М может быть использована для получения ответов на вопросы относительно S с точностью А.*

Таким образом, целью разработки модели является получение ответов на некоторую совокупность вопросов. Эти вопросы неявно присутствуют (подразумеваются) в процессе разработки модели (анализа системы) и, следовательно, они руководят созданием модели и направляют его. Основная суть этих вопросов должна быть выражена в одной-двух фразах. Обобщение вопросов производится в виде основного направления анализа системы и называется целью разработки модели. Цель разработки модели – первый базовый элемент SADT модели (рис. 4.7).

Вторым элементом SADT модели является позиция, с которой наблюдается система и создается ее модель. Поскольку качество описания системы резко снижается, если оно не сфокусировано ни на чем, SADT требует, чтобы модель рассматривалась все время с одной и той же позиции. Эта позиция называется «точкой зрения» данной модели. Точку зрения лучше всего представлять как место (позицию) человека, в которое надо встать, чтобы увидеть систему в действии. С этой фиксированной точки зрения можно создать согласованное описание системы так, чтобы модель не дрейфовала и в ней не смешивались несвязанные описания.



Рис. 4.7. Базовые элементы SADT модели

Третий элемент SADT модели – система, для которой составляется модель. Определение системы формулируется на уровне «черного ящика», т.е. устанавливаются границы системы и определяются взаимосвязи системы с окружающей средой.

Все три базовых элемента SADT модели взаимосвязаны, т.е. изменение одного базового элемента неизбежно требует корректировки всех остальных элементов (рис. 4.8). Процедура согласования базовых элементов модели производится на этапе начала моделирования.

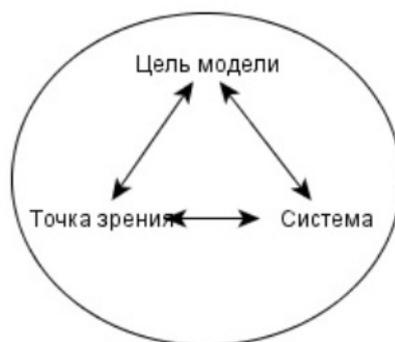


Рис. 4.8. Взаимосвязь базовых элементов SADT модели

Так, не определив, хотя бы приблизительно, какая система будет рассматриваться, невозможно сформулировать вопросы, на которые должна отвечать модель, т.е. нельзя определить цель модели. Не определив цели, невозможно говорить о точке зрения модели. С другой стороны, пока не определены цель и точка зрения, нельзя точно провести границы системы, а значит, и определить ее внешние связи.

Язык UML

Язык UML [12] представляет язык визуального моделирования, разработанный для спецификации, визуализации, проектирования и документирования компонентов программного обеспечения, бизнес-процессов и других сложных систем самого различного целевого назначения. Конструктивное использование языка UML основывается на понимании общих принципов моделирования сложных систем и особенностей процесса объектно-ориентированного проектирования (ООП).

При этом одним из основных принципов построения моделей сложных систем является принцип абстрагирования, который предписывает включать в модель только аспекты проектируемой системы, имеющие непосредственное отношение к выполнению системой своих функций или целевого предназначения. Другим принципом построения моделей сложных систем является принцип многомодельности. Этот принцип представляет собой утверждение о том, что никакая единственная модель не может с достаточной степенью адекватности

описывать все важные аспекты сложной системы. Применительно к методологии ООП это означает, что достаточно полная модель сложной системы допускает некоторое число взаимосвязанных представлений (*views*), каждое из которых адекватно отражает некоторый аспект поведения или структуры системы.

Еще одним принципом прикладного системного анализа является принцип иерархического построения моделей сложных систем. Данный принцип предписывает рассматривать процесс построения модели на разных уровнях абстрагирования и детализации. При этом исходная или первоначальная модель сложной системы имеет наиболее общее представление (метаяпредставление). Такая модель строится на начальном этапе проектирования и может не содержать многих деталей и аспектов моделируемой системы.

UML содержит стандартный набор диаграмм и нотаций самых разнообразных видов. В UML используются следующие типы диаграмм:

- диаграммы вариантов использования (*usecase diagrams*) – для моделирования бизнес-процессов организации (требований к системе);
- диаграммы классов (*class diagrams*) – для моделирования статической структуры классов системы и связей между ними. На таких диаграммах показывают классы, интерфейсы, объекты и кооперации, а также их отношения. При моделировании объектно-ориентированных систем этот тип диаграмм используют чаще всего. Диаграммы классов соответствуют статическому виду системы с точки зрения проектирования;
- диаграммы поведения системы (*behavior diagrams*);
- диаграммы взаимодействия (*interaction diagrams*) – для моделирования процесса обмена сообщениями между объектами.

Существуют два вида диаграмм взаимодействия: диаграммы последовательности (*sequence diagrams*) и кооперативные диаграммы (*collaboration diagrams*). На диаграммах взаимодействия представлены связи между объектами; показаны, в частности, сообщения, которыми объекты могут обмениваться. Диаграммы взаимодействия относятся к динамическому виду системы. При этом диаграммы последовательности отражают временную упорядоченность сообщений, а диаграммы кооперации – структурную организацию обменивающихся сообщениями объектов. Эти диаграммы изоморфны, то есть могут быть преобразованы друг в друга.

В UML используется ряд диаграмм, описывающих поведение системы:

- диаграммы состояний (*statechart diagrams*) – для моделирования поведения объектов системы при переходе из одного состояния в другое. На них представлен автомат, включающий в себя состояния, переходы, события и виды действий. Диаграммы состояний относятся к динамическому виду системы; особенно они важны при моделировании поведения интерфейса, класса или кооперации. Они акцентируют внимание на поведении объекта, зависящем от последовательности событий, что очень полезно для моделирования реактивных систем;
- диаграммы деятельности (*activity diagrams*) – для моделирования поведения системы в рамках различных вариантов использования или моделирования деятельности. Это частный случай диаграммы состояний; на ней представлены переходы потока управления от одной деятельности к другой внутри системы. Диаграммы деятельности относятся к динамическому виду системы, они наиболее важны при моделировании ее функционирования и отражают поток управления между объектами;
- диаграммы реализации (*implementation diagrams*): диаграммы компонентов (*component diagrams*) – для моделирования иерархии компонентов (подсистем) системы; диаграммы размещения (*deployment diagrams*) – для моделирования физической архитектуры системы. На диаграмме компонентов представлена организация совокупности компонентов и существующие между ними зависимости. Диаграммы компонентов относятся к статическому виду системы с точки зрения реализации. Они могут быть соотнесены с диаграммами классов, так как компонент обычно отображается на один или несколько классов, интерфейсов или коопераций.

Диаграммы вариантов использования (*usecase diagrams*) являются наиболее популярным средством работы с требованиями стейкхолдеров.

4.5. Архитектурный метод описания системы

Возрастание сложности искусственных систем потребовало разработки новых методов описания систем, в которых более детально рассмотрены основные аспекты определения и описания систем, что должно помочь в решении проблем создания сложных систем. В наиболее полном виде новый подход в описании систем представлен в стандарте ISO/IEC 42010:2007 Системная и программная инженерия. Описание архитектуры (*Systems and software engineering – Architecture description*)

[25]. Стандарт основан на понятии процесса архитектуризации (*architecting*) как процессе понимания, определения, выражения и документирования архитектурного описания системы.

Центральным понятием данного стандарта является понятие архитектуры (системы) (*architecture*) – это основные свойства системы в окружающей среде, воплощенной в ее элементах, отношениях и конкретных принципах ее функционирования. Архитектура является функциональным представлением системы и выражается через описание архитектуры. Осмысление архитектуры системы, выражаемой в описании архитектуры, способствует пониманию сути системы и ее основных свойств. Описания архитектуры используются сторонами, которые создают, применяют и управляют системами, для улучшения связи и сотрудничества между сторонами, что позволяет им работать над созданием общего представления о системе.

Стейкхолдер определяет архитектуру

Наиболее важным принципом, на котором построен архитектурный подход к описанию систем, является множественность точек зрения (интересов) на разрабатываемую систему, каждая из которых определяется стейкхолдером и теми сферами деятельности, интересы которых они выражают. На диаграмме контекста описания архитектуры стандарта ISO/IEC 42010 (рис. 4.9) определены следующие основные понятия: заинтересованное лицо, цель, интерес, система.

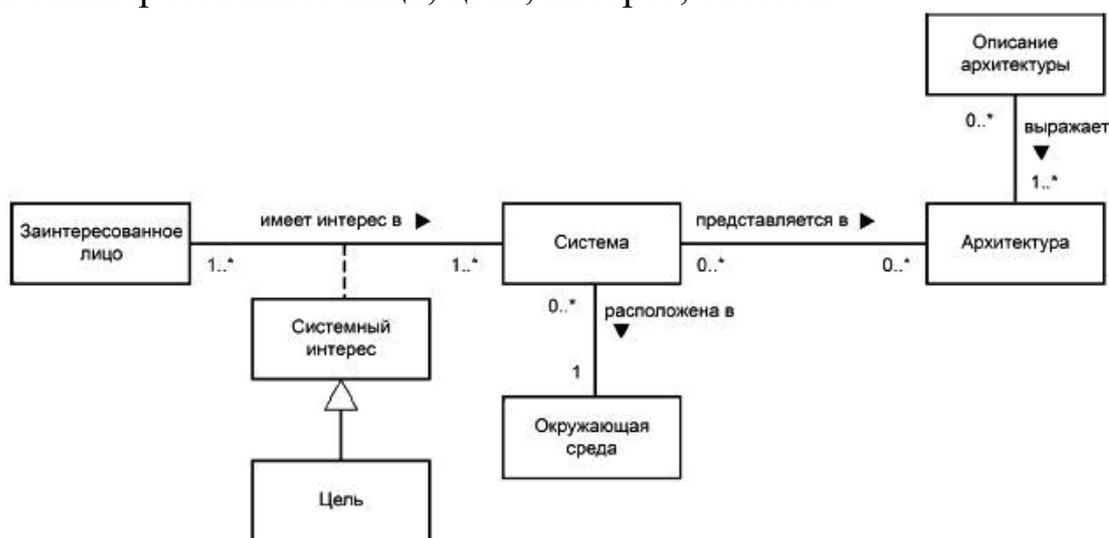


Рис. 4.9. Контекст описания архитектуры

(взяты из стандарта ISO/IEC 42010:2007 и построены в нотации UML)

Заинтересованные стороны – стейкхолдеры (*stakeholder*) – характеризуются тем, что имеют интересы (*system concern*) к проектируемой системе. Согласно диаграмме, интересы стейкхолдеров являются частным случаем целей (*purpose*) стейкхолдеров. Это подтверждается стрелкой от цели к интересу. В языке UML такая стрелка

означает отношение между двумя сущностями, одна из которых частным (специализированный) случаем другой. Интересы у стейкхолдеров могут возникать на разных стадиях жизненного цикла системы (проектировании, реализации и эксплуатации), причем у одного стейкхолдера может быть несколько разных интересов на каждой стадии жизненного цикла системы. Интерес свидетельствует о наличии потребности заинтересованной стороны, ее целям, ожиданиям, обязанностям, требованиям, ограничениям проекта и т.д.

Система находится в окружающей среде. Окружающая среда определяет все множество воздействий на систему в ее жизненном цикле, включая взаимодействия системы с самой окружающей средой и другими системами, находящимися в ее окружении. В стандарте ISO/IEC 42010:2007 окружающая среда системы рассматривается как ограниченная (конечная) и определяется интересами заинтересованных сторон системы.

Заключительными элементами контекста (рис. 4.9) являются: архитектура (*architecture*) и описание архитектуры (*architecture description*). ISO 42010 даёт следующее определение архитектуры: «Архитектура (системы) – основные понятия или свойства системы в её среде, заключающиеся в её элементах, их отношениях и принципах её проектирования и развития». Центральным элементом определения является функциональный (не материальный) характер архитектуры, прежде всего, это понятие (представление в мышлении) о системе. В этом смысле архитектура системы выступает моделью системы. Особенность архитектуры как модели – архитектура призвана объединять представление о системе всех ее стейкхолдеров.

Под архитектурой системы понимают то наиболее важное (элементы и связи), что необходимо определить по отношению к системе, чтобы принять решение о ее дальнейшей разработке. В каждом конкретном случае существенность аспектов системы определяют стейкхолдеры системы. Существенными (основными) для системы являются следующие аспекты системы:

- системные компоненты или элементы;
- детальное представление системных элементов;
- взаимосвязи между системными компонентами/элементами;
- принципы организации системы;
- принципы, управляющие развитием системы в ее жизненном цикле.

Описание архитектуры (*architecture description*) представляет собой рабочий продукт (документ), используемый для выражения архитектуры. Архитектура может быть выражена с помощью нескольких отличающихся описаний архитектуры. Количество описаний архитектуры определяется достаточностью их для понимания архитектуры стейкхолдерами системы.

Осмысление архитектуры системы, выражаемой в описании архитектуры, способствует пониманию сути системы – основных свойств, имеющих отношение к ее составу, поведению и развитию. Описания архитектуры используются для улучшения связи и сотрудничества между стейкхолдерами, что позволяет им последовательным образом добиваться интегрированного (общего) понимания системы.

Концептуальная модель описания архитектуры

Основные элементы архитектурного подхода представлены на концептуальной схеме ISO/IEC 42010:2007 (рис. 4.10), в которой можно выделить два аспекта: один связан с определением системы, а второй – с её описанием. На данной схеме используется нотация унифицированного языка моделирования (UML). Содержательный смысл концептуальной схемы раскрывается через отношения между элементами.

Элементы концептуальной схемы, связанные с определением системы представлены в верхней части схемы. К этим элементам относятся элементы, связанные с определением системы:

- рассматриваемая система;
- заинтересованное лицо (стейкхолдер);
- архитектура;
- описание архитектуры;
- интерес.

Анализ концептуальной схемы позволяет сделать следующие выводы:

- рассматриваемая система представляется архитектурой, и это означает, что в архитектуре отображаются свойства рассматриваемой системы.
- описание архитектуры выражает архитектуру;
- описание архитектуры идентифицирует (устанавливает тождественность) рассматриваемую систему;
- заинтересованное лицо (стейкхолдер) имеет интерес к рассматриваемой системе;
- описание архитектуры идентифицирует (устанавливает тождественность) заинтересованных лиц (стейкхолдер).

Отношение идентифицирует между описанием архитектуры, рассматриваемой системой и заинтересованными лицами отражает то, что при разработке описания архитектуры в ней будут учтены как сама система, так и заинтересованные в ней лица.

Интерес к системе может проявляться одним или более стейкхолдерами. Интересы возникают на всех этапах жизненного цикла системы: при выявлении потребностей в самой системе и требований,

предъявляемых к ней, при проектировании, при реализации и эксплуатации. Интерес к системе стейкхолдеров может быть заявлен в различных формах: целях, ожиданиях, требованиях или ограничениях проекта.

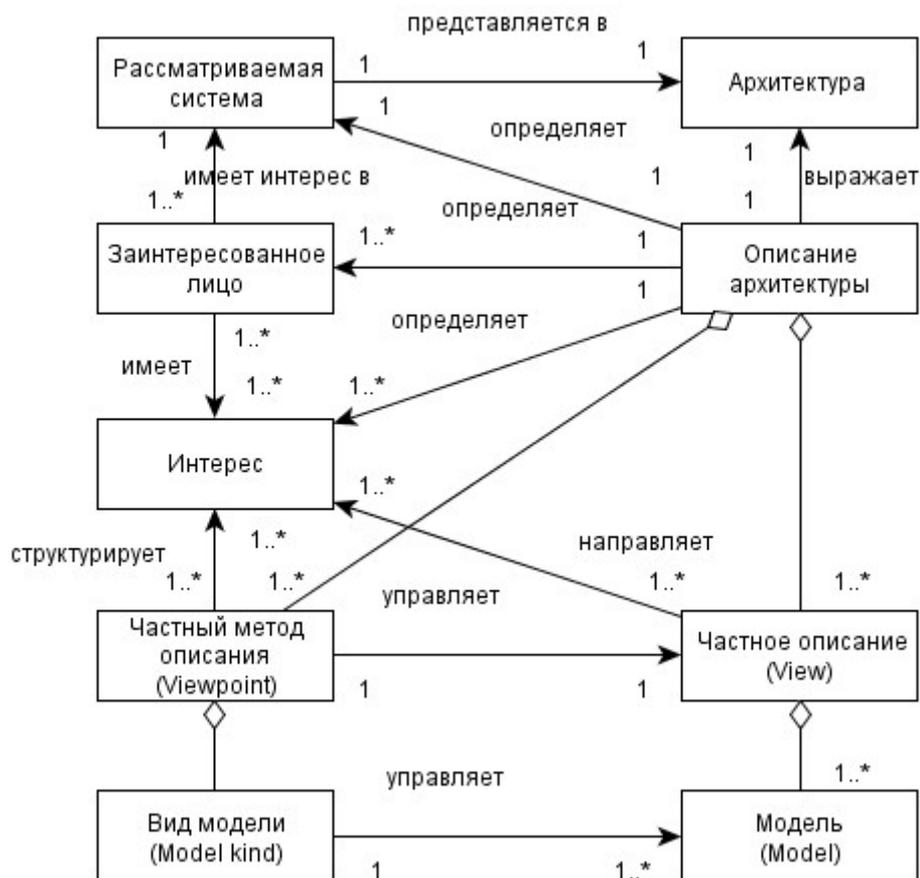


Рис. 4.10. Концептуальная модель описания архитектуры

В нижней части диаграммы представлены те элементы, на основе которых строится архитектурное описание. К ним относятся:

- частный метод описания (Viewpoint),
- частное описание (View),
- вид модели (Model Kind),
- модель (Model).

Описание архитектуры представлено в виде совокупности частных описаний (view), каждое из которых состоит из отдельных моделей (model). Частное описание направляет интересы (concern) стейкхолдеров, выражаемые в вопросах стейкхолдеры относительно системы. То есть каждый стейкхолдер среди частных описаний имеет такие, на которых есть элементы, соответствующие его интересам. Частное описание позволяет описать систему так, чтобы с каждым из стейкхолдеров можно

было провести переговоры на тему его интереса, ответить на его вопросы, откорректировать частное описание так, чтобы интересы стейкхолдера были отражены в этом описании наиболее полно и точно.

Среди форм частных описаний нужно выделить функциональные/компонентные, конструктивные/модульные и описания размещения. Но, кроме этого, может быть большое количество специфических описаний, интересующих самых разных стейкхолдеров, например, финансовое положение организации, синхронизация процессов во времени, структура владения активами, информационные потоки и т.д.. Как правило, чем сложнее система, тем потребуется большее количество частных (на какую-то одну тему) архитектурных описаний в инженерном проекте.

Само частное описание состоит из множества моделей, которые можно трактовать как разные способы формального или неформального описания, отвечающие на ещё более частные вопросы. Например, полное описание системы включает в себя финансовое описание системы, но в финансовом описании можно выделить разные модели, нужные для ответа на разные вопросы интересующегося финансами стейкхолдера (баланс, отчёт о прибылях и убытках и денежный поток). Если есть только баланс, то нельзя ответить на вопрос о безубыточности работы предприятия, а если есть отчёт о прибылях и убытках и даже баланс, то невозможно обсудить кассовый разрыв без наличия документов по денежному продукту. Одно описание – три разные модели.

Все эти модели частных описаний обычно совместимы между собой по правилам их составления. Эти правила составления называются частный метод описания (*viewpoint*). Интересы стейкхолдеров (*concern*) структурируется частным методом описания, это делает точки зрения ясными и понятными. Частный метод описаний делится на виды моделей (*model kinds*), каждый из которых устанавливает правила (соглашения) моделирования для одной из моделей описания. Например, для финансового описания нужно выбрать один из методов описания - РСБУ (Российские стандарты бухгалтерского учёта), МСФО (международные стандарты финансовой отчётности), далее при составлении баланса использовать правила одного из этих методов.

Проще всего считать, что частный метод описания представляет собой набор условных обозначений для карты, которая описывает территорию. Одно из следствий рассматриваемой схемы: нельзя делать описания, если в явном виде не рассматривается метод описания. Таким образом, архитектура системы – это общее представление о всей системе, которое раскрывается через описание архитектуры системы. Любое описание системы сделано с использованием определенного метода описания, даже если описывающий этого не осознаёт.

4.6. Виды описаний и моделей

Рассмотренный архитектурный метод описания не является единственно возможным – существуют и другие методы описания. Однако все методы описаний подчиняются общим принципам:

- описания – это модели систем;
- модели отвечают на вопросы относительно систем;
- в каждой модели отображена определенная точка зрения на систему – соответствует определенному интересу к системе;
- каждая модель имеет свою нотацию.

Виды описаний

Описания [10] могут быть двух видов: прожекторные (*projective*) и синтетические (*synthetic*).

Пржекторные описания - как в театральном прожекторе, в котором лампа белого цвета, но мы делаем цветной луч, просто отфильтровывая все цвета, кроме того, который нам понравится. По факту это означает, что у нас есть большая база данных, в которой хранятся все связанные между собой разные модели в одном формате. Когда нам нужны данные одной модели, то из этой совместно хранящейся одной базы данных отфильтровывается только требуемые, они отображаются в подходящем формате.

Синтетические описания – исходные описания даны в виде отдельных моделей, причём каждая модель не просто часть одной общей для всех моделей базы данных, а отдельный бумажный или электронный документ. Между этими автономными моделями устанавливаются **правила соответствия** (*correspondence rules*), когда элемент одной модели соответствует элементу другой модели. Общая модель тем самым получается синтетически. Рассуждения про полные и частичные описания системы при этом не меняются в зависимости от собираемых описаний из моделей - сразу (прожекторный подход к описаниям) или после создания отдельных моделей (синтетический подход).

Виды моделей

Моделирование в системном мышлении – это главное средство борьбы со сложностью. Суть системного мышления – получить полное описание системы, в котором учтено для деятельности стейкхолдеров самое важное и отсутствует всё неважное. Моделирование – это и есть способ получения таких описаний, оно заключается в использовании одного объекта – модели для вынесения суждений о другом (моделируемом) объекте – системе. Важно, что «выносит суждение»

стейкхолдер: у него есть какой-то интерес, на который и отвечает эта модель. Оформляется этот интерес методом описания, где указывается, что самое важное в моделируемом объекте, что нужно учесть в модели. Самое важное для всех моделей этого рода и называют метамоделью.

Для карты, являющейся моделью территории, метамодель – это легенда карты. Карта содержит ничтожную часть информации о территории, но это крайне важная информация. А легенда карты указывает, что важное нужно отображать. Метамодель – это описание важного в модели, а модель – это описание важного в реальном мире.

Бывают и мета-метамодели, ибо одни описания могут моделировать другие. Так, холодильник моделируется для инженера-ремонтника его принципиальной схемой. Принципиальная схема тут модель холодильника, а вот её обозначения (легенда) будут метамоделью холодильника. Но, когда мы говорим о том, как в компьютерном редакторе принципиальных схем моделируются обозначения для принципиальных схем холодильников, речь идёт уже о мета-метамодели холодильника. Моделирование имеет много уровней, например, для компьютерных структурных моделей обычно используется три-четыре уровня метамоделирования. Множество связанных друг с другом моделей (неважно, в рамках прожекторного или синтетического подхода к описанию системы) обычно называют мультимоделью. Это, как сборник мужества карт. Обычно моделирование системы мультидисциплинарно, а каждая дисциплина задаёт своё описание системы, т. е. предписывает получение набора своих моделей. Так что системное моделирование – это мультимоделирование.

Незнакомые с системным подходом с трудом воспринимают идею множественности моделей, описывающих сложную систему. Обычно они требуют указать главную модель, которая является правильной по отношению к другим вторичным моделям. Но в системном мышлении нет главной модели, для каждого стейкхолдера даётся его набор моделей для учёта его интересов. Однако стейкхолдеров много, и что является моделью для одного, то информационный шум для другого, и наоборот. Ещё одна ошибка в том, что модели специфичны для каждого системного уровня, и если выбрать неверный системный уровень, то можно скатиться к редукционизму: пробовать объяснить сложную систему взаимодействием систем нижележащих уровней. Да, человек состоит из атомов, но это неправильный системный уровень для объяснения того, чем человек отличается от роботов и кошек. Если требуется отремонтировать экскаватор, то моделирование экскаватора из атомов для обеспечения этих ремонтных работ будет крайне неверным решением. Модели должны быть удобны для деятельности, а не абстрактно научно правильными, их должно быть много, отражающих множество разных деятельностей.

Метод описания и мега-модель

Кроме набора карт, нужно иметь ещё и набор легенд для этих карт. Например, для базы данных сведений о концертах в Париже осенью 2019 г. нам нужна модель данных для таких сведений, а не только сами сведения. Введено понятие мегамодель [10] как объединение мультимодель с определяющими её метамоделями.

Частные описания системы (*views*) состоят из моделей, определяемых методами описания (*viewpoints*), в свою очередь состоящих из метамodelей, задающих виды моделей (*model kinds*). Если нам нужно отмоделировать холм в соседней деревне, то потребуются самые разные модели (карты), составляющие целый атлас (мультимодель), но, кроме этого, нам потребуется знание, какие виды моделей должны быть в атласе (например, физическая карта, политическая/административная карта, карта полезных ископаемых, карта плотности населения, карта флоры, карта фауны, карта почв и т.д.), задаваемые метамоделями (легендами соответствующих видов карт). Если нам потребуется отмоделировать холм около другой деревни, то у нас будет другая мультимодель при сохранении всех тех же метамodelей. Рассматривать же и обсуждать в целом можно будет только мегамодель: без обсуждения видов карт, соглашения об условных обозначениях на этих картах и прочего, относящегося к метамоделированию, обсуждать карты нельзя.

При обучении моделированию учат не модели (модель будет другая для каждой новой системы!), учат метамodelи, учат методы моделирования – они будут одни и те же для разных систем, они будут помогать учитывать интересы одних и тех же стейкхолдеров (ролей, а играть их будут разные люди в разных проектах). Знание метамodelей помогает переносить опыт из проекта в проект.

5. БАЗОВАЯ СТРУКТУРА ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

5.1. Предпосылки создания стандарта OMG Essence

Инженерная деятельность характеризуется большим разнообразием видов практик и способов их осуществления. Это многообразие обусловлено широким спектром создаваемых систем и условий, в которых они создаются, что неизбежно приводит к большой разновидности практик инженерной деятельности. Возникает потребность систематизировать эти практики, определить сильные и слабые стороны и целесообразность использования каждой из них в конкретных условиях. Использование системного подхода к инженерной деятельности дает возможность выделить сущностные (наиболее общие) элементы инженерной деятельности, знание которых позволяет организовать инженерную деятельность более рациональным способом.

Если рассмотреть в качестве примера практики программной инженерии, то можно отметить, что в последнее время в этой области появилось большое число различных методов, используемых при разработке программных систем: UML, XP, RUP, Agile, Scrum, Kanban, Lean, DevOps, Use Cases, User Story. Разобраться в этом потоке новых подходов становится все сложнее.

Задача моделирования практик инженерной деятельности в области разработки программных систем была поставлена в сентябре 2009 г. группой специалистов (Ивар Якобсон, Бертран Мейер и Ричард Соули) в рамках проекта SEMAT (Software Engineering Method and Theory). Свои идеи они изложили в книге [30]. Данную идею поддержали такие гуру программирования, как Барри Боэм, Эд Йордан, Скотт Амблер, Ларри Константин и Билл Куртис. В работу над SEMAT включились корпорации ABB, SAAB, IBM и Samsung.

Побудительной причиной разработки OMG Essence явилось два аспекта, обозначившиеся в практике программной инженерии в последние годы:

- многим ИТ-практикам важнее, чтобы они следовали последнему способу разработки программного обеспечения, например, новой методологии или новой технологии, чем производить отличное программное обеспечение;
- проблема, с которой сталкиваются ИТ–практики, заключается в том, что акцент в работах по технологии программирования делается на лозунгах, пропаганде и эмоциях, а не на реально существующих сложных проблемах. Например, рассматривая риторику в рамках agile сообщества о важности эмпирических процессов или лозунга «потенциально готово к поставке программного обеспечения

каждый спринт» (кто с этим поспорит?). Эти понятия продаются как бренды, распространяемые гуру, которые часто преуменьшают или просто игнорируют существующие концепции в области программной инженерии.

Для решения проблем программной инженерии разработчики OMG Essence предложили создать специальный стандарт, построенный на трех принципах:

- использовать специальный язык для описания сущности методов программной инженерии;
- определить ядро программной инженерии - наиболее общие элементы любых методов программной инженерии - в терминах специального языка;
- использовать специальный язык и ядро для описания всех методов программной инженерии для сравнения и выбора наиболее подходящий для конкретного проекта разработки программной системы.

Анализ этих принципов позволяет сделать вывод, что их совокупность представляет использование системного подхода к решению задач программной инженерии. Важным аспектом является использование специального языка, так как одной из главных задач данного стандарта выступает возможность обсуждать состояние проекта. Как результат, стандарт OMG Essence содержит в себе все элементы для описания большинства видов инженерной деятельности: создания разнообразных целевых систем и организации работы обеспечивающих систем

5.2. Базовые элементы OMG Essence

Базовыми элементами OMG Essence являются:

- Практика – это систематический (повторяющийся) способ решения конкретной работы в определенном виде деятельности;
- Метод – это совокупность практик, обеспечивающих выполнение всего комплекса работ в определенной сфере деятельности;
- Ядро Essence отражает основные элементы разработки программного обеспечения, которые являются неотъемлемой частью всех методов разработки программного обеспечения;
- Язык Essence служит средством описания практик, методов и ядер.

Между элементами OMG Essence существуют определенные связи (рис. 5.1). Так, Методы, Практики и Ядро описаны с использованием Языка OMG Essence, а Практики описывают использование элементов Ядра. Кроме того, установлено, что Практики являются компонентами Метода.

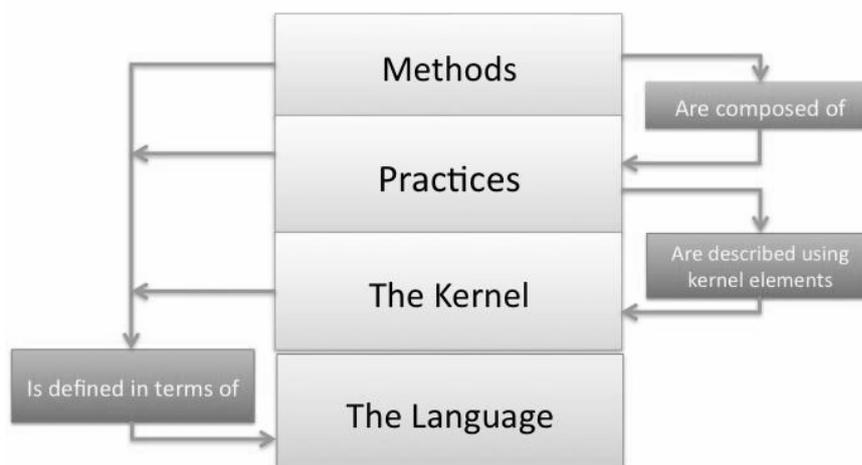


Рис. 5.1. Базовые элементы OMG Essence

Ядро Essence, представленное в стандарте, отражает основные элементы как неотъемлемую часть всех инженерных методов разработки программного обеспечения. Эти элементы отражают функциональные и модульные аспекты деятельности – то, как думают о деятельности в области программной инженерии, в какой форме отображаются результаты деятельности по созданию программных систем. Важным аспектом использования элементов Ядра является возможность проводить обсуждение состояния проекта с использованием этих элементов. Несмотря на то, что элементы абстракции, их наименование содержательно и обеспечивает общее понимание всеми специалистами при обсуждении состояния проекта.

Для других сфер инженерной деятельности потребуется модификация Ядра Essence для учета специфики конкретной инженерной деятельности, однако структура Ядра Essence в большинстве случаев не потребует изменений.

5.3. Базовые элементы Ядра

Базовыми элементами Ядра OMG Essence являются: Альфы, Проблемные области и Компетенции.

Альфа

Альфы (ALPHA – Abstract-Level-Progress-Health-Attribute) – это функциональные (выполняющие определённую функцию, играющие определённую роль, идеальные) объекты, по которым мы судим о продвижении (*progress*, «как много мы уже сделали?») и здоровье (*health*, «в проекте всё идёт хорошо») определенных составляющих проекта как деятельности. Альфы – это то, что изменяется в проекте, и изменения чего необходимо понимать, отслеживать, обеспечивать, направлять, контролировать. Альфе, как идеальному (абстрактному) объекту, в

реальном мире соответствует набор реальных объектов – рабочих продуктов, получаемые в результате деятельности.

Альфа возникает в момент разделении деятельности на компонентное (абстрактное) и модульное (конкретное, существующее в действительности) представления (рис. 5.2). Альфа соответствует компонентному (абстрактному) представлению. О модульном представлении деятельности мы можем судить только по предметам, используемым в деятельности и, прежде всего, по реальным результатам этой деятельности.

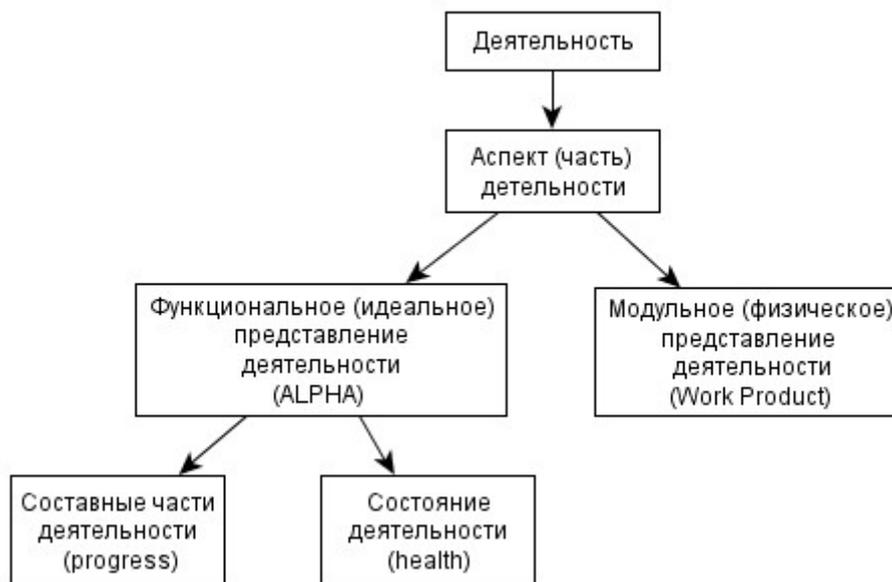


Рис. 5.2. Представление деятельности в OMG Essence

Деятельность в рамках инженерного проекта имеет множество составляющих, что затрудняет управление этой деятельностью. Введение понятия альфа дает возможность разделить сложную деятельность на составляющие (борьба со сложностью), в каждом конкретном случае фокусироваться на отдельном аспекте деятельности.

Совокупность альф позволяет описать наиболее важные аспекты инженерного проекта, которыми команда будет создавать, использовать и управлять в процессе разработки, сопровождения и поддержки системы. Управление альфой заключается в контроле ее состояния. Каждая альфа включает свои составляющие (части целого) – подальфы более узкой деятельности.

В стандарте OMG Essence выделено семь альф – аспектов проекта:

- Возможности;
- Стейкхолдеры;
- Требования;
- Программная система;
- Работа;

- Команда;
- Способ работы;

Каждая альфа имеет свои особенности, но у всех альф есть общие свойства:

- позволяет отслеживать и оценивать прогресс и усилия в области разработки системы;
- обеспечивает общую основу для определения методов разработки систем.

Проблемные области

Ядро состоит из трех отдельных проблемных областей (рис. 5.3), объединяющих элементы Ядра, связанные с определенным аспектом разработки программного обеспечения. В стандарте выделено три области интересов:

- Клиенты (*Customer*) – содержит все, что связано с фактическим использованием и эксплуатацией целевой системы. Таким образом, данная область соответствует использующей системе;
- Решение (*Solution*) – содержит все, что обеспечивает проектирование и создание целевой системы.
- Предприятие (*Endeavor*) – объединяет все, что связано с командой разработчиков и их подходом к своей работе. Эта область относится к обеспечивающей системе.



Рис. 5.3. Проблемные области Ядра

Для каждой из трех проблемных областей установлен свой цвет: зеленый обозначает проблемную область для клиентов, для решения установлен желтый цвет, а синий применяется для сферы деятельности команды разработчиков. Области интересов (проблемные области) разделяют альфы по видам деятельности, в каждой из которых собраны альфы, имеющие общие свойства. Альфы инженерного проекта разделены по трем проблемным областям следующим образом:

1. Клиенты:
 - Возможности;

- Стейкхолдеры;
2. Решение:
- Требования;
 - Программная система;
3. Предприятие:
- Работа;
 - Команда;
 - Способ работы.

Расположение альф по проблемным областям показано на рис. 5.4.

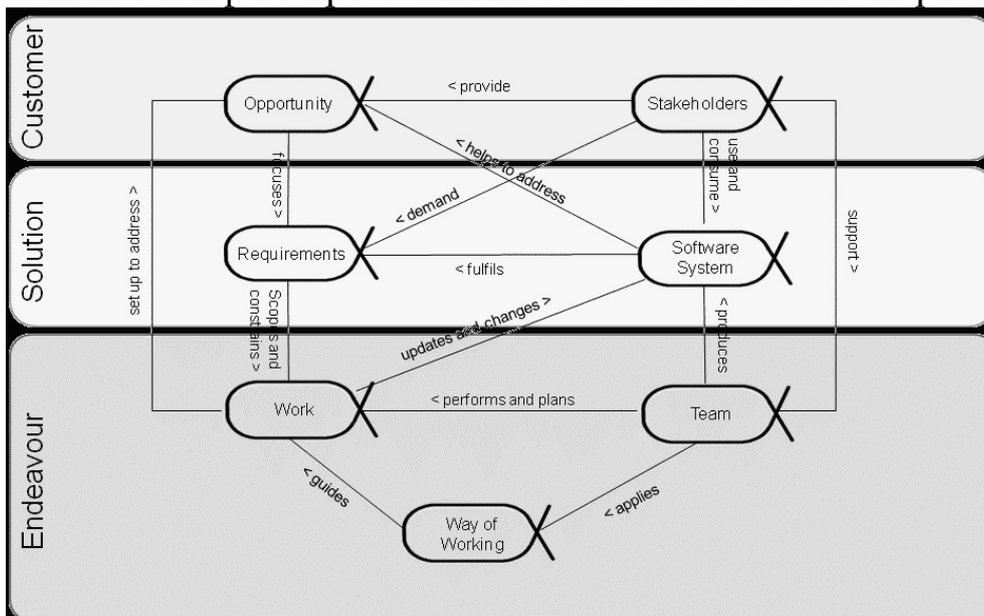


Рис. 5.4. Альфы проекта разработки целевой системы

Компетенции

Ядро определяет набор компетенций, необходимых для осуществления проекта. Описание компетенций дополняет описание альф проекта и деятельности по его осуществлению. Компетенции Ядра показаны на рис. 5.5.

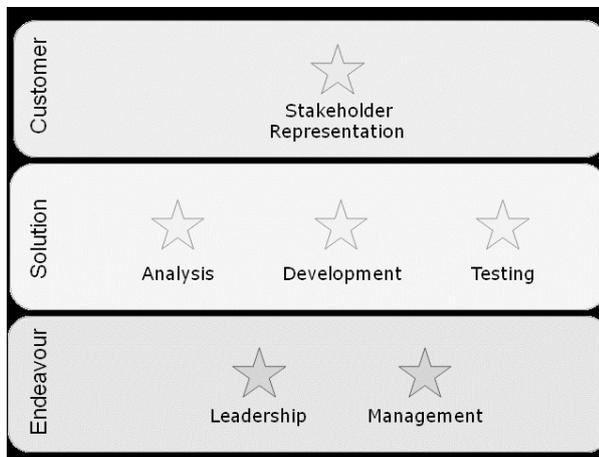


Рис. 5.5. Компетенции проекта создания системы

В проблемной области «Клиент» команде проекта необходима компетенция «Представление интересов стейкхолдеров». Эта компетенция отражает способность команды проекта собирать, общаться и согласовывать потребности разных стейкхолдеров и точно представлять их точку зрения.

В проблемной области «Решения команды» необходимы следующие компетенции:

- «Анализ» – способность понимать возможности и связанные с ними потребности заинтересованных сторон и преобразовывать их в согласованный набор требований;
- «Разработка» – способность проектировать системы и программировать программный код при соблюдении существующих стандартов и нормам, принятых в данном проекте;
- «Тестирование» – способность тестировать систему, т.е. проверять ее работоспособность и соответствие требованиям.

В области «Предприятие» команда должна быть в состоянии организовать работу и управлять рабочей нагрузкой. Для этого необходимо, чтобы команде были доступны следующие компетенции:

- «Лидерство» – позволяет человеку вдохновлять и мотивировать группу людей к успешному завершению своей работы и достижению своих целей.
- «Управление» – включает способность планировать, координировать и контролировать работу, сделанную командой.

5.4. Определение альф инженерного проекта

В проблемной области «Клиент» расположены две альфы:

1. Альфа «Возможность» определяет аспекты, которые делают целесообразным разработку или изменение программной системы. Альфа «Возможность» формулирует причину создания новой или измененной программной системы, отражает общее понимание командой проекта потребностей заинтересованных сторон и помогает формировать требования к новой системе программного обеспечения, предоставляя обоснование для ее разработки.

2. Альфа «Стейкхолдеры» определяет аспекты, связанные с заинтересованными сторонами проекта (люди, группы или организации), которые оказывают влияние на проект, непосредственно участвуют в нем или будут иметь отношение к программной системе в своей деятельности. Альфа «Стейкхолдеры» предоставляют альфе «Возможность» реализоваться и является источником требований и финансирования для системы программного обеспечения. Для обеспечения создания

приемлемой системы программного обеспечения необходима организация работы со всеми стейкхолдерами.

В проблемной области «Решения» располагаются две альфы:

3. Альфа «Требования» определяет аспекты проекта, показывающие, какой должна быть система для реализации Альфы «Возможности» и «Стейкхолдеров». Альфа «Требования» – функциональный объект, в котором определяется, что необходимо от системы разным стейкхолдерам, как можно согласовать и объединить разные интересы в общее понимание между стейкхолдерами и членами команды. Результаты работы команды в области альфы «Требования» будут использованы для разработки и тестирования новой системы.

4. Альфа «Программная система» определяет аспекты функционирования по реализации требований в реальную систему, состоящую из программного обеспечения, аппаратных средств и данных.

В проблемной области «Предприятие» должна быть сформирована команда, ее способ работы и определены работы для реализации проекта.

5. Альфа «Работа» определяет аспекты деятельности, связанные с умственными или физическими усилиями для достижения результата проекта. В контексте разработки программного обеспечения работа – это все, что делает команда для достижения целей создания системы программного обеспечения, соответствующей требованиям, и решения возможностей, представленных заинтересованными сторонами. Альфа «Работа» опирается на практики, задающие способ работы команды.

6. Альфа «Команда» определяет аспекты деятельности по организации группы специалистов, активно занимающихся разработкой, обслуживанием, поставкой или поддержкой конкретной программной системы. Одна или несколько групп планируют и выполняют работу, необходимую для создания, обновления и/или изменения программной системы.

7. Альфа «Способ работы» определяет индивидуальный набор практик и инструментов для руководства и поддержки работы. Команда развивает и адаптирует свои практики в соответствии с пониманием команды своей миссии в проекте и изменяющихся условий рабочей среды (текущего контекста).

5.5. Пространства активности

Ядро предоставляет набор пространств активности (*activity space*) (рис. 5.6), в каждой из которых установлены наиболее общие виды деятельности (*activity*) инженерного проекта в данной проблемной области. Каждая из активностей может затрагивать несколько Альф

проекта. С другой стороны, каждая Альфа может участвовать в нескольких активностях.

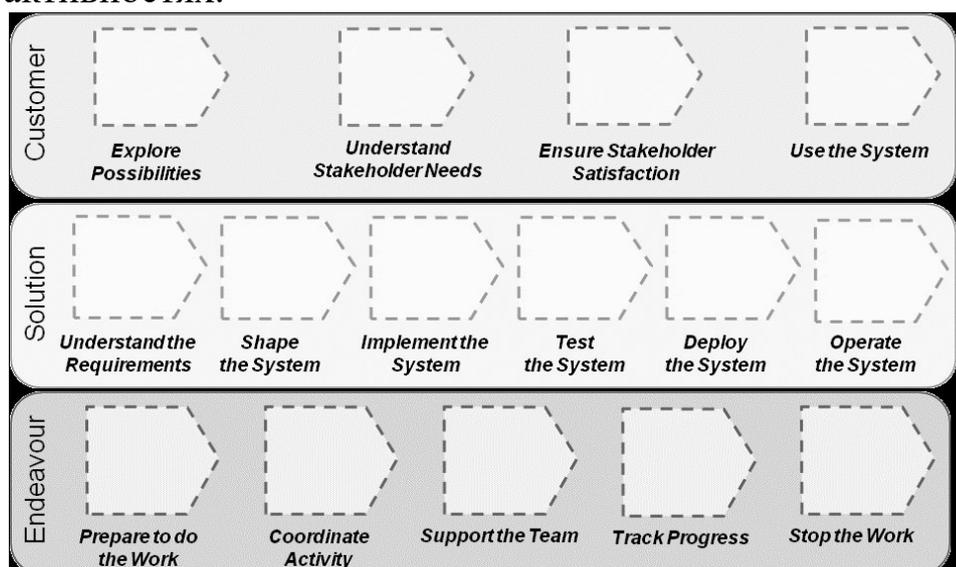


Рис. 5.6. Пространство активностей

В проблемной области «Клиент» активность команды проекта должна достичь понимания имеющихся возможностей и привлечь стейкхолдеров. В этой проблемной области определены следующие активности:

1. «Исследование возможности» – исследование возможностей, появляющихся в связи с созданием новой или улучшенной программной системы. Анализ возможностей способствует выявлению заинтересованных сторон (стейкхолдеров).

2. «Понимание потребностей стейкхолдеров» заключается во взаимодействии с заинтересованными сторонами для понимания их потребностей. Эта активность включает в себя как выявление стейкхолдеров, так и работу с представителями стейкхолдеров для реализации альфы «Возможности».

3. «Обеспечение удовлетворенности стейкхолдеров» предполагает совокупность действий со стейкхолдерами, чтобы учесть их требования в реализованной системе, а также выполнить необходимые проверки, подтверждающие реализацию всех возможностей и стейкхолдеры признают систему успешной, удовлетворяющей их нуждам.

4. «Использование системы» заключается в наблюдении за использованием системы в реальной среде, как она приносит пользу заинтересованным сторонам.

В проблемной области «Решения» команда должна разработать соответствующее решение для использования возможностей и удовлетворения интересов заинтересованных сторон:

1. «Понимание требований» создает общее понимание того, что должна делать создаваемая система.

2. «Форма системы». Активность обеспечивает: развитие, изменение, поддержку и реализацию текущих и будущих требований к системе. Активность включает в себя разработку общего дизайна и архитектуры системы.

3. «Внедрение системы». Создание системы обучения путем внедрения, тестирования и интеграции одного или нескольких ее элементов. Деятельность включает исправление ошибок и модульное тестирование.

4. «Проверка системы» с точки зрения ее соответствия требованиям стейкхолдеров.

5. «Развертывание системы». Установка готовой системы в использующей системе и обеспечение ее функционирования вне команды разработчиков.

6. «Работа с системой» – поддержка использования программной системы в использующей системе.

В проблемной области «Предприятие» команда должна быть сформирована и продвигать работу в соответствии с согласованным способом работы:

1. «Готовность к работе» – формирование команды и подготовка рабочей среды ее функционирования (помещение, инструменты, ресурсы).

2. «Координация деятельности» – оперативное управление работой команды, включающее все текущее планирование работы, а также переформирование команды.

3. «Поддержка команды» – действия по оказанию помощи членам команды для улучшения сотрудничества и улучшения способ работы (практик).

4. «Контроль выполнения» – измерение и оценка прогресса в выполнении проекта командой.

5. «Прекращение работы» – завершение работ команды по проекту.

5.6. Оценка состояния альфа проекта

Каждая альфа имеет набор predetermined состояний (*state*), которые используются для оценки продвижения деятельности (*progress*) по этой альфе в ходе проекта. Для каждого predetermined состоянием альфы есть набор предварительно составленных контрольных вопросов (*checkpoint*), ответы на которые позволяют оценить соответствие состояния альфы. Важно, что стандарт предлагает конкретные списки таких контрольный вопросов, собранных в виде чек-листов. Эти списки можно использовать напрямую в большинстве инженерных проектов. Например, альфа «Воплощение системы» имеет состояния:

- «в виде сырья»,

- «в виде частей»,
- «демонстрируемо»,
- «готово»,
- «эксплуатируется»,
- «выведено из эксплуатации».

Контрольные вопросы для достижения состояния «готово» (система как целое была принята для эксплуатации):

- функциональность, обеспечиваемая системой, протестирована;
- уровни дефектов приемлемы для стейкхолдеров;
- установочная и другая пользовательская документация доступна;
- представители стейкхолдеров принимают систему, как удовлетворяющую своему назначению;
- состав передаваемой стейкхолдерам системы известен;
- представители стейкхолдеров хотят принять систему в эксплуатацию;
- эксплуатационная поддержка наличествует.

Карточки с контрольными вопросами используются командой проекта в своей деятельности для того, чтобы оценить ход работ по проекту. Такая оценка делается на совещании всей рабочей группы, каждый член группы имеет свой комплект карточек и индивидуально определяет состояние каждой альфы проекта. В ходе таких обсуждений выявляются пропущенные работы или работы, требующие дополнительных усилий для своего завершения. Это происходит в том момент, когда один из членов команды, сообщает, что на один из вопросов карточки он не может дать положительного ответа.

5.7. Схема основных элементов Ядра OMG Essence

Рассмотрим взаимосвязи между основными элементами Ядра OMG Essence. На схеме (рис. 5.7) даны элементы Ядра OMG Essence: альфа, состояние альфы, рабочий продукт, пространство активности, активность (дело), компетенция.

Наиболее важными связями на данной схеме являются связи между Альфой, Состоянием альфы и Рабочим продуктом. Альфа имеет несколько состояний, подтверждаемых Рабочими продуктами. Альфа описывается Рабочими продуктами, а они организуют Альфу.

Пространство состояния устанавливает контрольные цели для Альфы, достижение которых оценивается по Состояниям альфы. Пространство активности организует совокупность работ (Дело), в результате которых создаются Рабочие продукты. Выполнение работ (Дело) требует соответствующего уровня компетентности.

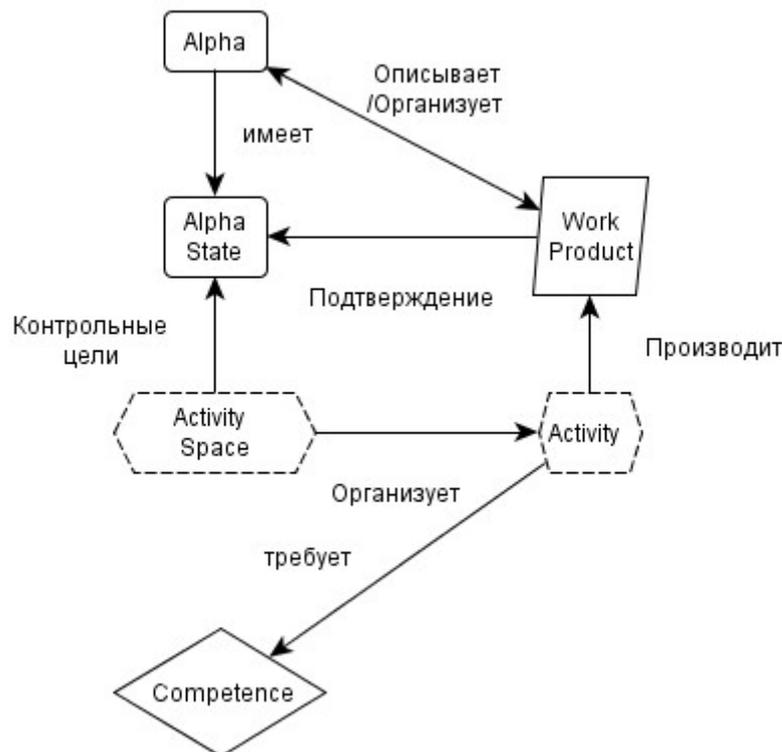


Рис. 5.7. Основные элементы Ядра OMG Essence:

альфа (Alpha); состояние альфы (Alpha State); рабочий продукт (Work Product); пространство активности (Activity Space); Дело (Activity); компетенция (Competence)

Данная схема – центральный элемент Языка OMG Essence. Полный набор элементов языка требует специального изучения и позволяет описывать любые виды деятельности. Однако Язык OMG Essence разработан так, чтобы можно было использовать его с очень небольшими подмножествами языковых элементов. Примером осмысленного использования подмножества Язык OMG Essence является схема альфы инженерного проекта. Считается, что достаточно выделить в инженерном проекте эти базовые элементы, чтобы иметь возможность говорить о состоянии, прогрессе и здоровье разрабатываемой (целевой) системы.

6. СИСТЕМНЫЕ ПОДХОДЫ К ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

6.1. Базовая модель деятельности

С системной точки зрения могут рассматриваться не только физические объекты, но и деятельность по созданию, эксплуатации и другим действиям, осуществляемым по отношению к системам [29]. При рассмотрении деятельности как системы будут использоваться базовые элементы системного подхода: присутствие систем в реальном мире (4D экстенционализм), множественность точек зрения на систему (стейкхолдеры и аспекты), иерархии систем, выделение функционального и конструктивного в системе.

Разделение деятельности на части позволяет выделить базовые элементы деятельности как системы: субъект деятельности, объект деятельности и сама деятельность (процесс деятельности) как совокупность преобразований объекта (рис. 6.1).

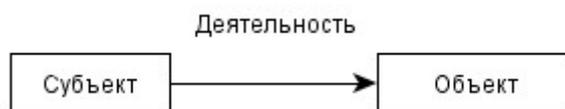


Рис. 6.1. Базовая модель деятельности

Таковыми преобразованиями могут быть простое перемещение объекта на плоскости, а также сложный вид перемещений, например, транспортировка груза с одного склада на другой. Еще более сложным является деятельность по управлению работой производственного участка или целым предприятием.

Необходимо отметить, что понятие деятельности является обобщенным и необходимо отличать понятие деятельности и конкретного действия. Под деятельностью понимается вся совокупность субъектов, объектов и процессов, участвующих в деятельности в разные моменты времени, а под действием – отдельная часть деятельности, т.е. отдельный элемент деятельности по изменению объекта деятельности.

В общем случае понятие деятельности в системном подходе принято рассматривать как активное воздействие субъекта на объект действительности, во время которого субъект удовлетворяет какие-либо свои потребности, достигает поставленные цели (рис. 6.2).

Целеполагание рассматривается как сочетание мотива деятельности и формулировка этого мотива в виде цели. Наличие побудительных мотивов и постановка целей субъектом деятельности является исключительной особенностью человеческой деятельности. Вопросы целеполагания деятельности подробно рассматриваются в таких

дисциплинах, как психология и менеджмент. В системной инженерии человеческая деятельность рассматривается с точки зрения организации деятельности людей, обеспечивающих создание успешных систем.

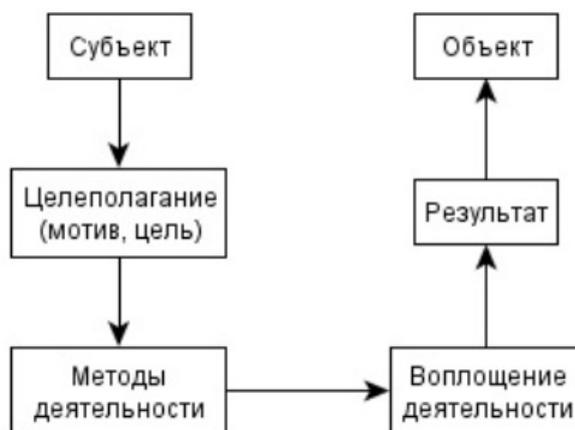


Рис. 6.2. Детальная модель деятельности

Разделение совокупности действий (собственно деятельности) по преобразованию объекта с точки зрения абстрактного и конкретного позволяет выделить методы деятельности и воплощение деятельности в физическом мире (рис. 6.2). Реализация целей субъектом будет воплощаться в деятельности с использованием определенных методов (способов) деятельности. Результат деятельности приведет к изменению того объекта, на который направлена деятельность субъекта. В тот момент, когда у субъекта в отношении объекта появиться новый мотив, цикл деятельности будет повторен, но уже с другим результатом. Деятельность разных субъектов, ставящих разные цели, будет давать разные результаты. При системном рассмотрении деятельности возникает необходимость определять те реализации деятельности, которые дают лучшие результаты. Это достигается описанием деятельности, которое может быть проанализировано, улучшено и использовано в практической деятельности как нормативный документ.

При описании деятельности применяется общий принцип системности – выделение в деятельности абстрактного и конкретного представлений. Для обозначения абстрактного представления деятельности в системной инженерии используется термин «методологическая действительность» (*methodology realm*), а для обозначения конкретной деятельности – «действительность предприятия» (*endeavour realm*).

В первом случае, когда рассматривается «методологическая действительность», то обсуждается деятельность вообще, т.е. не

относящаяся к конкретному проекту или предприятию. В этом случае невозможно указать на конкретный экземпляр реальной деятельности, так как «методологическая действительность» рассматривает абстрактную деятельность как объект, выделяя в нем только наиболее общие элементы. Во втором случае, когда рассматривается «действительность предприятия», будут обсуждаться конкретные объекты и дела этого предприятия, «индивиды» (*individual*), которые имеют протяжённость в пространстве - времени.

В качестве примера деятельности рассмотрим театральную пьесу, которую разыгрывают по ролям в разных театрах [10]. Одна и та же пьеса в разных театрах, даже в одном театре в разные дни, будет иметь разную интерпретацию. Абстрактным представлением пьесы выступает сама пьеса как текст, написанный автором пьесы. Важно отметить, что при этом самой деятельности в реальности не происходит. Например, первое действие пьесы А.П. Чехова «Вишневый сад» начинается со слов автора

«Входят Дуняша со свечой и Лопахин с книгой в руке».

Далее идет текст, который произносят персонажи пьесы:

Лопахин: «Пришел поезд, слава богу. Который час?»

Дуняша: «Скоро два. (Тушит свечу.) Уже светло».

Конкретным представлением деятельности будет спектакль, сыгранный в конкретном театре, в конкретный день, конкретными исполнителями ролей данной пьесы, причем каждое исполнение пьесы будут в чём-то уникально. Продолжая рассматривать деятельности на примере пьесы, необходимо отметить важное обстоятельство - не всегда реальная деятельность осуществляется строго по сценарию, некоторая часть деятельности осуществляется импровизиционно, т.е. в соответствии с обстоятельствами, возникающими в момент осуществления деятельности. В примере театральной деятельности выделены: метод деятельности (сценарий спектакля, пьеса) как «методологическая действительность» и воплощение деятельности в реальности (спектакль) как «действительность предприятия».

В системной инженерии методологический аспект деятельности рассматривается как практика, а воплощение деятельности как процесс, в котором выделяют функциональный аспект (структуру процесса) и модульный (реализацию процесса). Основные элементы деятельности представлены на диаграмме рис. 6.3.

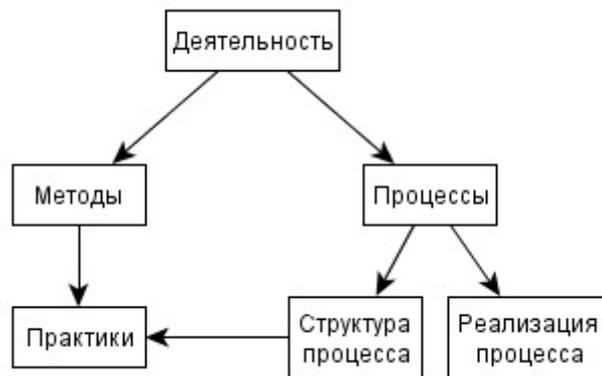


Рис. 6.3. Детализация элементов деятельности

Далее рассмотрим методы и процессы деятельности более подробно.

Метод деятельности

Метод деятельности - это способ осуществления деятельности, который ведет к достижению поставленной цели (рис. 6.2). Метод выступает нормативной моделью процесса деятельности, определяя, как нужно действовать наиболее рациональным и оптимальным образом в процессе решения соответствующих задач. Различные виды деятельности имеют свои внутренние закономерности, принципы, правила и свои методы. Человечество накопило множество методов деятельности, но непрерывное усложнение задач и появление новых возможностей требуют постоянного обновления методов их решения.

Метод отражает внутренние закономерности развития той деятельности, в которой он применяется, обнаруживает присущие данному процессу существенные особенности, что повышает эффективность деятельности. Учет закономерностей и принципов деятельности позволяет выработать правильные приемы, соблюдение которых повышает надежность выполнения деятельности актором (деятелем). Таким образом, метод – это правила действия, которые стандартны и однозначны. Необходимо учитывать, что правила могут быть различного рода. Для решения типовых задач разрабатываются алгоритмические правила. Для решения творческих задач наиболее эффективны эвристические предписания. Возможны также правила промежуточного типа.

В системной инженерии под методом понимается не только описание деятельности, но и набор всех необходимых знаний и теорий, которые нужны для успешного выполнения работы, а также набор всех необходимых для работы инструментов – от станков и механизмов до компьютерных программ. Понимание методологии дает важный практический результат – возможность изучать и совершенствовать методы деятельности. С другой стороны, то, что не осознаётся, нельзя и

изменить. Нельзя улучшить результаты работы, если не знаешь о существовании метода, которым она выполняется. Чтобы научиться улучшать методы работы самых разных специалистов, следует научиться единообразно о них думать, выделять существенное и абстрагироваться от особенностей конкретной деятельности.

В системной инженерии понятие о методе деятельности рассматривается как объединение отдельных практик [10]. Практики связаны со структурой процесса деятельности - элементами, используемыми в процессе деятельности, между которыми есть определенные взаимосвязи, обеспечивающие достижение целей деятельности. В понятии практика зафиксирован универсальный (многократно повторяющийся) характер этих элементов деятельности, как в деятельности отдельной организации, так и общепринятый в некоторой отрасли. В системной инженерии каждая практика рассматривается с точки зрения выделения функционального и конструктивного аспектов деятельности. Функциональный аспект практики отображается в дисциплине – теории, в которой рассматриваются основные закономерности деятельности. Конструктивный аспект представлен в технологии – необходимых материалах и инструментах для реализации дисциплины в процессе деятельности (рис. 6.4).

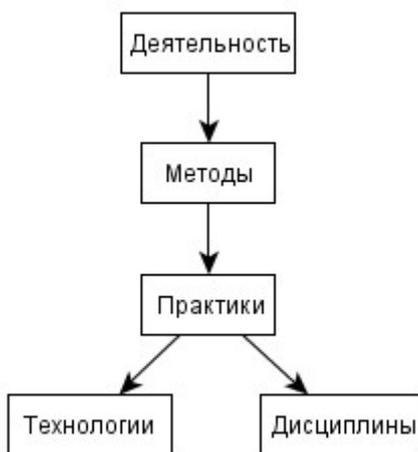


Рис. 6.4. Методологические основы деятельности

Процесс

Процесс – это организованная деятельность, у которой имеется назначение и можно выделить взаимодействующие элементы. В большом энциклопедическом словаре процесс (от лат. *processus* – продвижение) определен как «последовательная смена явлений, состояний в развитии чего-либо; совокупность последовательных действий для достижения какого-либо результата (например, производственный процесс)».

Термин «процесс» часто используется для обозначения деятельности, но имеет разное содержание в разных дисциплинах. Так, в

стандарте ISO 9001 [32] дано следующее определение процесса: «Процесс - это совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих видов деятельности, которые преобразуют входы в выходы». Понятия процесс, используемое в стандарте ISO 9001, было взято из концепции реинжиниринга бизнес-процессов [48]. В рамках этих концепций процесс рассматривается как относительно независимая совокупность действий, имеющая на выходе результат, представляющий интерес для клиента процесса. Для обеспечения качества процесса (удовлетворенности клиента) предлагается ряд мер: обеспечение ресурсами, введение ответственного за процесс (владельца процесса) и выделение операций управления процессом. Таким образом, в стандарте ISO 9001 процесс рассматривается как последовательность операций, имеющая на выходе конечный результат. Недостатком рассмотрения процесса как совокупности операций является то, что разделение общей деятельности на отдельные операции субъективно, так как объективных границ действий не существует.

Существенным отличием подхода системной инженерии к деятельности является рассмотрение процесса как объекта. В 4D экстенционализме все возможные виды деятельности: «изменения», «действия», «процессы» рассматриваются как четырёхмерные индивиды, состоящие из темпоральных частей всех четырёхмерных индивидов, принимающих в них участие. Такой подход более объективен, так как границы объектов легко можно обнаружить и стейкхолдеры могут договориться об общем понимании участия объектов в деятельности.

Рассмотрение процесса с точки зрения системной инженерии позволяет выделить в нем объекты деятельности и их взаимосвязи (структуру) и реализацию процесса, как совокупность действий, разворачивающихся во времени.

Рассмотрим особенности рассмотрения деятельности в системной инженерии на примере танца. Танец как индивид деятельности в какой-то момент начинает существовать, а в какой-то прекращает существование. Он является целым и включает в себя все участвующие в нём индивиды как части (отношение *composition*). Танец – это не только четырёхмерные танцоры, участвующие в его исполняющие (их темпоральные части от начала до конца танца), но и фрагмент четырёхмерного пола, и ещё четырёхмерный объем воздуха с колебаниями в нём, ибо в этих колебаниях - музыка для танца. Танец – это индивид особого типа «действие». А отношение часть-целое между танцем и всеми участвующими в нём индивидами (танцорами, полом, воздухом) относятся к особому подтипу отношения часть-целое отношению «участие в деятельности». Выделение целого и рассмотрение его как часть большего целого, а затем рассмотрение частей этого целого в

деятельности является примером холистического подхода к анализу действительности.

Описание деятельности на основе 4D экстенционализма позволило определить способ рассмотрения деятельности как индивидуальных объектов. Все индивидуальные объекты, участвующие в деятельности, можно определить простым их перечислением, а происходящие с ними изменения описывают в терминах смены их темпоральных частей, каждая из которых представляет определенное состояние объекта. Границами этих состояний (темпоральных частей) являются события, образующие саму деятельность. Рассмотрение процессов как объектов обеспечило объективное рассмотрение процессов, что снизило субъективность в их рассмотрении.

6.2. Процесс как система

Процесс как система возникает в тот момент, когда возникает потребность выделить часть деятельности с целью описания ее, установления регламентов или модернизации этой деятельности. Иногда возникает потребность создания новой деятельности в дополнение к существующей.

Характерными особенностями процесса как одного из видов деятельности являются наличие названия, назначения и результатов процесса. Название процесса позволяет выделить и идентифицировать его среди других деятельностей. Назначение процесса (основная функция) - та глобальная роль, которую он призван осуществлять в объемлющей системе, та выгода, которую процесс приносит для использующей системы. Результат процесса - проверяемый итог успешного выполнения процесса, достижимый и обозримый в рамках осуществления процесса и передаваемый в другие процессы в качестве входа (рис. 6.5). Процесс может и не иметь входа в том случае, когда результат процесса является информацией. Если на выходе появляется материальный результат процесса, то для него обязательно должен быть указан исходный материал – физический объект, который преобразуется в выход.

Рассматривая процесс с системной точки зрения, необходимо указать методы, используемые при выполнении. Такими элементами являются дисциплина и технология. Если для моделирования процессов использовать нотацию стандарта IDEF0 [5], то для каждого процесса (Activity) необходимо указать управление и механизм. Управление будет включать как дисциплину, так и нормативную часть технологии – регламенты процесса. Механизмом будет часть технологии, в которую входят инструменты (с помощью чего будет выполняться процесс).

Отличительной особенностью процессов является наличие актора (деяателя), участвующего в выполнении процесса.

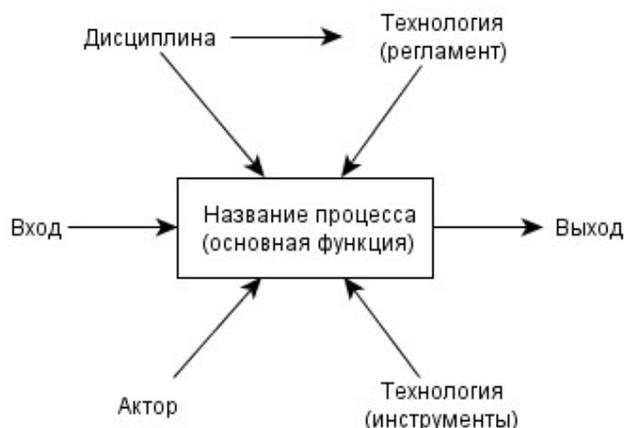


Рис. 6.5. Системное представление процесса

Если в соответствии с принципами подхода системной инженерии процесс будем рассматривать как целевую систему (процесс будет модернизироваться), то процессы, с которыми взаимодействует модернизируемый процесс, являются системами в операционном окружении.

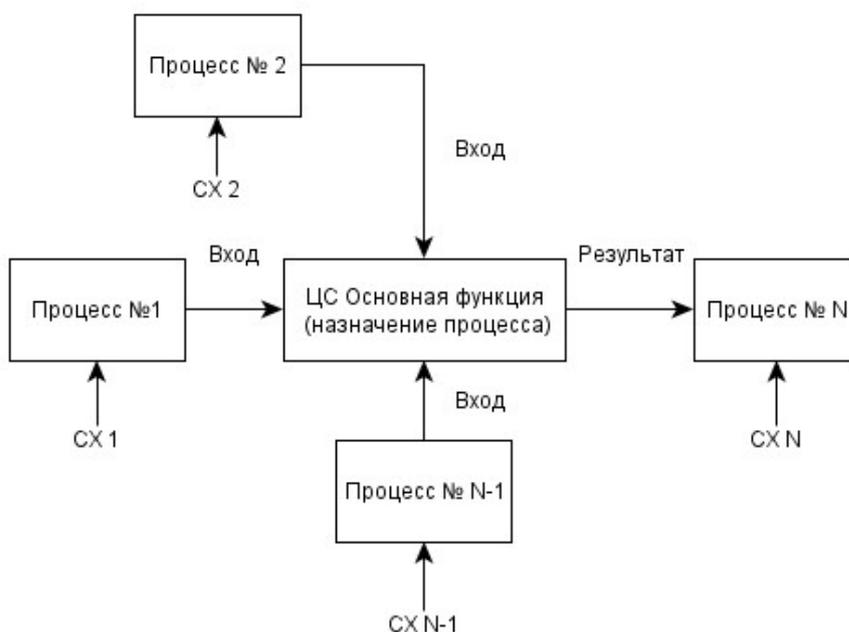


Рис. 6.6. Системное окружение процесса как целевой системы

Модернизируемый процесс представляется собой совокупность объектов, используемых в процессе и операций, осуществляющих преобразование этих объектов (рис. 6.6).

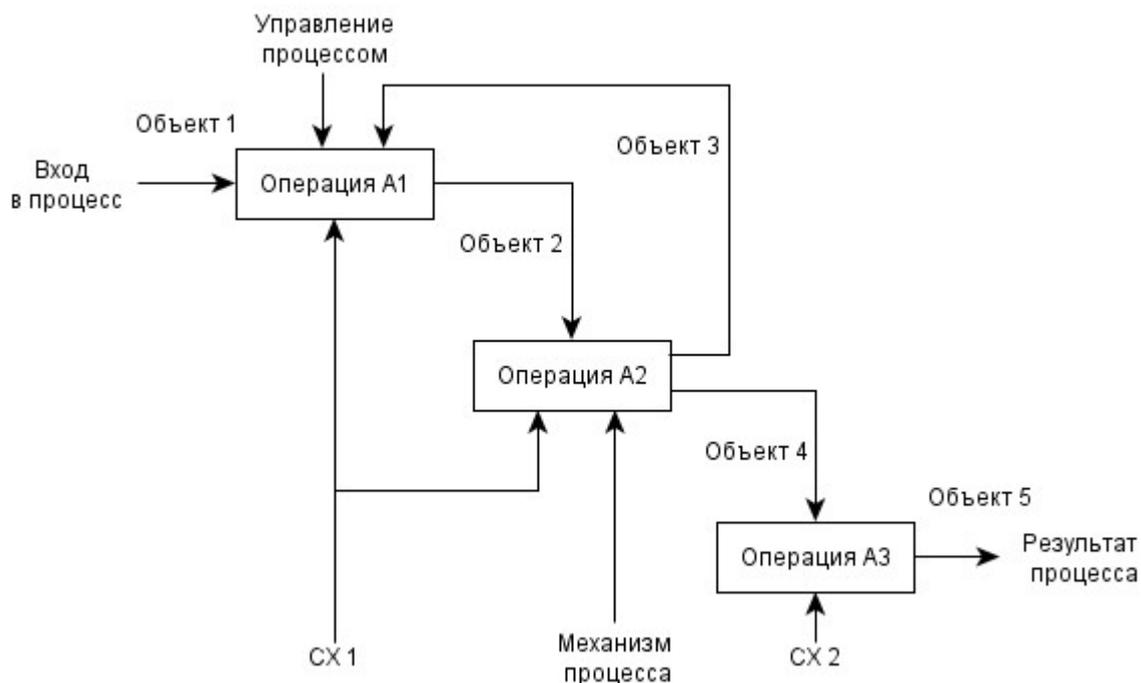


Рис. 6.7. Описание процесса как целевой системы

В каждом из процессов будут свои акторы, которые по отношению к целевой системе будут выступать как внешние стейкхолдеры рис. 6.6 (СХ-1 – СХ-N); акторы целевой системы входят в группу внутренних стейкхолдеров рис. 6.7 (СХ-1 и СХ2). Если процесс существует, то первой задачей является разработка описания этого процесса - создание модели процесса. Такая модель строиться с точки зрения владельца процесса; при необходимости создаются модели с точки зрения других внутренних стейкхолдеров. Основой для разработки модели процесса «как есть» являются нормативные документы по процессу: положение о подразделении, должностные инструкционные карточки сотрудников подразделения, осуществляющие процесс, технологические инструкции и регламенты выполнения операций процесса. Большую помощь в разработке модели процесса может дать его описание, выполненное в рамках системы менеджмента качества предприятия. Однако следует учитывать, что вся эта информация о процессе только дополнительная, так как модель процесса «как есть» разрабатывается в рамках задачи перепроектирования процесса, что требует от разработчиков модели сфокусированности на выявлении недостатках процесса. Модель процесса «как есть» обязательно должна быть согласована со всеми внутренними стейкхолдерами, что обеспечивает ее адекватность и создает надежную основу для разработки предложений по улучшению процесса.

Разработка модели процесса «как должно быть» в полной мере соответствует проектированию целевой системы, основные подходы

которого рассмотрены в гл. 4. Применение системного подхода к описанию процессов приводит к разделению описаний процессов как систем по следующим уровням:

- опорное описание процесса – его назначение в рассматриваемой деятельности (рис. 6.6);
- принципиальное описание процесса – элементы процесса: объекты и функциональное назначение операций (рис. 6.7);
- выполняемое описание процесса – регламенты выполнения процесса и его операций.

Важнейшим, отличительным элементом процесса являются практики, которые используются при выполнении операций процесса. Практики целесообразно указывать на принципиальном описании процессов, где их можно разделить по тем операциям (Activity), в которых они используются. Поэтому при разработке модели процесса на уровне операций рекомендуется указывать основные элементы практики (рис. 6.5).

Выполняемое описание процесса конкретизирует действия для используемых в организации методов и технологий, имеющихся в наличии инструментов и распределяет акторные роли по конкретным организациям, организационным подразделениям или штатным должностям. Выполняемое описание имеет вид инструкций, регламентов, типовых документов (шаблонов), т. е. задаёт нормы деятельности, в той или иной степени обязательные к применению. Выполняемое описание должно содержать описание инфраструктуры процесса или ссылки на такое описание. *Инфраструктура процесса* – это часть его окружения (полное окружение процесса – это инфраструктура и обученные люди). Инфраструктура процесса состоит из оборудования и компьютеров, программ, документации и баз данных, сервисов, методов, инструментов, методик, стандартов, оборудования и помещений для разработки, эксплуатации или ремонта. Процессы, для которых на выполняемом уровне описания не специфицирована инфраструктура, не могут быть внедрены.

Важно понимать, что в современной организации важнейшей формой выполняемых описаний являются компьютерные программы. В системах документооборота, в компьютеризированных бухгалтериях, на складах и в цехах компьютерные программы однозначно задают последовательности операций, не позволяют отклоняться от запрограммированных образцов заполнения форм. Понимание связей компьютерных программ как выполняемых описаний процессов с более абстрактными архитектурными описаниями этих же процессов необходимо при анализе эффективности работы и любых попытках

изменить процессы, что в части работы с бумажными документами, что в части финансов, что в части технической (производства).

6.3. Проектный подход

Существенно другим видом деятельности по сравнению с процессом является проектная деятельность. Проект – это особый вид деятельности, которая характеризуется следующими аспектами: наличием цели, обязательных требований к её достижению, ограниченностью рамок времени и других ресурсов, доступных для осуществления проектной деятельности.

Таким образом, в проекте появляются два новых существенных признака – наличие цели проекта и ограниченность ресурсов для его выполнения. Цель проекта отличается от назначения процесса тем, что она может быть достигнута, после чего проект прекращается. Это особенность существенно отличается от понятия выполнение назначения процесса или даже получение процессом его результата вовсе не означает его прекращения, так как процесс выполняет своё назначение и обеспечивает результат (например, выпуск качественной продукции в процессе управления качеством) постоянно и непрерывно. В рамках системной инженерии рассматриваются проекты, целью которых создание или модернизация целевой системы.

Ограниченность ресурсов проекта означает, что при инициации проекта было принято решение о суммарной стоимости проекта, и выход за рамки оговоренной стоимости будет оцениваться как нарушение проектных показателей. Наличие цели и ограниченность ресурсов отражают специфические интересы стейкхолдеров проекта, состоящие в гарантированном достижении цели деятельности в срок и в рамках ресурсных ограничений.

Проект нужно рассматривать как особый вид деятельности, включающий совокупность отдельных процессов, направленных на достижение целей проекта. Инженерный проект по созданию целевой системы будет включать следующие процессы:

- определение возможностей достижения целей;
- работа со стейкхолдерами по выявлению их требований;
- разработка архитектуры системы;
- разработка рабочих чертежей;
- воплощение системы;
- проверки и приемка системы.

В проекте обязательными являются специфические процессы проектной деятельности:

- определение работ (процессов), требуемых к выполнению в рамках проекта;
- создание команды проекта - подбор специалистов на определенные роли в проектной деятельности;
- определение технологий выполнения работ проекта;
- управление работами, бюджетом и проектными рисками.

Способом использования процессного и проектного подходов при описании деятельности является использование процессных описаний как образцов (шаблонов) при создании планов конкретных проектов – описаний проектов выполняемого уровня (см. далее).

Важнейший аспект проектного подхода – тесная связанность проекта с конкретной целевой системой, выражаемой в цели проекта. В формулировке цели проекта обязательно указывается, что будет происходить с целевой системой в рамках проекта.

7. ПОДХОД ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА

7.1. Базовые элементы жизненного цикла

Термин «жизненный цикл» – производное от биологического «жизненного цикла», в рамках которого каждый биологический объект рождается, производит потомство, а затем умирает. Для искусственных систем понятие жизненного цикла (ЖЦ) условно, так как искусственные системы не умеют себя воспроизводить.

Базовое понятие жизненного цикла (*life cycle*) – последовательность этапов (стадий), в каждом из которых объект находится в разных состояниях: проектирование, изготовление, эксплуатация, утилизация. Стадии ЖЦ выделяют по резким изменениям, происходящим в состоянии системы в ходе ее существования. Термин «жизненный цикл» всегда означает полный (от замысла до прекращения существования). В необходимости рассматривать не только все части системы, но и весь ее ЖЦ с его стадиями заключен основной принцип системного подхода.

Для различных объектов понятие ЖЦ будет разным. Например, ЖЦ продукции в рамках отдельного предприятия включает следующие этапы: проектирование, изготовление опытного образца, производство – изготовление экземпляров одной и той же продукции по чертежам, разработанным на этапе проектирования. ЖЦ продукции заканчивается, когда принимают решение о прекращении выпуска данного вида продукции. Этапа утилизации в данном случае не происходит – чертежи на изделие продолжают храниться в архивах предприятия. ЖЦ конкретного экземпляра продукции не имеет стадии проектирования – он начинается с изготовления, продолжается в эксплуатации и заканчивается утилизацией.

Типовой ЖЦ (проектирование, изготовление, эксплуатация, утилизация) для разных систем различен. На рис. 7.1. приведен пример разнообразия жизненных циклов в части разбиения их на стадии в том виде, как это понимается в ISO 15288 [34].

Важнейшим элементом ЖЦ являются работы, выполняемые на различных стадиях. Особенности работ каждой стадии можно определить по названию стадии.



Рис. 7.1. Разнообразие жизненных циклов

Каскадная модель жизненного цикла

Выделение стадий в жизненном цикле системы подталкивало к последовательному выполнению работ на каждой стадии. В результате общепринятым стало использование каскадного («водопад») способа организации работ жизненного цикла: на каждом этапе выполняется весь комплекс работ и к ним уже не возвращаются (рис. 7.2).

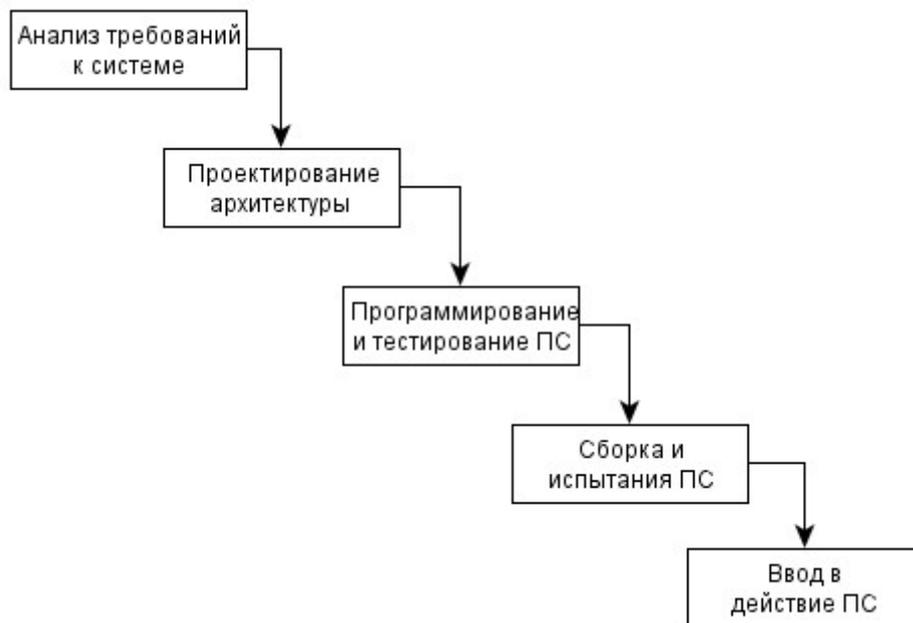


Рис. 7.2. Каскадная модель жизненного цикла

Для более убедительной иллюстрации этого невозвратного хода работ традиционную диаграмму жизненного цикла начали рисовать в виде ступенек водопада.

Гейты

Между стадиями ЖЦ осуществляется тщательная проверка и приёмка результатов предыдущих стадий, при этом принимается решение о продолжении работ, возврате на доработку или прекращении работ. Эти проверки и приёмки с принятием решений между стадиями ЖЦ получили название гейтов (*gates*). Необходимость проверок и приемок между стадиями ЖЦ обусловлена высоким риском выполнения работы предыдущего этапа не в полном объеме, а вернуться к ним на следующих этапах или невозможно, или сопряжено с большими затратами на устранение ошибок.

Гейты характеризуются следующими элементами:

- усиленным контролем конфигурации – наличием согласованного комплекта описаний системы – «утверждённых версий» проектных моделей и документации. В дальнейшем изменения в «утверждённых версиях» могут проводиться только по специальной процедуре с множеством дополнительных проверок;
- проведением испытаний, проверкой инженерных обоснований (в том числе с привлечением независимых экспертов);
- принятием осознанного решения: Go – No, Go – Cancel (рис. 7.3). Если риск продолжения проекта приемлемый, то дается разрешение на переход на следующую стадию, в случае высокого риска возврат на доработку, снижающую риск. Если риск очень высок и доработка вряд ли поможет его снизить, то проект закрывается, жизненный цикл системы прекращается.

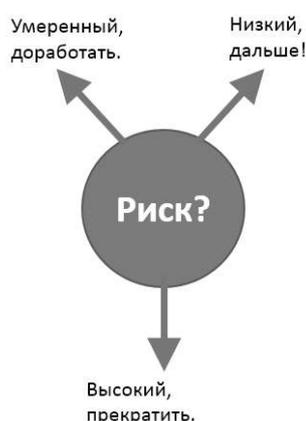


Рис. 7.3. Оценка риска завершения этапа

Каскадная модель ЖЦ выполняется в проектах, в которых накоплен большой опыт создания похожих систем, например, гражданское (жилищное) строительство. Во всех остальных случаях, несмотря на проверку и приемку результатов после каждого этапа, всё равно при попытке продолжить работы с этими результатами находят ошибки и недоработки и приходится повторно выполнять работы предыдущих

стадий жизненного цикла. Особенно ярко эти проблемы проявляются при разработке программных систем с уникальностью большинства разработок. При выполнении реальных проектов в области программной инженерии с большинством практик (определенных видов работ) приходится работать в ходе всего ЖЦ, а работы назначать (и выделять ресурсы для проведения этих работ) на эти практики независимо от «водопадной» модели ЖЦ.

Реализовать классическую каскадную модель ЖЦ в чистом виде затруднительно ввиду сложности разработки программных систем без возвратов к предыдущим шагам и изменения их результатов для устранения возникающих проблем. В этой связи разработаны варианты каскадной модели с обратными связями между ее отдельными шагами (рис. 7.4).

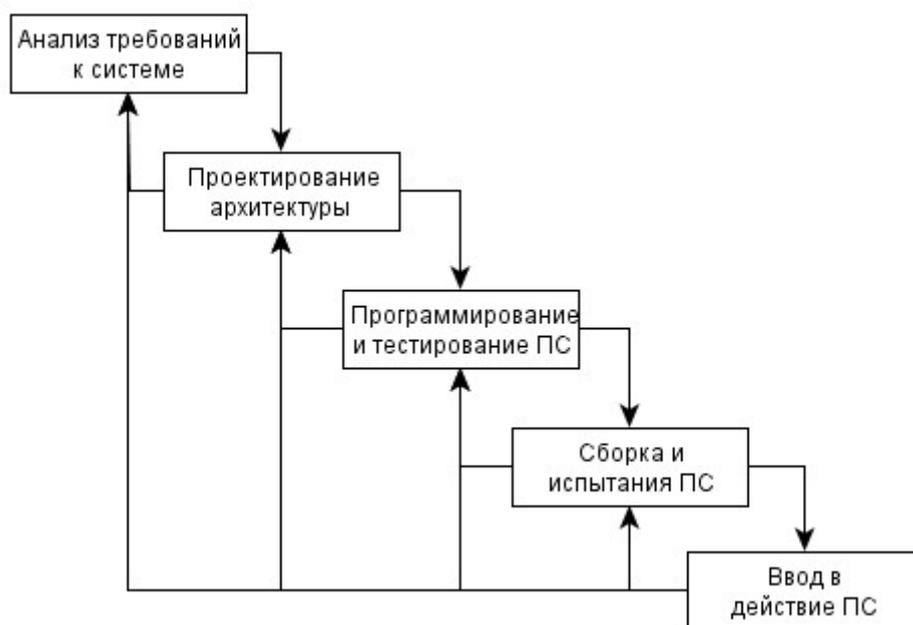


Рис. 7.4. Каскадная модель с обратными связями

Возможна организация обратных связей между любыми шагами каскадной модели, что позволяет вернуться к любому этапу разработки системы – выполнить практики этого этапа. Использование обратных связей инициируется или при выявлении ошибки в ходе работ этапа или процедурой проверки и приемке гейтами между следующими этапами разработки.

Достоинством каскадной модели с обратными связями по сравнению с классической каскадной моделью является возможность исправить ошибки предыдущих шагов процесса разработки. К недостаткам относятся сложности планирования и финансирования проекта, достаточно высокий риск нарушения графика разработки.

Главный недостаток каскадной модели ЖЦ в изолированности

каждого этапа с точки зрения времени выполнения работ. Пока не принято решение о начале работ нового этапа, невозможно приступить к их выполнению. Этот принцип противоречит наличию высокой неопределенности в разработке сложных систем, что требует возврата к предыдущим стадиям.

Для решения проблем каскадного способа организации работ стал использоваться параллельный способ: работы разных этапов выполняются параллельно (одновременно), на следующий этап ЖЦ передается не конечный результат работы этапа, а результат следующей итерации разработки (рис. 7.5). Например, одновременно ведется проектирование трех итерации системы, а первая версия системы уже начинает эксплуатироваться. Важным итогом параллельной разработки является сокращение сроков разработки системы.

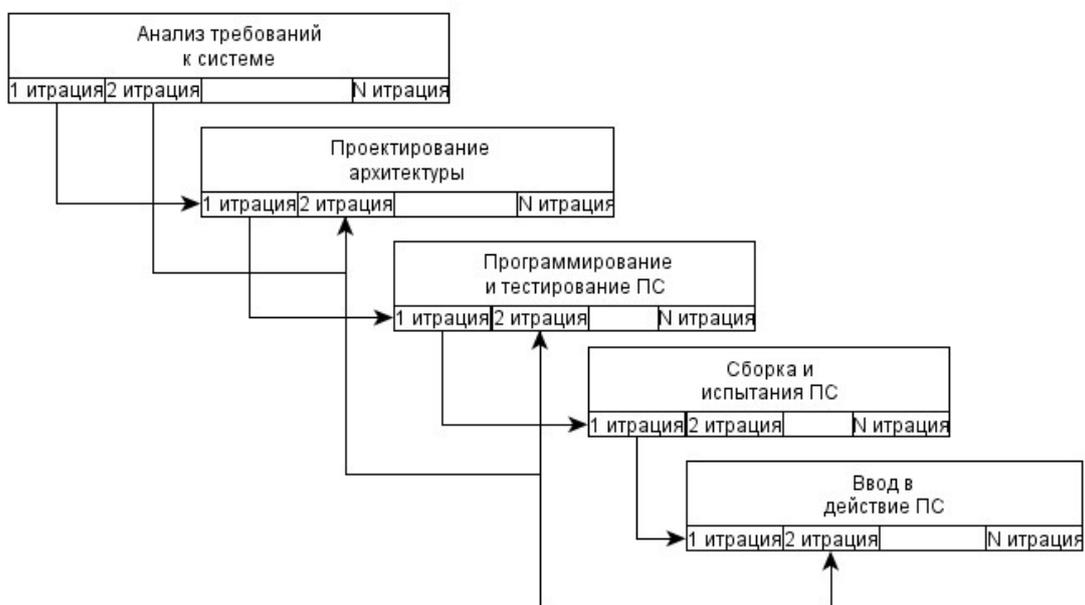


Рис. 7.5. Параллельный способ организации работ

Очевидно, что параллельный способ разработки, в первую очередь, применим к разработке программных систем, где переход с одной версии системы на другую не вызывает особых проблем. Для случая разработки физических систем этот метод может использоваться, но не в полном объеме – до воплощения системы в «металле».

Рассмотренные модели ЖЦ позволяют выделить этапы и рассматривать разные подходы к организации выполнения всей совокупности этапов. Эта модель ЖЦ дает возможность обсуждать интерфейсы между работами с точки зрения входов и выходов и доступности ресурсов, что позволяет отвечать на вопросы: «Когда и кем будет выполняться работа? Когда работа будет закончена?». Но обсуждать вопросы «Как лучше выполнить работы? Какие использовать технологии?» в рамках этой модели жизненного цикла невозможно.

7.2. Системная модель жизненного цикла

Для обеспечения эффективной работ на всех этапах ЖЦ системы необходимо перейти к моделям ЖЦ, в которых более подробно рассмотрены наиболее важные аспекты организации работ этапов. На первом этапе следует определить всех участников работ, связанных с ЖЦ системы. Надо ответить на два вопроса: «Кто выполняет работы по отдельному этапу ЖЦ системы?», «В рамках какой организационной задачи выполняются работы по созданию системы?». Ответы на эти вопросы даны на рис.7.6. В полной модели ЖЦ, кроме центрального элемента – «ЖЦ Целевой системы», присутствуют еще два элемента: «ЖЦ Обеспечивающей системы» и «ЖЦ Проекта».

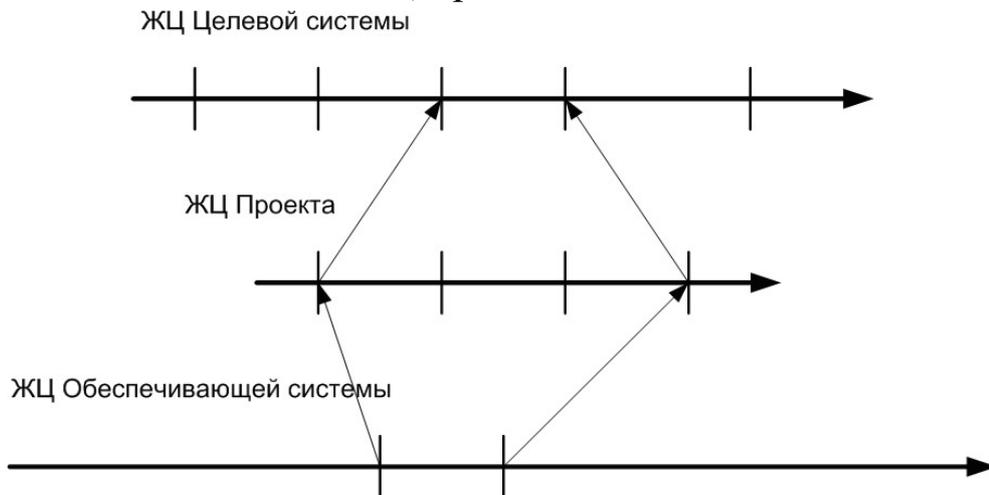


Рис. 7.6. Полная модель жизненного цикла

Удобно обозначать ЖЦ системы линией времени с засечками, при этом он всегда подразумевается полным – от замысла до момента прекращения существования. На второй линии можно указать ЖЦ проекта, который короче ЖЦ системы, например, включать в себя только замысел и проектирование или только изготовление системы как физического объекта.

Полная модель ЖЦ включает обеспечивающую систему, осущетвляющую проект по выполнению работ одного (или нескольких) этапов ЖЦ целевой системы. Рассмотрение ЖЦ обеспечивающей системы позволяет учесть, что, как и любую систему, ее нужно проектировать, изготавливать и налаживать, причем для этого потребуются совсем другие методы, чем при разработке целевой системы.

Так как в ЖЦ целевой системы рассматриваются работы по изменению системы на каждом этапе, то возникла необходимость объединить эти работы в понятие «проект» как способ управления этими работами – «проектное управления». Возникло понятие ЖЦ проекта (*project life cycle*) – работы ЖЦ системы, выполняемые в конкретном проекте. Проекты обычно совпадали с работами, проводимыми для одной

или нескольких стадий ЖЦ системы. Это является естественным делением ЖЦ, потому что разные проекты часто выполнялись разными организациями – и требуется как-то выделять части ЖЦ, за которые несут ответственность выполняющая проект организация.

В итоге, в системной инженерии используется следующее определение ЖЦ: жизненный цикл системы (*system life cycle*) – это деятельность всех обеспечивающих систем, ведущих целевую систему от её замысла до вывода из эксплуатации. Отличие этого определения от базового в переносе внимания с целевой системы на ту деятельность, которая обеспечивает изменение ее состояния. В системной инженерии основное внимание обращено на изменение образа мышления, которые происходят в обеспечивающей системе на каждой из стадий ЖЦ системы: на стадии проектирования люди думают о проектировании, на стадии строительства о стройке, на стадии эксплуатации – об эксплуатации.

В рамках полной модели ЖЦ на передний план выходит функциональное представление обеспечивающих систем, позволяющее обсуждать, как работает обеспечивающая система. Переход к функциональному представлению обеспечивающей системы произошел через создание гибридных диаграмм.

Спиральная модель жизненного цикла

Первой попыткой добавить в модель ЖЦ функции обеспечивающей системы явилась спиральная модель, предложенная Barry Boehm [35] в 1978 г. Работы в этой модели (рис. 7.7) учитывались как развёртка



Рис. 7.7. Спиральная модель жизненного цикла

применения тех или иных практик работы во времени, а сама линия времени как символ выделения ресурсов для показанных практик была нарисована по спирали.

Работы представлялись как идущие по спирали применения практик: на каждом витке спирали предполагалось, что в работах используются последовательно все практики (продукт как бы разрабатывается до конца на каком-то уровне детальности), после чего цикл повторяется много раз, пока продукт не будет окончательно готов.

Это был очень несовершенный вариант вида ЖЦ, так как подразумевал много последовательно идущих подряд «водопадов», список выбранных практик был отнюдь не полный для ЖЦ от замысла до уничтожения уже использованного воплощения системы, а ограничивался разработкой, но это не помешало спиральной модели считаться основой прагматических вариантов ЖЦ.

«Горбатая диаграмма» жизненного цикла

Одной из самых известных гибридных диаграмм ЖЦ является «горбатая диаграмма» (*hump diagram*) из методологии разработки программного обеспечения Rational Unified Process (RUP), созданной компанией Rational Software. Горбатая диаграмма обычно используется для того, чтобы показать относительные трудозатраты по различным практикам в ходе жизненного цикла. Кроме того, эта диаграмма чётко показывает, что большинство практик оказываются выполняемыми на разных стадиях ЖЦ, а одна стадия жизненного цикла включает выполнение многих практик (рис. 7.8).

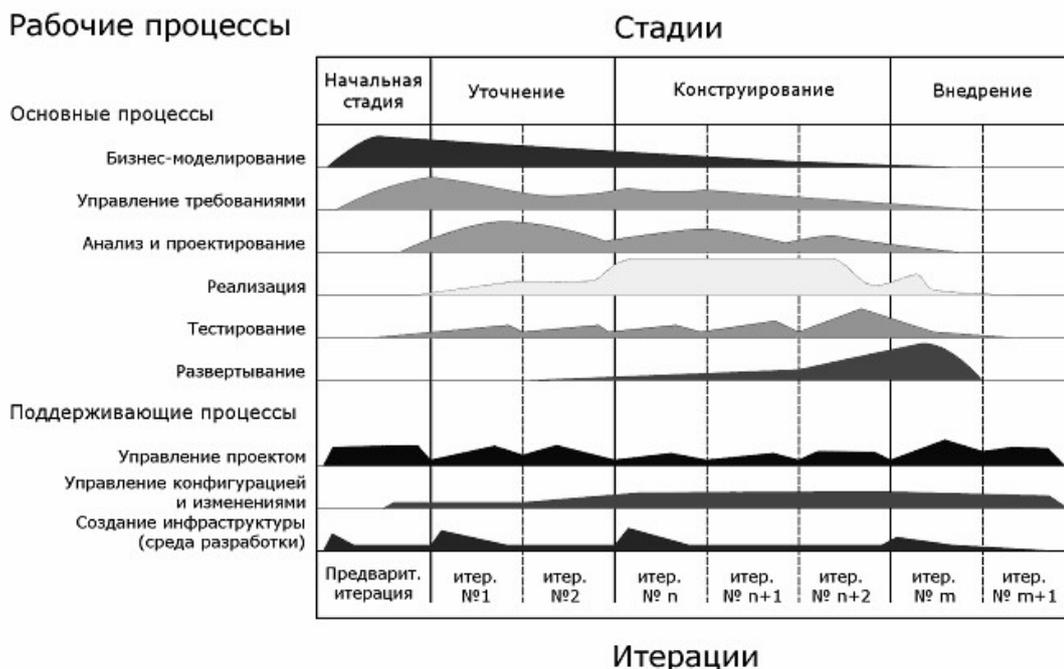


Рис. 7.8. Графическое представление процесса разработки по RUP

Полный ЖЦ разработки продукта состоит из четырёх фаз, каждая из которых включает в себя одну или несколько итераций. В этой диаграмме,

кроме «итераций», разбитых на «стадии» во времени, появилась новая сущность – рабочие процессы, которые представляют собой практики (*practice*), поименованные по их теоретической инженерной или менеджерской дисциплине (*discipline*). Практики (дисциплины + рабочие продукты + инструменты по их поддержке) часто называют практиками ЖЦ, ибо выполнение этих практик и составляет основное содержание деятельности в инженерном проекте: инженерия требований, инженерия системной архитектуры, управление проектами и т.д.

Появление практика соответствует использованию функционального аспекта в определениях ЖЦ. Работы разных практик: организационное моделирование, инженерия требований, анализ и проектирование, разработка, испытания, разворачивание, управление конфигурацией, управление проектом, работа с окружением распределены по стадиям проекта. На самом графике показано, что интенсивность этих работ по разным дисциплинам разная в различные моменты времени ЖЦ тем самым на графике интенсивности работ появляются «горбы», отсюда и название «горбатая диаграмма». С этого момента ЖЦ стал представлять собой архитектурное описание деятельности: основные практики (функциональные объекты, определявшие, что нужно делать, чем заниматься) в нём как-то назначались на основные работы, разворачиваемые во времени (модульные объекты, указывающие на единицы использования ресурсов и места во времени, когда эти ресурсы задействованы).

7.3. Практики жизненного цикла

Ключевым для определения обеспечивающих систем является её функциональное определение, отвечающее на вопрос: «Как работает?». Компонентами/функциональными элементами обеспечивающих систем как систем человеческой деятельности являются практики (*practices*) [10]. Часто про практику говорят как о «деятельности» (*activity* или *action*), когда речь идёт о выполнении работ какой-то практики стейкхолдерами. По этой терминологической традиции инженерные практики называют «инженерной деятельностью», практику управления конфигурацией – «деятельностью по управлению конфигурацией». Практика как альфа состоит из двух подальф: дисциплины/теории и технологии/инструментов и рабочих продуктов.

Использование термина «дисциплина» подразумевает, что это «научная дисциплина», или «учебная дисциплина» – некоторая теория (фундаментальная или прикладная), которая определяет основные альфы, необходимые для деятельностного мышления о предметной области (*domain*) того или иного стейкхолдера. Дисциплине обучается деятель

(актор), которую затем будет играть стейкхолдерскую роль, требующую владения этой дисциплиной. Технология – это поддерживающие работу с дисциплиной инструменты, средства производства, рабочие продукты. Рекомендуется следующая формула для запоминания: «дисциплина загружается в голову, а технология разворачивается на местности». Так как практика - это компонента (функциональный объект) обеспечивающей системы, то работа с практиками имеет сложности, связанные с тем, что работа с функциональными объектами контринтуитивна.

Практика может быть задействована в самых разных последовательностях работ, освоение практики даёт предприятию оргспособности (*enablers*) для выполнения этих работ. Оргспособности можно наблюдать по факту выполнения работ и используемых ресурсов. Оргвозможности обеспечивающей системы определить трудней, так как необходимо оценить, правильно ли выполняются операции работ, используются ли рассуждения в соответствии с дисциплиной практики, задействуются ли инструменты – все это требует хорошего знания самой практики, её дисциплины и технологии.

Понятие практики, применимо и к работе с практиками: есть практики по работе с практиками. Так, «Управление жизненным циклом» и «Архитектура предприятия» являются такими практиками по работе с практиками. В практике «Управление жизненным циклом» обсуждает управление конфигурацией, изменениями и логистику для работ, предназначенных для выполнения всех необходимых в ходе ЖЦ практик. В практике «Архитектура предприятия» обсуждает, главным образом, распределение полномочий по использованию ресурсов труда (компетентные в исполнении работ практики исполнители) и технологии (использование инструментария, сырья, других рабочих продуктов). У них есть свои дисциплины (учебники по этим дисциплинам), а также технологии. Для управления ЖЦ используемая технология обычно представляет какие-то варианты систем управления версиями и трекеров – специальных программных систем распределения ресурсов и контроля выполнения работ, описания используемых на предприятии практик с чеклистами контрольных точек. Для архитектуры предприятия технология обычно сводится к программным системам моделирования архитектуры (например, ArhiMate [36]).

Дисциплина в составе практики

Главное в практике – «невидимая» часть – дисциплина. «Видимой» дисциплина может стать только путём её моделирования. Дисциплина, чаще всего, появляется как результат исследований. Это могут быть либо фундаментальные исследования, когда предлагаются гипотезы – предложения по новым альфам, существование которых раньше не

обсуждалось. Дальше эти гипотезы проверяются (ставятся эксперименты по адекватности этих альф реальной жизни – точны ли модели, в которых ситуации описываются в терминах предложенных альф и отбрасываются неудачные гипотезы), и в случае их подтверждения появляется новая дисциплина, обычно с новым названием. Дисциплина может быть прикладной, она появляется тогда в результате прикладных исследований инженерного характера. Результаты таких исследований изложены в учебниках, научных статьях и описаниях практического опыта.

Дисциплина в практике меняется относительно редко, а вот технологии меняются много чаще. Тем не менее, быть успокоенным владением какой-то дисциплиной нельзя. Так, состояние дисциплины лучшее известное на сегодняшний момент попадает в учебники лет через пять, ещё пять лет проходит в вузе. Поэтому нельзя ограничиваться знанием дисциплин программы вуза, нужно отслеживать не только относительно частые смены технологии в практике, но и относительно редкие изменения в дисциплине.

Технология в составе практики

Традиционный капитал (средства производства) мёртв, если он не поддержан человеческим капиталом – образованными в части дисциплины и натренированными на владение конкретным вариантом инструментария данного предприятия сотрудниками. Причем этот инструмент должен быть установлен на данном предприятии, но необходимо наличие сотрудников, умеющих использовать данный инструмент по назначению, но для этого требуется знать соответствующую дисциплину.

Так, инструменты проектного управления могут поддерживать самые разные дисциплины проектного управления. Например, управление проектами может быть классическим с альфой «критический путь» (*critical path*) и по теории ограничений (ТОС) с альфой «критическая цепь» (*critical chain*) и управлением по заполнению буферов проекта. Если не владеть дисциплиной проектного управления, то можно вообще не понять, почему так различается инструментарий для вроде бы одной и той же практики, а «светофоры буферов» будут казаться особенностями интерфейса программы, а не дисциплины проектного управления в какой-то её версии.

Инструментарий различается не столько удобством в использовании, сколько поддерживаемыми дисциплинами этой практики: тем, какие понятия в мышлении они способны отразить.

7.4. V- диаграмма жизненного цикла

Самая знаменитая диаграмма ЖЦ [10] (да и всей системной инженерии) – это V-диаграмма (рис. 7.9). Иногда её называют V-model,

поскольку рассматривают и как вариант вида ЖЦ «водопадного» жёсткого стиля – просто «каскад» перегнут в точке «изготовления» (перехода от стадий определения системы к стадиям реализации системы).

V-диаграмма используется, чтобы пояснять самые общие черты системно инженерного подхода к определению ЖЦ системы:

- фундаментальную разницу между практиками определения системы (работы с информацией), реализации системы (работы с веществами и полями), а также использованием системы. В том числе, на V-диаграмме показывается основная идея системной инженерии «семь раз отмерь, один раз отрежь» – рекомендуется максимизировать трату ресурсов на более ранних стадиях, чтобы экономить затраты больших ресурсов на более поздних стадиях;

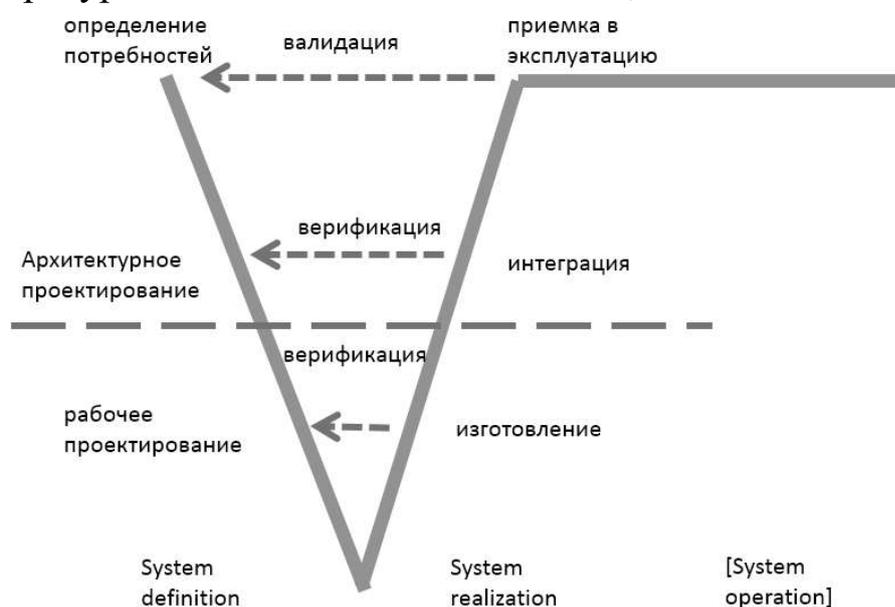


Рис. 7.9. V- диаграмма жизненного цикла

- соответствие определений и воплощений системы, поддерживаемое через проверки (верификация) и приёмки (валидация);
- акцент на важнейшие практики ЖЦ, а не на стадии жизненного цикла;
- разница между системно-инженерными практиками (рис. 7.9, выше штриховой линии), имеющими дело с системой в целом, и обычными инженерными практиками, имеющими дело с частями системы;
- взаимодействие между практиками. В работе одновременно задействована вся вертикаль практик: архитектор общается и с инженерами по требованиям, и с инженерами, занимающимися рабочим проектированием, а инженер-интегратор общается и с эксплуатационниками, и с производителями оборудования.

7.5. Гибкие подходы к разработке систем

В 2001 г. группа программистов (*software engineers*) предложила Agile-манифест [38] разработки программного обеспечения. Основными принципами этого документа являются:

- люди и взаимодействие важнее процессов и инструментов;
- работающий продукт важнее исчерпывающей документации;
- сотрудничество с заказчиком важнее согласования условий контракта;
- готовность к изменениям важнее следования первоначальному плану.

Agile-манифест полностью разделял стадии ЖЦ и практики, а также предполагал гибкость в планировании работ, т. е. объявлял отсутствие водопада в любых его проявлениях. Появились сотни вариантов методов разработки, из которых сегодня для программной инженерии наиболее распространён метод гибкой (*agile*) работы SCRUM (рис.7.10).

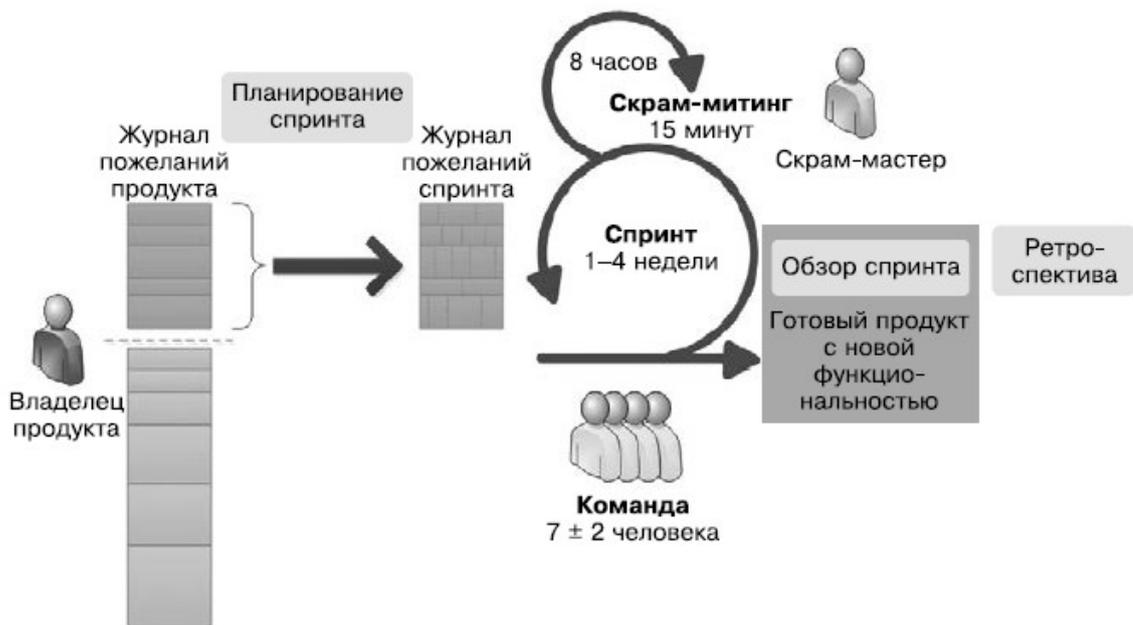


Рис. 7.10. Схема жизненного цикла SCRUM

На практике оказалось, что следование принципам agile-методов разработки и предлагаемым ими моделям ЖЦ (чаще всего делящих ЖЦ на стадии «релизов» с выделением мелких итераций) может приводить как к впечатляющим успехам, так и к впечатляющим провалам. Также оказалось, что и водопад в чистом виде никто не использует, поскольку по документам работа описывалась одним образом, а в жизни элементы agile использовались много больше. В итоге перестали использоваться как чисто гибкие методы, так и водопады, так как жёстко запланированные проекты часто получаются дороже и длятся дольше, запланированного.

Таким образом, для эффективного использования гибких подходов необходимо понимать, что они подразумевают строгие принципы, строгую дисциплину, вполне определённые практики и использование специализированного инструментария для поддержки работы. И, как минимум, должно быть чёткое понимание, какие практики планирования и выполнения работ вы используете, как взаимосвязаны стадии работ, что вы делаете параллельно и что последовательно, в какой момент сотрудники или подрядчики синхронизируют выполнение своих работ.

7.6. Примеры практик жизненного цикла

Множество примеров практик, встречающихся на протяжении ЖЦ системы (их часто так и называют – практики жизненного цикла (*life cycle practices*)), можно встретить в различных инженерных стандартах и публичных документах, и наиболее типичны своды знаний (*body of knowledge*), описывающие различные варианты практик какой-то более-менее крупной дисциплины.

Все эти стандарты и публичные документы используют для практик разные названия – практика (*practice*), способности (*abilities*), процессы, методы (наборы практик, достаточных для решения какой-то содержательной задачи «под ключ»), и даже методологии, иногда область знаний (*knowledge area*), с которой связывают какую-то деятельность (*activity*). Иногда и вообще не используют каких-то терминов – просто говорят, что нужно делать, приводя название практик, но не используя сам термин.

Свод знаний по организационному анализу (*business analysis body of knowledge*, BABoK) [38]. В этом документе в главе 10 кратко охарактеризован набор из 50 практик, называемых «метод»:

- 10.1 Acceptance and Evaluation Criteria (Определение критериев приемки и оценки);
- 10.2 Backlog Management (Управление бэклогом);
- 10.3 Balanced Scorecard (Сбалансированная система показателей, ССП);
- 10.4 Benchmarking and Market Analysis (Бенчмаркинг и Анализ рынка);
- 10.5 Brainstorming (Метод мозгового штурма);
- 10.6 Business Capability Analysis (Анализ бизнес-возможностей);
- 10.7 Business Cases (Бизнес-кейсы);
- ...;
- 10.47 Use Cases and Scenarios (Сценарий использования и Сценарии);
- 10.48 User Stories (Пользовательские истории);
- 10.49 Vendor Assessment (Оценка поставщика);

- 10.50 Workshops (Воркшопы или Семинары).

Свод знаний по проектному управлению института проектного управления (*Project Management Institute, project management body of knowledge*, PMI PMBoK) [32]. Здесь практики называют «процесс», например, группа процессов планирования определяет и уточняет цели и планирует действия, необходимые для достижения целей и содержания, ради которых был предпринят проект. В группу процессов планирования входят следующие процессы: Разработка плана управления проектом, Планирование содержания, Определение содержания, Создание иерархической структуры работ (ИСР), Определение состава операций, Определение взаимосвязей операций, Оценка ресурсов и т.д. (всего 20 процессов).

Свод знаний по системной инженерии (*systems engineering body of knowledge*, SEBoK) [39]. Сами практики тут не выведены явно, а рассыпаны по всему тексту. Это, скорее, краткое оглавление для большой литературы по предмету системной инженерии, поделенное на области знаний.

В приведенных примерах есть описание дисциплин, и только общее описание практик. Кроме того, эти документы не уделяют внимания вопросам выбора варианта из списка функционально одинаковых практик, оставляя этот выбор за специалистом.

Методы работы/практики/деятельности глубоко иерархичны. Не только метод состоит из практик (и гарантируется, что набор этих практик достаточен для достижения цели метода), но и сами практики состоят из подпрактик на много уровней. Например, можно говорить о системной инженерии как методе или практике работы. Но в системной инженерии можно выделить её основные практики инженерии требований, инженерии системной архитектуры, управления конфигурацией и изменениями, проведения испытаний/проверки и приёмки. Но и дальше может быть деление, например, в инженерии требований можно выделить практики выявления потребностей и требований, анализа требований, специфицирования (документирования) требований, управления требованиями.

7.7. Практики жизненного цикла системной инженерии

Стандарт практик ЖЦ системной инженерии ISO/IEC/IEEE 15288:2015 [16] устанавливает общий подход для описания ЖЦ систем, созданных людьми. Он определяет набор практик и связанную с ними терминологию в инженерном методе описания. Эти практики могут быть применены на любом уровне иерархии в структуре системы. Выбранный набор этих практик может быть применен в ходе всего ЖЦ для

управления и выполнения всех стадий ЖЦ системы. Это достигается через вовлечение всех стейкхолдеров, с главной целью достижения удовлетворения клиента.

Стандарт делит все практики на четыре группы:

- технические практики – относятся к преобразованиям целевой системы;
- управленческие практики – относятся к проекту и обеспечивающей системе;
- организация проектной деятельности – относится к предприятию, участвующему в проекте;
- согласование – относится к заключению и выполнению соглашений по закупкам и поставкам.

Стандарт носит рекомендательный характер и позволяет проверять выполнение соответствующих практик. Если практики выполняются, то можно сделать вывод, что данное предприятие придерживается принципов системной инженерией. Стандарт не устанавливает минимум или оптимум использования разных практик для достижения результата в конкретном проекте и возможный максимум в абстрактном проекте. Поэтому пользоваться данным стандартом нужно только как справочным материалом, но не руководством к действию: брать из этих документов только тот минимум, который подойдет для масштабов конкретного проекта.

7.8. Методологии

Методология – это комплексное описание определенного подхода к практической деятельности, представляющие наборы практик ЖЦ. Примерами методологий могут быть:

- методологии разработки (*development process*), т.е. разные варианты agile, «гибкая методология разработки»);
- обеспечения качества (*six sigma*);
- преодоления барьера между разработкой и эксплуатацией (DevOps и DataOps).

Методологии обычно содержат в себе три части:

- общее описание дисциплины для многих составляющих методологию практик. Эта дисциплина вводит альфы, а отдельные практики потом могут работать с подальфами этих альф. Например, agile-практики вводят альфу backlog как список требований. Практики ТРИЗ - методологии используют понятие «идеального конечного результата»;

- практики как инструкции, что и как нужно делать. Их обычно много, они могут вводить свои подальфы,
- указания на то, как сочетать практики с работами в ходе ЖЦ, т.е. выход на практики управления работами, прямые указания на управление ЖЦ, вид ЖЦ. Иногда даже «методологию разработки» используют именно как указание на этот аспект (подменяя этим «вид/модель жизненного цикла»).

В настоящее время все чаще идет разборка крупных методологий на отдельные практики. Ранее считалось, что нужно обязательно использовать в работе все описанные какой-то методологией практики, и что при отсутствии любой из предписанных практик результат будет плохим. Сегодня точка зрения изменилась – все чаще для конкретной задачи используется некоторый набор практик данной методологии. Сами методологии тоже не ограничиваются практиками, взятыми из какой-то одной сферы человеческой деятельности. Так, agile-методологии появились как некоторый сплав (*fusion*) инженерных и менеджерских практик. Методологии проектного управления всё больше и больше обращают внимание на инженерные аспекты разработки, например, используются отдельные практики инженерии требований.

Системное мышление позволяет одинаковым образом думать о практиках таких разных сфер человеческой деятельности, как менеджмент и инженерия, отличающихся дисциплинами и технологиями. Это позволяет обсуждать организационное развитие в рамках управления жизненным циклом: обсуждать использование различных практик и способ их связи с выполняемыми работами.

7.9. Основной жизненный цикл

Важно понимать, что в ходе инженерного проекта меняются не только состояния альфа инженерного решения (определения и воплощения системы) и их подальфа (требований, архитектуры, компонент, модулей и т.д.). Если взять основные альфы инженерного проекта, то можно назвать его основным ЖЦ (рис. 7.11) [10].

Обратите внимание, что на диаграмме видны ЖЦ и проекта, и системы. Хотя тут трудно говорить собственно о целевой системе в части её определения и воплощения, ибо ЖЦ показаны также и для остальных альфа. Хорошо видно, что часть ЖЦ системы проходит до начала проекта, а часть будет происходить после.

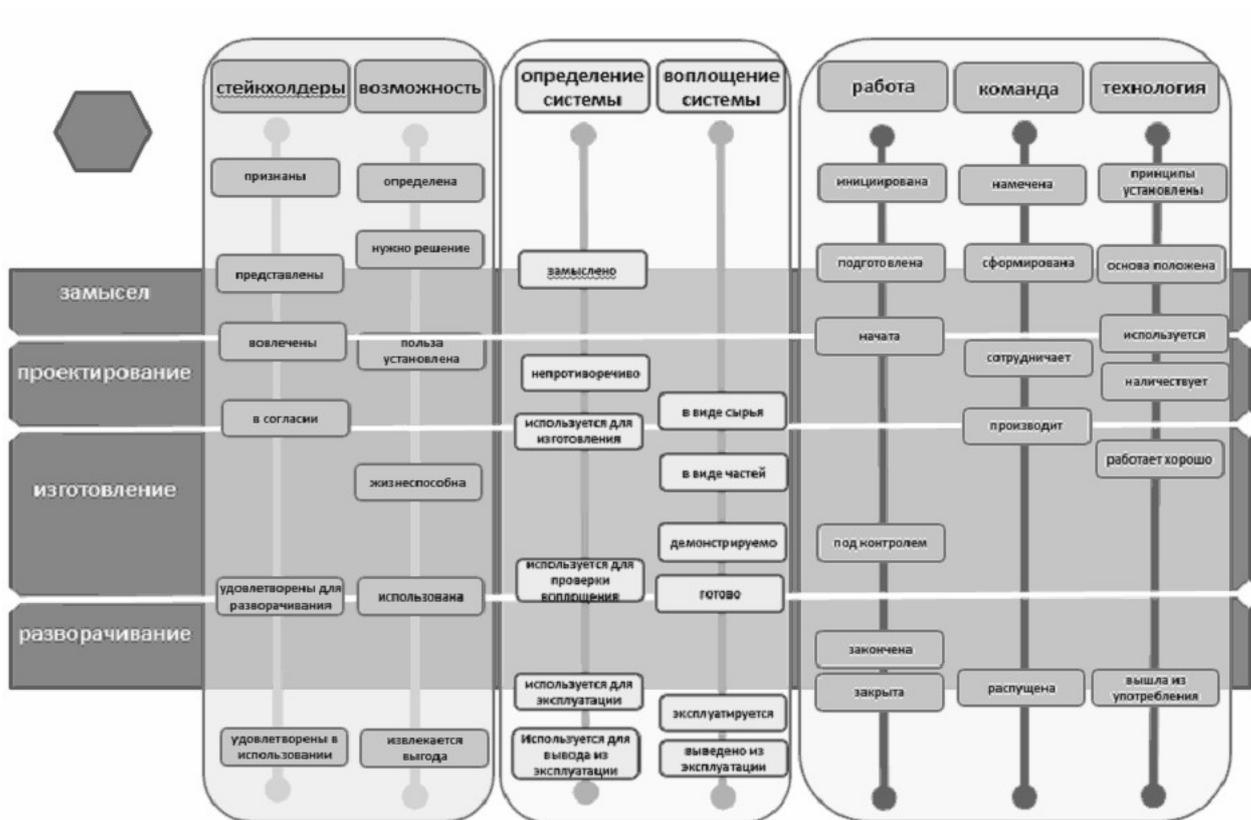


Рис. 7.11. Основной жизненный цикл инженерного проекта

Если взять какой-нибудь проект по сопровождению системы, то эта разница между ЖЦ системы и ЖЦ проекта будет ещё более видимой (рис. 7.12).

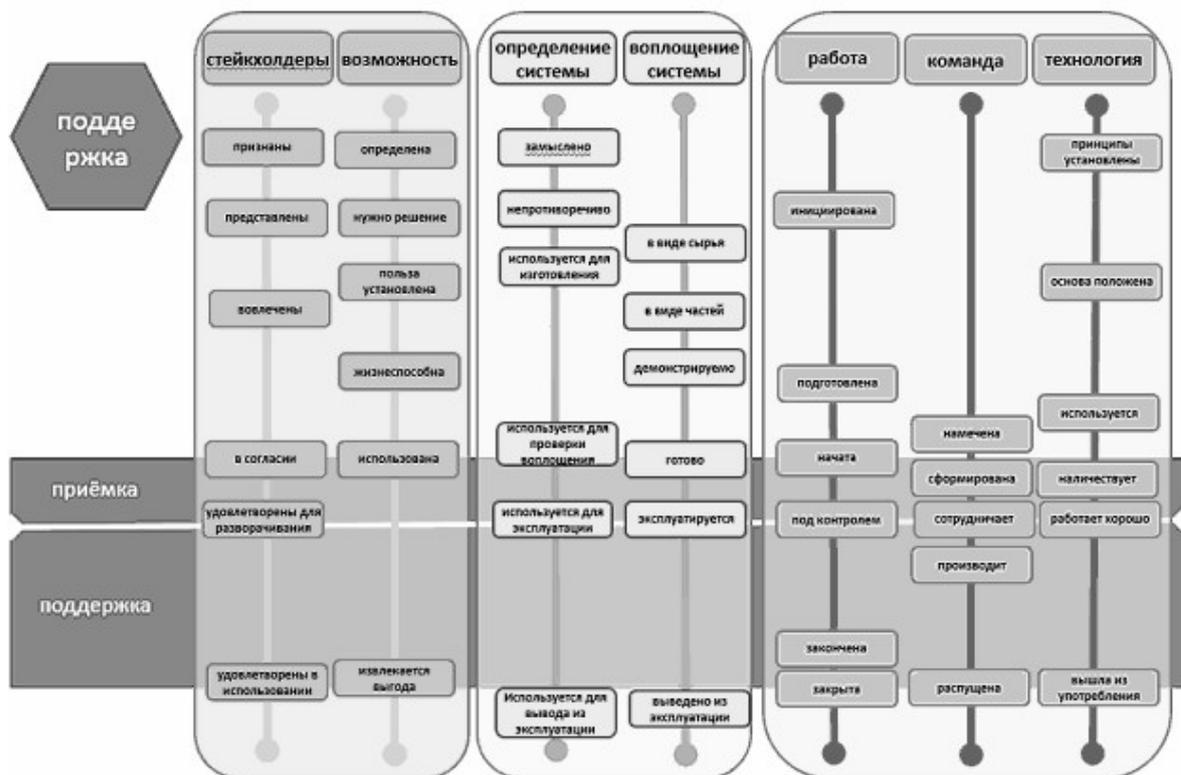


Рис. 7.12. Основной жизненный цикл поддержки системы

Задача управления ЖЦ заключается не только в том, чтобы альфы воплощения и определения системы продвигались по своим состояниям, но и в синхронизации достижения состояний всех основных альф инженерного проекта. Синхронизация состояний альф кладётся в основу планирования работ по проекту. В план работ должны включаться и работы по неинженерным альфам, о чём часто забывается при планировании и, вследствие этого, план ресурсами оказывается не обеспеченным. В инженерных проектах очень часто существенно не хватает менеджерских работ – операционные и клиентские менеджеры оказываются перегруженными и от этого страдает весь проект в целом.

Альфа «Определение жизненного цикла» – главная альфа (т.е. отслеживаемый в ходе инженерного проекта объект), по которой происходят договорённости между менеджерами и инженерами. Это подальфа «Определения системы» (ибо определение ЖЦ связано в существенной мере с работой), а также «Работы» (ибо лежит в основе работ по планированию проекта) и «Технологии» ибо вид ЖЦ определяет его используемые практики.

8. СИСТЕМНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

Инженерия – это спланированное изменение окружающего мира, результат которого может быть проверен на соответствие задуманному плану. Таким образом, инженерия основана на эмпирическом научном методе к прикладным задачам, формализующим здравый смысл (рис. 8.1). Основным элементом эмпирического научного метода является выдвижение гипотезы (спланировать), реализации этой гипотезы (плана) и последующая проверка. Если выдвинутая гипотеза оказывается неверна, то приходится повторять предыдущие действия. Эмпирический характер инженерии на практике приводит к необходимости «доводить» изделие, на что затрачиваются дополнительные ресурсы (время и деньги).



Рис. 8.1. Обобщенная схема инженерной деятельности

Системная инженерия основана на использовании системного подхода в мышлении для создания успешных систем. Применение принципов системного подхода позволяет в значительной мере уменьшить число итераций в разработке и воплощении инженерных систем за счет учета требований стейкхолдеров к системе (принцип успешности).

Системная инженерия как подход к созданию успешных систем имеет несколько ключевых аспектов своего использования [26]. Наиболее важные из них:

- организация команды проекта;
- проведение бизнес–анализа;
- организация работы со стейкхолдерами;
- проектирование системы;
- контроль хода выполнения проекта;
- контроль конфигурации, проверка и приемка проекта.

Прежде всего, необходимо определить те условия, при которых требуется такой специалист, как системный инженер. Главный признак необходимости участия в деятельности организации системного инженера

- это потребность изменений объектов или деятельности подразделения/организации, результат которых может быть проверен на соответствие задуманному плану. Такая форма организации деятельности называется проектом, причем проектом может быть как разработка нового продукта, так и улучшение работы подразделения.

Современные подходы к управлению предприятием основываются на принципе постоянных улучшений, ставящих своей целью повышение эффективности работы предприятия. Как бы ни была организована эта работа, использование принципов системной инженерии позволит значительно повысить результативность таких действий. Кроме того, любые изменения материальных объектов производства – модернизация продукта деятельности или технологической инфраструктуры дадут большой положительный результат, если эти изменения будут построены на принципах системной инженерии.

Рассмотрим основные аспекты организации работы системного инженера в рамках проекта по созданию нового продукта [26].

8.1. Организация команды проекта

Любой проект должен иметь команду, выполняющую работы по проекту. Основу такой команды составляет группа системных инженеров. Их роли:

- системный инженер – отвечает за весь ЖЦ системы;
- системный аналитик – отвечает за требования к системе;
- системный архитектор – отвечает за системную архитектуру;
- системный тестировщик – отвечает за тестирование системы;
- системный администратор – отвечает за обслуживание системы.

Обязательной ролью в команде является менеджер проекта, который отвечает за планирование работ проекта, распределение ресурсов и контроль соблюдения сроков разработки. Остальные роли определяются спецификой проекта и могут включать инженеров по специальности (механиков, электриков и т.д.), а также специалистов в разработке программного обеспечения, так как в современных условиях большинство проектов выходят на разработку некоторой информационной системы поддержки работы целевой системы. Все участники команды проекта входят в число стейкхолдеров проекта.

Успешность работы команды будет зависеть от того, насколько каждый будет придерживаться выполнения своих ролей в проекте (как стейкхолдеров). Частой проблемой в работе команды является неумение придерживаться тех ролей, которые им предписаны. Это происходит из желания отдельных членов команды выполнять роли, которые им хочется, а не назначенные им. Например, менеджер проекта будет предлагать

архитектурные решения, а заказчик планировать работы. В итоге провал проекта.

Таким образом, первой задачей системного инженера в проекте является распределение зон ответственности в команде и помощь исполнителям ролей принять на себя ответственность качественного исполнения предписанных теми или иными производственными практиками ролей. При этом нужно научить человека:

- осознавать сам факт необходимости «игры по роли», чтобы каждый член команды сосредотачивался на выполнении только предписанных для этой роли практик, а не пытался выполнять чужие практики;
- строго придерживаться исполнения роли («выполни, наконец, инструкцию!»), а не заниматься импровизаций – придумыванием лучших решений в ущерб делу;
- планировать своё стейкхолдерское развитие: обучения как выучивание роли и развитие своих личных качеств для возможности играть соответствующую роль.

Важными аспектами создания команды проекта является не только умение членами команды выполнять свои роли, но и установление сотрудничества.

8.2. Бизнес – анализ проекта

В начале проекта по созданию нового продукта, в большинстве случаев известно только то, что имеются заказчик и инвестор проекта. Заказчик проекта готов определить, что надо сделать, а инвестор обладает ресурсами для финансирования проекта. Поэтому участие системного инженера в проекте начинается с разговора с заказчиком и инвестором, и ключевую роль играет именно заказчик. Следует правильно воспринимать то, что говорит заказчик, так как он будет говорить не на языке инженерии, а на языке предпринимателя. Системный инженер должен понять, какую бизнес-цель ставит заказчик – в чем его предпринимательский интерес. Этот интерес может выражаться в желании заработать на продаже нового продукта или в модернизации его производственной системы и т.д. Самая большая ошибка, которую может совершить системный инженер в разговоре с заказчиком, заключается в обсуждении конкретных инженерных вопросов. Напротив, необходимо построить беседу вокруг обсуждения предпринимательских предложений заказчика, которые желательно обсуждать не на словах, а на основе бизнес-модели, в которой можно будет определить основные элементы будущей системы. Использование бизнес-модели значительно повышает

результативность обсуждения, так как позволяет добиться общего понимания целей проекта.

Наибольшее распространение получила бизнес–модель в формате Canvas [39] (рис. 8.2), в которой предлагает делать описание бизнес-идеи через определение следующих ключевых (наиболее важных с точки зрения организации бизнеса) элементов:

- 1) потребители,
- 2) ключевые ценности,
- 3) каналы продаж,
- 4) отношения с клиентами,
- 5) доходы,
- 6) ключевые ресурсы,
- 7) ключевые виды деятельности,
- 8) ключевых партнёров,
- 9) структуру затрат.

<p>8 Партнеры Кто наши партнеры? Кто наши поставщики?</p>	<p>7 Ключевые действия Какие действия нужны для работы?</p>	<p>2 Ключевые ценности Какие проблемы клиента мы решаем?</p>	<p>4 Взаимоотношения с клиентом Какие отношения с каждым клиентом?</p>	<p>1 Потребители Кто самый важный клиент для нас?</p>
	<p>6 Ключевые ресурсы Какие ресурсы нужны для создания ценностей?</p>		<p>3 Каналы Через какие каналы клиенты получают ценности?</p>	
<p>9 Расходы Каковы самые важные затраты? Какие ресурсы самые дорогие? Какие действия самые дорогие</p>		<p>5 Поток дохода За что клиенты готовы платить?</p>		

Рис. 8.2. Бизнес–модель Canvas

Обсуждение бизнес–идеи проводится на предпринимательском уровне, начинающемся с вопроса о том, кому всё это нужно и зачем мы это делаем. В результате должно быть ясно, кому эта деятельность нужна и с какой целью. В настоящее время типичной является бизнес–ситуация, в которой организация, выполняющая проект, является элементом определенного бизнес–контекста, в котором есть более крупная организация, определяющая всю бизнес–идею, и есть другие организации, влияющие на возможность реализовать эту бизнес–идею. Поэтому первую встречу системный инженер должен провести со своим непосредственным заказчиком, так как именно он определяет ту систему, разработку которой будет вести данный специалист. Системный инженер в разговоре с заказчиком должен использовать термины, понятные заказчику. Такой разговор является примером типичной ситуации, когда

применяется принцип междисциплинарности в работе системного инженера.

Бизнес-модель в форме Canvas дает возможность обсудить бизнес идею на более ранних этапах проекта, а заполнение этой формы будет происходить постепенно, по мере того, как бизнес-идея становится все более понятной и детальной.

Для системного инженера бизнес-модель в форме Canvas является внешней, так как в ней нет функций создаваемой системы. Системный инженер должен разрабатывать бизнес-модели для детализации ключевых действий (7-й элемент модели) и возможности обсуждать эти модели с заказчиком. Учитывая, что заказчик не владеет методами системного моделирования, для разговора наилучшим решением будет использование очень простых и понятных моделей, в которых используется минимальный набор изобразительных элементов. Обычно достаточным является набор из трех моделей: функциональной, структурной и модели жизненного цикла. Пример функциональной модели представлен на рис. 8.3.



Рис. 8.3. Функциональная модель целевой системы

Функциональная модель позволяет представить среду функционирования целевой системы. Наиболее важный элемент функциональной модели – определение потребителя (клиента) системы, для которого целевая система направляет результат своего функционирования. Остальные элементы детализируют среду функционирования целевой системы. Чаще всего, функционального рассмотрения целевой системы оказывается недостаточным, так как в этой модели не представлены бизнес-контекст, т.е. организационные системы, участвующие в ЖЦ целевой системы. Для построения структурной модели желательно предварительно построить модель ЖЦ целевой системы (рис. 8.4), на которой можно показать функции создания целевой системы.



Рис. 8.4. Модель ЖЦ целевой системы

Бизнес–контекст создания целевой системы может быть наглядно представлен на структурной модели (рис. 8.5). В ней должны быть указаны все организационные элементы, участвующие в проекте создания целевой системы.

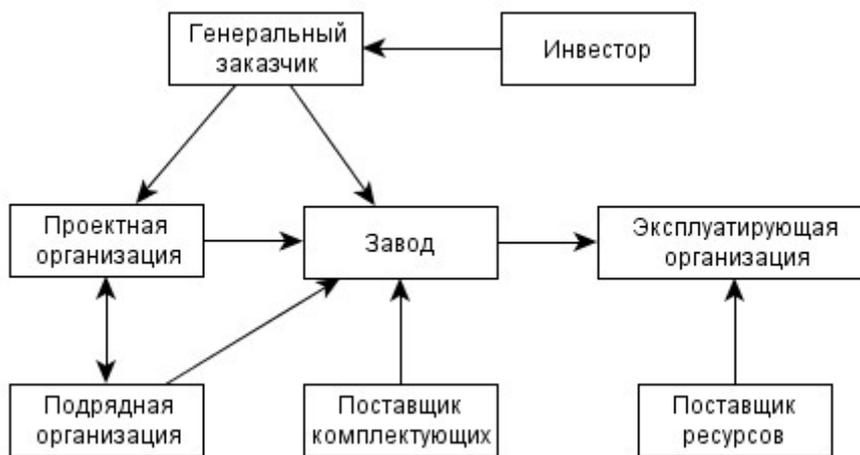


Рис. 8.5. Структурная модель бизнес-контекста целевой системы

Не всегда первый вариант моделей серьезно прояснит ситуацию и для большей ясности может потребовать разработать нескольких вариантов моделей. Обсуждение бизнес-контекста с заказчиком может внести ясность в общее понимание проекта и, возможно, в разговоре удастся сформулировать реальную задачу. Часто проекту недостаточно реальности задачи, и многие разработчики оттягивают принятие конкретных решений, ограничиваясь общими рассуждениями. Это происходит из-за того, что компании не умеют строить доверительные отношения с партнерами и страхе проиграть. Менеджер не пойдет договариваться с партнером, пока не будет прототипа, а партнер не захочет ничего обсуждать, пока не увидит что-то работающее – некоторый прототип системы.

Принято считать, что наличие такого прототипа позволяет значительно сократить создание коммерческого продукта. Чаще всего, это иллюзия, даже если фирма на основе прототипа сгенерировала за короткий срок работоспособную систему, то в эксплуатацию эта система

полноценно войдет через пару-тройку лет. Наличие прототипа, в котором реализованы основные конструктивные решения целевой системы, бесспорно полезно и значительно повышает вероятности успешности проекта, однако надежды на то, что его наличие существенно сократит сроки создания системы, скорее всего, необоснованны.

Важным элементом разговора с заказчиком является обсуждение совершенно конкретных аспектов проекта, т.е. тех вопросов, которые будут касаться конкретных (физических) вещей. Например, как будет проводиться валидация системы, как будут организованы продажи и т.д. Проектирование продукта без валидации фактически означает, что результатом работы будет стопка чертежей.

Таким образом, очень важно посмотреть на систему глазами стейкхолдеров, найдя их реальные интересы и, зацепившись за них, выйти на формулировку очень конкретных предложений по созданию системы. В том случае, когда ситуация по проекту неоднозначна и реальные задачи определены не достаточно, необходимо продолжить прояснять ситуацию напрямую с заказчиком.

8.3. Выявление стейкхолдеров

Обсуждение проекта с заказчиком требуется, но не является достаточным для начала работы над проектом. Необходимо обсудить проект с другими стейкхолдерами. На этапе разработки бизнес-идеи такие обсуждения проходят в форме совещания все заинтересованных лиц проекта. Напомним, что мы рассматриваем ситуацию с точки зрения системного инженера одной из организации, задействованной в проекте. Пусть эта организация будет разработчиком системы. По результатам такого совещания целесообразно составить схему основных внешних стейкхолдеров и их взаимодействие (рис. 8.6).

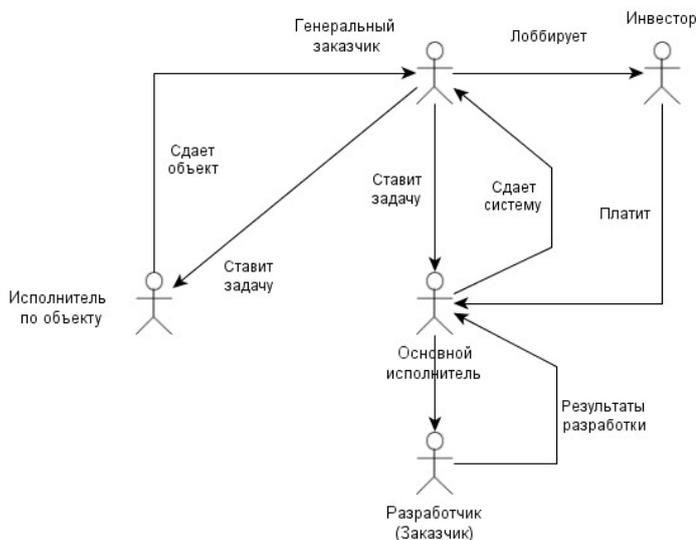


Рис. 8.6. Схема взаимодействия стейкхолдеров (первый вариант)

На схеме разработчик системы является заказчиком для системного инженера. Схема позволяет понять место разработчика системы в бизнес-контексте – разработчик подчиняется основному исполнителю, и результаты разработки он направляет основному исполнителю. Обсуждение этой схемы с разработчиком может вызывать справедливое замечание, что основную работу по проекту пытаются возложить на него.

Таким образом, обсуждение первоначальной схемы позволило выявить, что в проекте не хватает важного элемента – проектировщика и ряда связей. Архитектуру системы разработчик передает проектировщику, который разрабатывает рабочие чертежи (рис. 8.7).

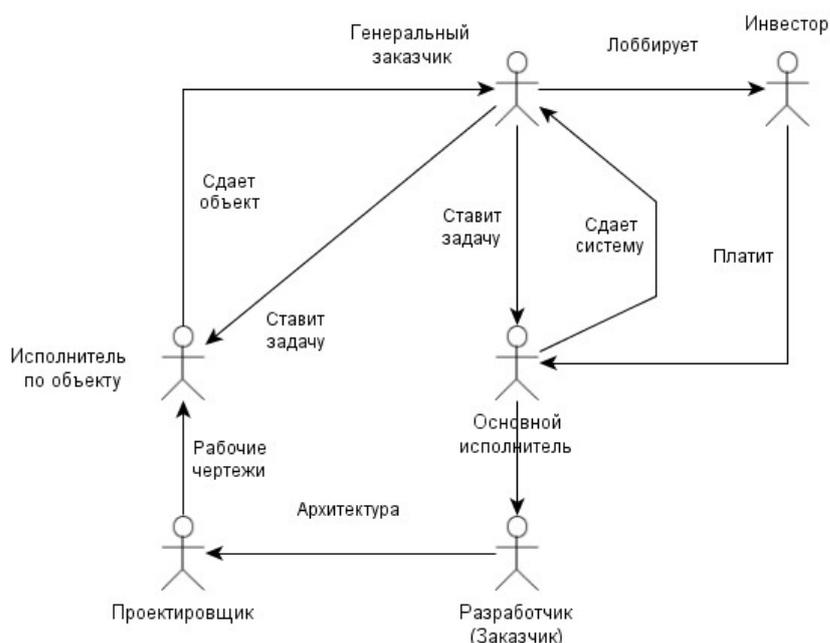


Рис. 8.7. Схема взаимодействия стейкхолдеров (второй вариант)

На ранней стадии постановка задачи проекта может существенно меняться по мере осознания все большего числа его аспектов. Осознанию этих аспектов помогают инструменты, облегчающие общение со стейкхолдерами. В приведенном примере помогла схема взаимодействий стейкхолдеров, но могут быть использованы и другие инструменты, например функциональные и структурные схемы. Главная задача системного инженера в такой ситуации - сводить все к четкой постановке задачи.

8.4. Разработка ключевой идеи проекта

В ряде случаев проект создания новой системы никак не может начаться, так как у команды нет понимания основных функций системы. Это особенно характерно для проектов создания совершенно новых продуктов, например в сфере интернет вещей (*Internet of Things, IoT*). Интернет вещей – это сеть физических объектов (вещей), оснащенных

встроенными технологиями взаимодействия друг с другом через информационные сети, позволяющая исключить участие человека в управлении этими объектами. Интернет вещей освобождает человека от выполнения рутинных функций.

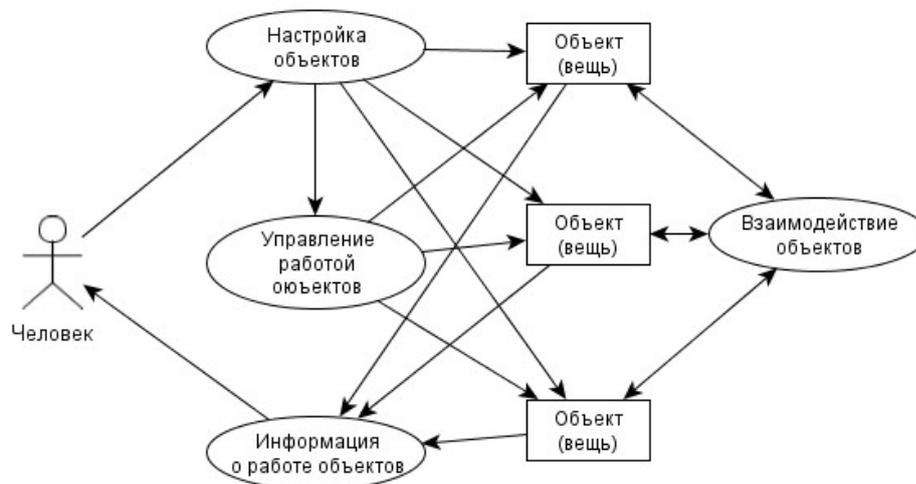


Рис. 8.8. Диаграмма использования (Use case) интернет вещей

В этом случае общая идея понятна, но как конкретно это будет работать, совершенно не ясно. Например, исходной идеей проекта было создание «умного» бизнес-центра с использованием интернет вещей для снижения затрат на его содержание. Как известно, мы все забываем выключать свет, воду, и это приводит к перерасходу ресурсов, а значит, затраты на содержания больше необходимых.

Рассматривая свое участие в общем проекте, заказчик и системный аналитик должны выявить тут часть общей системы, которой они будут в дальнейшем заниматься. Для этого рекомендуется разработать структурную модель бизнес-центра (рис. 8.9), что позволит понять, какие элементы могут быть реализованы в виде интернет вещей.

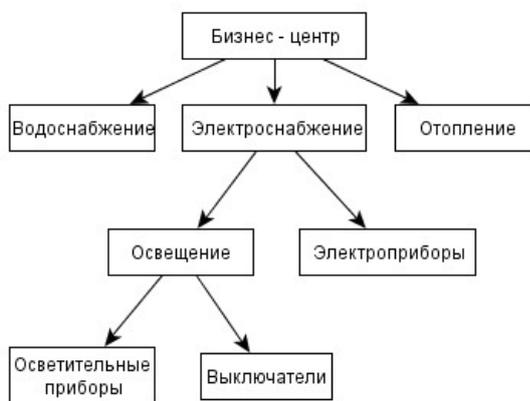


Рис. 8.9. Структурная схема снабжения ресурсами бизнес-центра

Основными ресурсами, обеспечивающими работу бизнес-центра, являются водоснабжение, электроснабжение и отопление. Наиболее просто реализовать интернет вещи в сфере электроснабжения, так как

управлять электрическими приборами значительно проще, чем устройствами, работающими на воде.

Рассмотрим цели Разработчика, участвующего в общем проекте. Если разработкой проекта задерживается из-за того, что основные стейкхолдеры проекта не могут выработать общего решения, то Разработчик может поставить свою локальную цель – найти такой элемент общей системы, который он сможет выпускать самостоятельно, без привлечения Инвестора.

Для анализа разработки локального решения для Разработчика используем метод вопросов и ответов.

Цель - найти такой элемент в структуре интернет вещей (ИВ), который является наиболее общим (чаще встречается).

Вопрос: Какова обобщенная структура ИВ, использующих электроэнергию?

Ответ: В структуру ИВ обязательно входят: преобразователь электроэнергии в другие виды энергии (механическую, тепловую ..), выключатель, провод питания.

Вопрос: Где можно получить электроэнергию?

Ответ: поставляется по электросети.

Вопрос: Как можно получить электроэнергию из электросети для питания ИВ?

Ответ: В электросети должна быть установлена электрическая розетка (интерфейсный модуль), в которую необходимо вставить вилку (интерфейсный модуль) кабеля питания ИВ.

В результате можно построить структурную схему питания ИВ (рис. 8.10).

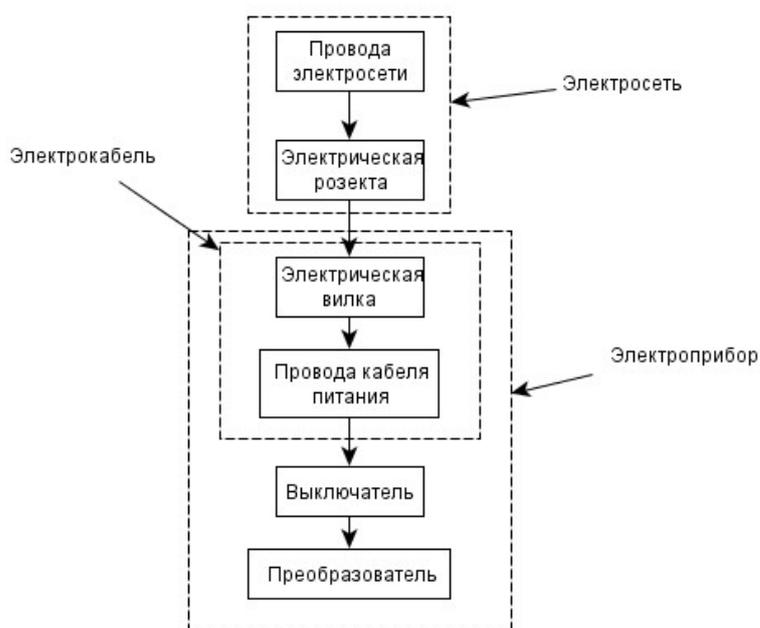


Рис. 8.10. Структурная схема подключения электроприбора к электросети

Если задачей умного бизнес-центра является рациональное использование электроэнергии, то необходимо выбрать способ управления работой выключателя электроприбора. Из данной схемы следует, что для управления электроприбором через информационную сеть необходимо использовать устройство управления выключателем (рис. 8.11).

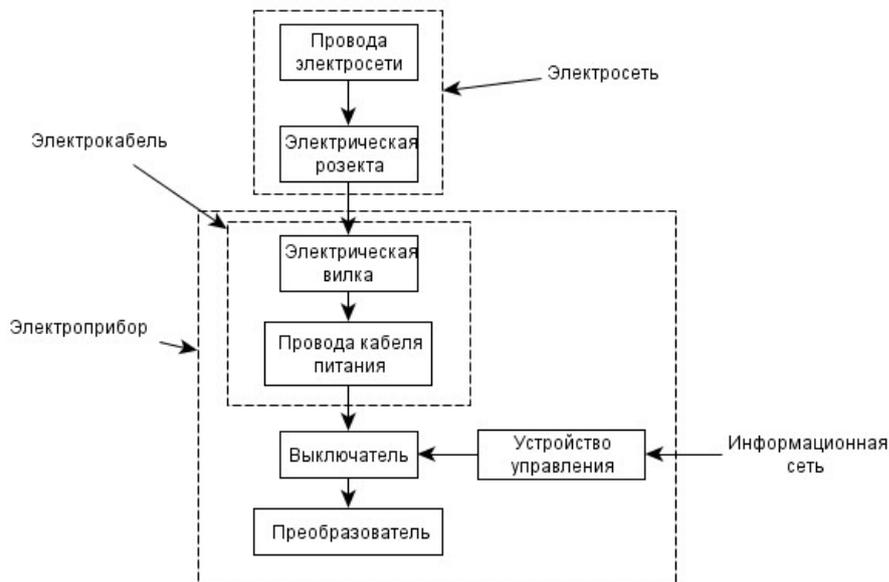


Рис. 8.11. Структурная схема электроприбора с устройством управления

Если использовать данную схему, то каждый изготовитель электроприборов должен снабдить свой прибор устройством управления. Рассмотрим альтернативное инженерное решение (рис. 8.12), в котором устройство управления выключателем поместим в электрическую розетку.

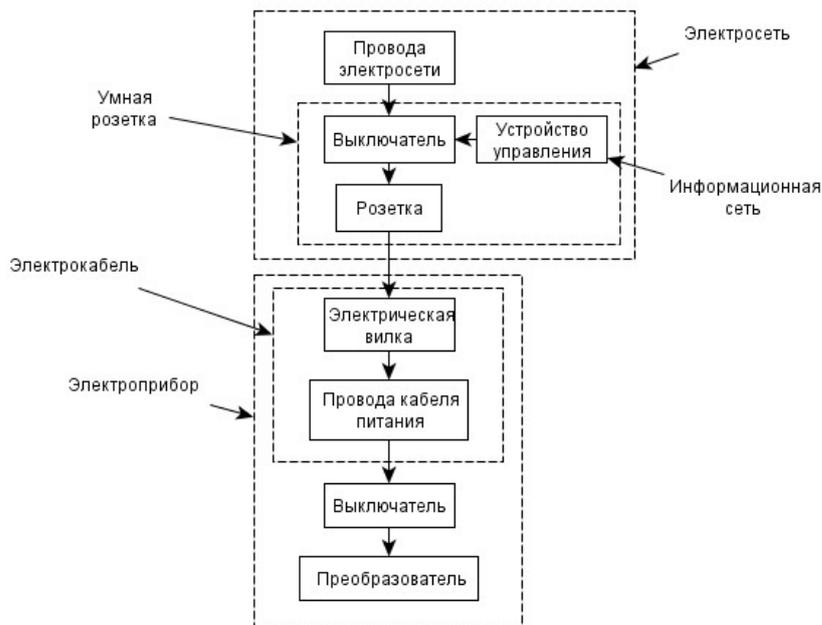


Рис. 8.12. Структурная схема электрической розетки с устройством управления

У последней схемы есть неоспоримое преимущество – устройство управление нужно вставить только в розетку, тогда любым электрическим прибором можно будет управлять через информационную сеть. Функциональность такого управления будет ограничена – только подключением прибора к электросети, но это устройство может выпускать в массовом количестве небольшая фирма.

Таким образом, проект «Умного дома» пока еще требует серьезной доработки, но есть гораздо более понятный рынок уже сегодня. Рассмотрим типичную ситуацию – человек собирается на работу, опаздывает, торопится и только у выходной двери пытается вспомнить, выключил ли он утюг, свет и другое. Если бы на выходе висела сенсорная панель, на которой можно посмотреть, какие выключатели и розетки сейчас активны, да еще и с подписями, где эта розетка расположена. Если бы такая система контроля состояния розеток работала без проводов, то за приемлемую цену такую систему купили бы все, кто занимается постройкой дома или ремонтом квартиры. Таким образом, целевой системой становится система управления включением/выключением электроприборов домашней электросети. Отообразим данное понимание работы системы на диаграмме использования (рис. 8.13).

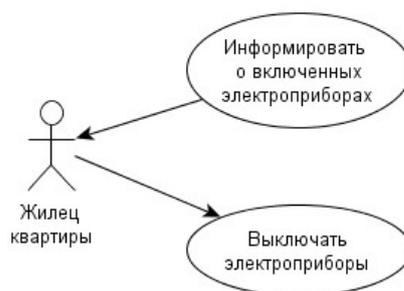


Рис. 8.13. Диаграмма вариантов использования системы управления работой электроприборов дома/квартиры

На ранней стадии проекта постановка задачи может существенно меняться. Главная задача системного инженера в такой ситуации – сводить все разговоры к четкой постановке задачи. Очень часто ключевая идея рождается из сценария использования, однако вести разговоры только на уровне идей долго нельзя. Главное вовремя распознать удачную идею и начать её воплощать сначала в концепциях, далее в дизайне, а затем в реальности.

8.4. Системное проектирование

После формулировки конкретной идеи проекта наступает этап системного проектирования. Целью системного проектирования является определение системной архитектуры – наиболее общего и целостного описания проектируемой системы.

На основе разработки ключевой идеи проекта нужно построить функциональную модель новой целевой системы, на которой детально определить все функции системы управления включением/выключением электроприборов (рис. 8.14) через состояния розеток и выключателей. Для этого необходимо определить состояния розеток и выключателей (Ф1 и Ф5), затем эти состояния устройство отображения и отобразить эти состояния на экране прибора (Ф2, Ф6, Ф3, Ф4). Для работы системы потребуется разработать программное обеспечение для ведения данных по состояниям и меткам (Ф7 и Ф8). Связи между функциями (С1 – С12) имеют наименование, соответствующее передаваемой информации.

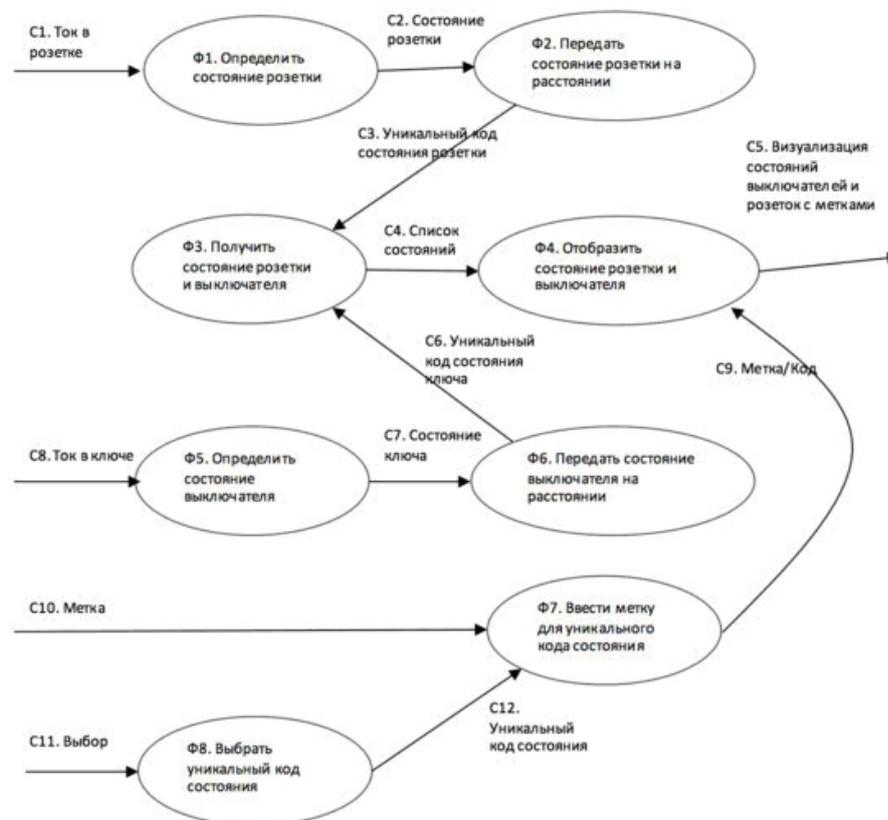


Рис. 8.14. Функциональная модель системы мониторинга домашней электросети: Φ – функции; C – связи

В данном варианте схемы не отражены функции самих розеток и выключателей в системе. Анализ функциональной схемы позволяет подумать о многих аспектах системы: следует решить вопрос о необходимости интеграции со смартфоном через Интернет, достаточно ли визуализировать информацию о состоянии приборов или требуется производить некий анализ их состояния? Может быть полезно, чтобы система сама напоминала жильцу, что он не выключил утюг перед уходом.

Функциональная модель помогает обсуждать требования к системе. Полезным является представление системы в виде логической

архитектуры (рис. 8.15), на которой можно показать приборы, которые войдут в систему управления электроприборами: розетка для подключения электроприборов, выключатель для выключения и включения осветительных приборов и средство управления работой этих приборов через управление работой розетки и выключателя.

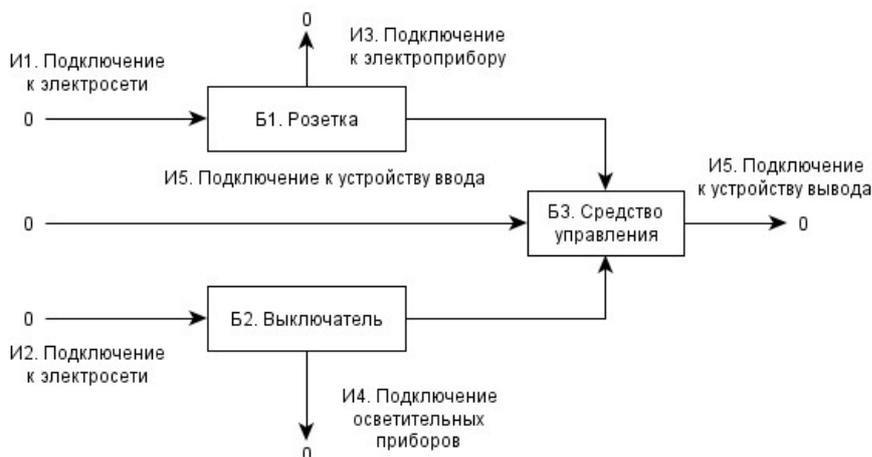


Рис. 8.15. Логическая архитектура системы мониторинга домашней электросети:
Б – блоки, И – интерфейсы

Функциональная и логическая архитектуры разрабатываются отдельно и, чтобы эти два описания соответствовали друг другу необходимо составить матрицу соответствия (рис. 8.16).

	Ф1	Ф2	С2	Ф9	Ф10	Ф5	Ф6	С7	Ф3	Ф4	Ф7	Ф8	С4	С9	С12	С1	С8	С13	С14	С10	С11	С5	С3	С6	Sum
Б3									1	1	1	1	1	1	1										7
Б1	1	1	1	1																					4
Б2					1	1	1	1																	4
И5																				1	1				2
И1																1									1
И2																	1								1
И3																		1							1
И4																			1						1
И6																						1			1
И7																							1		1
И8																								1	1

Рис. 8.16. Матрица соответствия логической и функциональной архитектуры

С помощью матрицы соответствия функциональной модели и логической архитектуры можно оценить сложность модулей или интерфейсов (строка с суммой функций/связей на модуль/интерфейс). Данные о количестве сложности создаваемой системы позволяет предварительно оценить стоимость проекта и срок его реализации. Такая оценка может быть произведена в следующей последовательности:

- 1) определить функции продукта, обсуждаемого в результате проекта;

- 2) определить архитектуру и модульную структуру (конструкцию) продукта в соответствии с функциями;
- 3) разработать пакет технических требований по всем модулям;
- 4) получить обратную связь по техническим требованиям, особенно срокам и стоимости.
- 5) собрать все в один документ и посчитать суммарные затраты и продолжительность.

Работа над функциональной моделью и системной архитектурой направлена на конкретизацию постановки задачи и разработку технического задания, что позволит подключить к работе над проектом инженеров по специальностям.

Когда понятно, как функционирует система (рис. 8.14), можно продолжить формулирование требований, не боясь что-то упустить. По сути, каждое требование привязывается либо к самой функции (например, для Ф6 необходимо указать максимальное расстояние), либо к связи (например, для С1 следовало бы подробнее указать особенности электрического тока, с которым придется иметь дело).

Для каждого требования должен быть справедлив вопрос: «Зачем?». С этой точки зрения, все требования, на самом деле, функциональные, поскольку ответ на этот вопрос должен приводить к той функции, которую требование определяет. Необходимо учесть, что, кроме функциональных требований к системе, следует рассмотреть большое число других требований. Например, в типовой набор входят требования:

- к назначению;
- надежности и ремонтпригодности;
- безопасности;
- охране окружающей среды;
- технические требования и др.

После того, как определено устройство системы на уровне блоков (рис. 8.15), можно перейти к определению технических требований. Требования к совместимости, например, обычно выводятся из интерфейсов. Технические требования относятся к устройству (структуре или конструкции) системы, а функциональные – к модели функционирования (принципиальной схеме), однако технические требования все также остаются в каком-то смысле функциональными, поскольку направлены на реализацию конкретных функций. Требования нужны не только на момент разработки технического задания. В реальных проектах они могут меняться ежедневно, поэтому центральной задачей работы с требованиями является сохранение целостности требований. Для этого нужно тщательно следить за всеми изменениями, знать причинно-следственные и другие связи между требованиями, а самое

главное – понимать место требований в системной иерархии. Типичной проблемой проекта является риск всё сломать из-за небольшой правки в требованиях. Наличие связей между требованиями может значительно прояснить картину возможных последствий модификации.

Чтобы разработать требования для блоков Б1-Б3 нужно предварительно декомпозировать логическую архитектуру и представить те модули, из которых будет состоять каждый из блоков (рис. 8.17). Иерархическая нумерация блоков раскрывает принцип сборки системы, а линейная нумерация модулей помогает выявить повторяющиеся элементы системы.

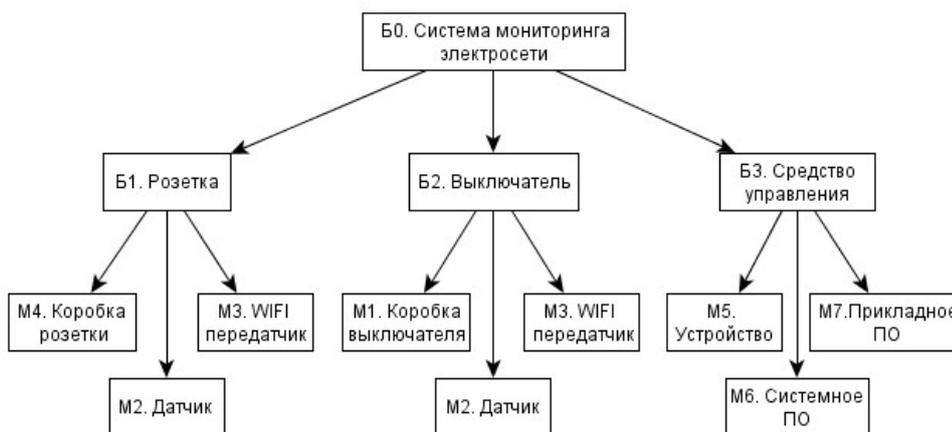


Рис. 8.17. Структурная декомпозиция системы мониторинга домашней электросети

После разработки структурной декомпозиции системы достигается достаточное понимание устройства системы. Завершающим этапом этой работы будет сведение всей информации к одной спецификации (табл. 8.1). Каждый элемент системы (Ф, С, М, И, Б...) должен быть представлен в спецификации и иметь четкое и понятное описание.

Таблица 8.1

Спецификация модулей системы мониторинга домашней электросети

ИД	Наименование	Интерфейсы	Функции	Функциональные связи
1	2	3	4	5
М1	Коробка выключателя	И9 Крепление к стене И10- Слот для датчика И11- Слот для WiFi – передатчика И1 От электросети И3 К электроприбору	Ф10 обеспечить замыкание / размыкание ключа	Вход: С8 Ток в ключе Выход: С14 Ток к электроприбору от ключа
М2	Датчик	И10+ Соединение с коробкой И12 Соединение с WiFi - передатчиком	Ф1 Определить состояние розетки	Вход: С1 Ток в розетке С8 Ток в ключе Выход:

Продолжение табл. 8.1

1	2	3	4	5
М2		И13 Питание датчика И14 Подключение датчика к электросети	Ф5 Определить состояние выключателя	С2 Состояние розетки С7. Состояние ключа
М3	WiFi - передатчик	И1.1+ Соединение с коробкой И1.2 Соединение с датчиком И7 Беспроводное соединение с устройством управления И15 Питание передатчика	Ф2 Передать состояние розетки на расстоянии Ф6 Передать состояние выключателя на расстоянии	Вход: С2 Состояние розетки С7 Состояние ключа Выход: С3 Код состояния розетки С6 Код состояния ключа
М4	Коробка розетки	И9 Крепление к стене И10- Слот для датчика И11- Слот для WiFi - передатчика И2 От электросети И4 К эл-прибору	Ф9 Обеспечит подключение электроприборов	Вход: С1 Ток в розетке Выход: С13 Ток к электроприбору от розетки
М5	Устройство	И5 Ввод И6 Вывод И7 (И8) Беспроводное соединение И16 Питание устройства И17 Крепление на стену	Ф3.1 Получить состояние розетки и выключателя Ф4.1 Отобразить состояние розетки и выключателя Ф8.1 Выбрать код состояния Ф7.1 Ввести метку для кода состояния	Вход: С3 Код состояния розетки С6 Код состояния ключа С10 Метка С11 Выбор Выход: С5 Визуализация состояний выключателей и розеток с метками
М6	Системное ПО	И18 Интерфейс с устройством И19 Интерфейс с прикладным ПО	Ф3.2 Получить состояние розетки и выключателя Ф4.2 Отобразить состояние розетки и выключателя Ф8.2 Выбрать код состояния Ф7.2 Ввести метку для кода состояния	Вход: С3 Код состояния розетки С6 Код состояния ключа С10 Метка С11 Выбор Выход: С5 Визуализация состояний выключателей и розеток с метками

Продолжение таблицы 8.1

1	2	3	4	5
М7	Прикладное ПО	И19 Интерфейс с системным ПО	Ф3.3 Получить состояние розетки и выключателя Ф4.3 Отобразить состояние розетки и выключателя Ф8.3 Выбрать код состояния Ф7.3 Ввести метку для кода состояния	Вход: С3 Код состояния розетки С6 Код состояния ключа С10 Метка С11 Выбор Внутренние связи: С4 Список состояний С9 Метка/код С12 Код состоояния Выход: С5 Визуализация состояний Выключателей и розеток с метками

Каждая строчка спецификации (таб. 8.1) послужит отправной точкой для разработки набора технических требований, достаточных для начала разговора с инженерами для специальности.

Работа по системному проектированию должна быть продолжена по следующим направлениям:

- определить требования к каждому элементу системы;
- связать требования с потребностями;
- подобрать варианты физической архитектуры под требования;
- сравнить варианты и принять архитектурное решение;
- разработать техническое задание.

Для разработки требований к каждому элементу системы можно использовать прием задавания вопросов исполнителем. Представьте себя разработчиком модуля (М3), т.е. именно вам нужно будет проектировать этот модуль. Тогда, скорее всего, у вас возникнут такие вопросы:

- какого размера должен быть передатчик, чтобы уместиться в коробку?
- какого рода крепление?
- какие будут датчики? Какого размера?
- почему WiFi?
- где будет питание?
- на какие расстояния надо передавать сигнал?
- сколько таких передатчиков будет использоваться одновременно?

- сколько состояний у датчика?
- сколько состояний распознает приемник?

Системному инженеру необходимо общаться с каждым разработчиком отдельного модуля – задавать ему вопросы и полученные ответы придется уточнять с другими инженерами. Это общение позволит системному инженеру последовательно уточнять требования к системе. Более подробно работа с требованиями рассмотрена в специальной литературе.

Резюме по работе системного инженера

Вся деятельность системного инженера в проекте направлена на определение облика будущей системы, удовлетворяющей требования стейкхолдеров. Добиться положительного результата в этой работе трудно, но возможно. Такая возможность появляется не в тот момент, когда происходит назначение на должность системного инженера, а только после прохождения специального обучения. Результат этого обучения - в мышлении инженера формируется системное мышление, ориентированное на решение задач создания успешных систем.

9. ИНЖЕНЕРИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

9.1. Дисциплины инженерии предприятия

Инженерии предприятия (*Enterprise engineering*) [41] – дисциплина, в которой рассматриваются практические аспекты деятельности предприятия в части организации деятельности, технологии производства и работы с технологической (промышленное оборудование) и IT-инфраструктурой.

Спецификой подхода инженерии предприятия является опора на проектные аспекты в деятельности. Основные проекты, рассматриваемые в инженерии предприятия, являются проекты развития предприятия и проекты совершенствования. Отсюда можно сделать вывод, что процессы воспроизводства (стабильно повторяющиеся) в инженерии предприятия не рассматриваются. Основная цель инженерии предприятия – получение быстрого предприятия, т.е. быстро выпускающее продукцию, быстро перестраивающего и осваивающего новые технологии. В конкуренции побеждает обычно тот, кто во всех аспектах деятельности оказывается быстрее других.

Предприятие как система рассматривается в нескольких инженерных и менеджерских дисциплинах. Две из этих дисциплин тесно связаны с инженерией предприятия:

- организационная инженерия (*Organizational engineering*);
- бизнес-инжиниринг (*Business engineering*).

Организационная инженерия — это академическая дисциплина, в которой рассматривается организационная часть предприятия. В ней рассматриваются способы построения организационной структуры и распределения полномочий в подразделениях. Инженерия предприятия как практика использует организационную инженерию как дисциплину своей практики и на ее основе разрабатывает организационную структуру: организационные звенья, инструменты, способы выполнения и координации работ.

Бизнес-инжиниринг – это дисциплина, относящаяся к предпринимательской деятельности. Для предприятия вопросы стратегирования – это то, чем будет заниматься предприятие в предстоящий период, причем стратегия определяется в ходе практики стратегирования – многоуровневой деятельности с альфой стратегии (подальфе возможностей) и далее с определением предприятия в части целеполагания (*motivational model*). Основным признаком наличия стратегии – это прохождение теста Портера на сфокусированность, т.е. четкое определение конкурентного преимущества, выделяющее предприятие из других предприятий этого сектора рынка. Стратегией может быть что

удовно - это и желаемое состояние предприятия в конце задуманного действия, и план действий, и хитрый трюк-уловка, и повторяющийся паттерн успешного действия, и выбор целевого рынка. Инженерия предприятия непосредственно не занимается предпринимательством, стратегированием, маркетингом, продажами, но тесно связана с ними. Инженерия предприятия создаёт ту часть предприятия, которая занимается стратегированием, маркетингом, продажами и обеспечивает неразрывную связь этой части предприятия с инженерной.

Инженерный менеджмент и управление технологиями (*engineering and technology management*) - это дисциплина, в которой рассматриваются задачи замены практик, используемых на предприятии. Сюда входит:

- осознание того, что используемые практики не удовлетворяют выдвигаемым требованиям;
- вывод предприятия из использования старых практик;
- освоение новых практик – создание условий для ее освоения.

Инженерия предприятия рассматривает ограниченную часть деятельности предприятия – развитие и совершенствование. Развитие – это управление технологиями (переход от одних практик к другим), совершенствование – это повышение эффективности используемой технологии за счет устранения отдельных недостатков благодаря более тонкой настройке отдельных операций.

Развитие – это рост спектра возможных адекватных ответов предприятия на самые разные ситуации. Развитие – это когда всё реже и реже выдаются неадекватные реакции в незнакомых ситуациях из-за незнания и неумения, неумения владеть инструментами, незнакомства с рабочими продуктами. Совершенствование – это когда всё реже и реже проявляются неуместные в знакомой ситуации поведенческие стереотипы человека или предприятия. Развитие – это шаги вперёд, в новые ситуации. Совершенствование – это занятие круговой обороны в знакомой ситуации, и выигрыш за счёт этого. Развитие и совершенствование также легко спутать: например, при совершенствовании можно начинать замечать много нового, казалось бы, в знакомой ситуации; это будет превращать совершенствование в развитие.

9.2. Предприятие как система

Возникновение предприятия

Предприятие как любая система, созданная человеком, имеет предназначение – определенную цель (например, выпускать продукцию). Чтобы предприятие могло выпускать продукцию нужно его замыслить, спроектировать, изготовить, испытать, эксплуатировать. а затем

модернизировать или вывести из эксплуатации. Эта последовательность представляет жизненный цикл предприятия как целевой системы.

В проекте предприятия должны быть определены наиболее важные его части – техническая, технологическая, система организации производства и экономическая системы. Чаще всего, предприятие создается для выпуска определенного вида продукции (например автомобиля) и в проекте создания предприятия техническая и технологическая части создаются под выпуск конкретной марки (автомобиля). Организационная структура предприятия должна соответствовать структуре выпускаемой продукции. Для автомобильного предприятия будут выделены цеха по производству двигателей, коробки передач, ходовой части и т.д. Обязательным будет организация сборочного производства автомобиля. Экономическая подсистема во многом будет определяться организационной структурой предприятия.

После создания предприятия и начала выпуска продукции оно, сохраняя статус целевой системы, приобретает дополнительный статус – быть обеспечивающей системой для выпускаемой продукции. Как известно, обеспечивающая система состоит из команды и технологий. Поэтому на заключительном этапе создания предприятия следует принять на работу необходимое количество сотрудников нужной квалификации на все должности в организационной структуре и освоить технологии, которые потребуются для выпуска продукции.

Основные элементы предприятия

При рассмотрении предприятия как системы можно выделить следующие аспекты:

- производственно-технический;
- организационно-административный;
- экономическим.

Производственно-технический аспект. Предприятие представляет собой единый, четко структурированный производственный организм, характеризующийся производственной структурой предприятия, и единую технологическую систему.

Организационно-административный аспект позволяет выделить общность территориального расположения, единство коллектива в единство административного и технико-экономического руководства, общность плана и системы учета, включающей единый баланс предприятия, счета прибылей и убытков. Руководство предприятием несет полную ответственность за производственно-хозяйственную деятельность и выполнение плана по всем показателям.

Финансово-экономический аспект. Как субъект хозяйствования предприятие представляет собой единую экономическую систему,

взаимодействующую с органами государственной власти, поставщиками ресурсов, потребителями продукции, финансовыми институтами и др.

Целевая направленность деятельности предприятия заключается в том, что оно представляет собой совокупность элементов, объединённых участием в достижении общей цели, решении общих задач. Достижение поставленной цели обеспечивается за счёт тесного взаимодействия всех элементов в процессе производственно-хозяйственной деятельности предприятия.

Важнейшим элементом является управление, которое разделяет предприятие на две подсистемы: управляющую и управляемую. Процесс управления ставит своей задачей координацию деятельности подразделений. Его осуществлением на предприятии занимается управленческий аппарат. Управление деятельностью необходимо осуществлять с учётом требований системного подхода, рассматривая все компоненты (подразделения, сферы и направления деятельности) в их взаимосвязи как элементы единой производственно-технической, экономической и организационной систем.

Предприятие принято разделять на следующие подсистемы:

- техническую;
- технологическую;
- систему организации производства;
- экономическую систему.

Техническая система состоит из аппаратов, механизмов, машин, представляющих собой взаимозависимый комплекс оборудования, обеспечивающей решение конкретного производственного задания.

Технологическая система – совокупность технологических процессов, в которых последовательно исходные материалы превращаются в конечный продукт, в том числе вспомогательные технологические операции и т. д.;

Система организации производства даёт возможность рационально (во всей совокупности) использовать труд, оборудование, предметы труда, производственные площади, т.е. создавать условия для осуществления процесса производства с помощью наиболее прогрессивных приёмов и методов с наименьшими затратами.

Экономическая система предприятия выражает единство экономических процессов и экономических связей всех элементов производства. Экономическая система включает в себя два аспекта:

- экономический – совокупность производственных (имущественных) отношений;
- социальный – как состав коллектива и совокупность отношений между работниками предприятия.

Кроме того, можно выделить функциональные подсистемы, обслуживающие производство: проведение ремонтов, обеспечение энергией, учет, планирование, снабжение, сбыт и т. д. Все указанные системы взаимосвязаны и только в своём единстве образуют предприятие как систему. Инженерия предприятия рассматривает только небольшую часть деятельности – организационный и технологический аспекты.

Миссия и стратегия предприятия

Важным аспектом в деятельности предприятия является определение общего понимания того, каким хотят видеть это предприятие основные стейкхолдеры – круг лиц, которые обладают правом устанавливать текущие цели предприятия. В этот круг входят владельцы и акционеры предприятия: владельцы имеют право принимать решения относительно деятельности предприятия, а акционеры вкладывают свои денежные средства, используемые в деятельности предприятия. Владельцев и акционеров интересует прибыль, образуемая в результате деятельности предприятия. Но это показатель деятельности не является единственным – предприятие должно выполнять много других условий, совокупность которых и определяет успешное предприятие.

Представление о том, каким хотят видеть предприятия его основные стейкхолдеры, обобщается в таком документе, как миссия предприятия. Миссия предприятия формулируется в терминах его целевой деятельности и определяется на достаточно длительный срок, что является гарантией стабильности предприятия. Разные стейкхолдеры будут иметь собственные точки зрения по этому вопросу. Поэтому все эти разные точки зрения, в конечном счете, должны быть согласованы. Эта согласованная точка зрения оформляется в виде основополагающего документа деятельности предприятия – миссии. На основе этого документа принимаются решения относительно текущей стратегии предприятия.

На основе миссии предприятия периодически составляется стратегия – это конкретное направление деятельности на относительно небольшой промежуток времени. Стратегией может быть что угодно. Генри Минцберг [41] говорит, что стратегией называют любые из 5Ps – perspective, plan, ploy, pattern, position. Стратегия – это и желаемое состояние предприятия в конце планового периода, и план действий, и хитрый трюк-уловка, и повторяющийся паттерн успешного действия, и выбор целевого рынка. Стратегирование (процесс разработки стратегии) – это предпринимательская деятельность – умение «предвидеть будущее».

После принятия стратегии руководством предприятия запускается процесс стратегического управления, который состоит из принятия

различных решений (реализации стратегии), изменяющих как само предприятие, так и отношение с поставщиками и клиентами. После начала реализации стратегии процесс стратегирования не заканчивается – периодически происходит оценка изменения стратегических показателей и, если эта оценка не удовлетворяют руководство предприятия, происходит уточнение стратегии.

Инженерия предприятия тесно связана с предпринимательством и стратегированием, так как на основе стратегии инженеры определяют, какие новые продукты планируется к запуску, какие технологии необходимо освоить в ближайшее время, как потребуется изменить организационную структуру предприятия.

Организационная структура предприятия

Главной особенностью предприятия является наличие в нем организационной структуры – распределение подчиненности и ответственности персонала предприятия по видам деятельности и иерархии управления. Насколько рациональным будет это распределение, настолько согласованной будет деятельность организации и общий итог работы.

Организационная структура предприятия – это совокупность звеньев (структурных подразделений) и связей между ними. Выбор организационной структуры зависит от таких факторов, как:

- организационно-правовая форма предприятия;
- сфера деятельности (тип выпускаемой продукции, ее номенклатура и ассортимент);
- масштабы предприятия (объем производства, численность персонала);
- рынки, на которые выходит предприятие в процессе хозяйственной деятельности;
- используемые технологии;
- информационные потоки внутри и вне фирмы;
- степень относительной обеспеченности ресурсами и др.
- организация взаимодействия с внешней средой.

Организационная структура регулирует: разделение задач по отделениям и подразделениям; их компетентность в решении определенных проблем; общее взаимодействие этих элементов. Такой принцип построения организации приводит к иерархической структуре. Основными законами рациональной организации являются:

- упорядочение задач в соответствии с важнейшими точками процесса;
- приведение управленческих задач в соответствие с компетентностью и ответственностью, согласование «поля решения» и доступной

информации, способность компетентных функциональных единиц принять к решению новые задачи);

- обязательное распределение ответственности (не за сферу, а за «процесс»);
- короткие пути управления;
- баланс стабильности и гибкости;
- способность к целеориентированной самоорганизации и активности;
- желательность стабильности циклически повторяемых действий.

Для разных организаций характерны различные виды структур управления. Однако обычно выделяют несколько универсальных видов организационных структур: линейная, линейно-штабная, функциональная, линейно-функциональная, матричная.

Закон Конвея

Закон Конвея [24] утверждает, что структура сложного инженерного объекта будут копировать структуру коммуникации создающего его предприятия. Другими словами, два модуля системы не смогут взаимодействовать, если не смогут взаимодействовать их создатели. Поэтому для заработавшей системы структура конечных модулей будет отражать структуру коммуникации разработчиков. Структура целевой и обеспечивающей системы оказываются связанными. Фред Брукс [42] сформулировал следствие из этого закона: поскольку первые приходящие в голову архитектуры обычно плохи, то разбиение системы на модули неизбежно будет меняться по ходу дела. Это означает, что организация должна будет отражать изменение архитектуры, она должна быть гибкой – чем более гибка организация в изменении своей структуры, тем более хороши будут архитектуры, тем проще выжить организации в ходе конкурентной борьбы. Лидерами рынка обычно являются организации, которые приходят на рынок с новыми архитектурами. Это означает, что лидерами рынка будут организации, способные быстро менять свои структуры в соответствии с новыми архитектурными решениями. Изменить архитектуру целевой системы в соответствии с законом Конвея означает, что необходимо изменить и архитектуру предприятия, которое занимается этой системой.

Технологическая основа производства

Технология – это совокупность методов и инструментов для достижения желаемого результата. Важным аспектом понимания технологии является применение научного знания для решения практических задач. Предприятие объединяет много разнообразных видов деятельности: проектирование и производство изделий, управление предприятием, обеспечение работоспособного состояния оборудования,

информационное обеспечение управления предприятием и т.д. Все виды деятельности выполняются по определенной технологии. Уровни используемых технологий во многом определяют эффективность работы предприятия.

Так как технология используется в деятельности, то в ней выделяют понятие технологический процесс как последовательность действий по созданию результата деятельности: продукции, документации, работоспособного оборудования, информационного сервиса. Эффективность технологии определяется уровнем технологии – соответствием принципов деятельности, на которых основана технология, современному состоянию науки. Развитие предприятия основано на использовании новых, более эффективных технологий. Технологическое развитие предприятия обеспечивает сохранение конкурентных преимуществ данного предприятия в изменяющейся бизнес–среде.

9.3. Проекты предприятия

До последнего времени обычной практикой реализации стратегии предприятия было проведение совещаний, по результатам которого разрабатывался список мероприятий на предстоящий период. Контроль за выполнение отдельных работ этого списка возлагался на руководителей соответствующих подразделений. Проектный подход к организации деятельности значительно повышает результативность работ по реализации стратегии предприятия, так как используется практика проектирования (описания) того состояния, к которому стремиться предприятие. Без составления описания нового состояния предприятия невозможно организовать обсуждения предлагаемых решений со всеми стейкхолдерами проекта предприятия, а значит, найти решение, удовлетворяющее все стороны.

В деятельности предприятия различают производственные (целевые) проекты и проекты развития. Производственные проекты - это проекты по оказанию услуг клиентам, проектированию, конструированию, изготовлению целевых систем для клиентов. Отличительными особенностями данных проектов являются: неизменность, повторяемость, цикличная воспроизводимость практик. Для таких проектов используется понятие «производство» (*producing, production*), которое включает в себя и замысел, и разработку, и изготовление, и испытания, и эксплуатацию, и вывод из эксплуатации целевой системы. В производственных проектах предприятие выступает как обеспечивающая система – обеспечивает разработку и производство целевой системы для клиента.

Проекты развития предприятия предусматривают изменение самого предприятия: изменение его организационной структуры

(организационное развитие) и изменение технологии (технологическое развитие). В таких проектах предприятие само себя изменяет – часть предприятия изменяется в ходе проекта и та же самая часть обеспечивает эти изменения.

Проекты развития

В жизненном цикле предприятия нужно различать этапы развития и совершенствования.

Развитие – это рост возможных адекватных ответов предприятия на изменяющиеся внешние и внутренние ситуации. Отсутствие развития – предприятие всё чаще и чаще реагирует неадекватно в незнакомых ситуациях из-за отсутствия необходимых знаний и умений. Совершенствование – всё реже и реже в деятельности предприятия возникают ситуации, которые приводят к ошибкам.

Таким образом, развитие - это шаги вперёд в новые возможности справляться с проблемами предприятия, а совершенствование - это использование наработанного опыта в решении проблем. Однако, в развитии есть ключевая проблема – часто непонятно, зачем менять привычные методы работы, если предприятие и так успешно с ними справляется. Этой точки зрения будут придерживаться большинство руководителей, даже если факты деятельности предприятия будут свидетельствовать о неэффективности существующих методов работы. Развиваться предприятие в большинстве случаев начинает только тогда, когда оно перестает выдерживать конкуренцию и существует реальная угроза банкротства.

Возможность сделать следующий шаг в своем развитии у предприятия появляется только на основе успешного совершенствования используемых практик. В совершенствовании заложены элементы развития, так как попытки улучшить существующий процесс, в котором уже устранено большинство проблем, неизбежно заставляет задуматься о новых способах выполнения данной деятельности, так как реальная деятельность всегда содержит элемент неопределенности и в ней периодически возникают ситуации, которые удовлетворительно не могут быть разрешены в используемой практике.

В большинстве случаев при выборе следующего шага в выборе новой практики есть риск пойти по более понятному пути развития, который является непосредственным продолжением существующей практики. Наглядным примером может служить переход на электронный документооборот. Все большее использование информационных технологий ставит вопрос о переходе ведения документов в электронном виде. Однако для перехода на действительно новые практики ведения документов требуется изменение представления о документе как

некоторой совокупной (целостной) информации, содержащейся на определенном носителе. Существует устоявшаяся система ведения таких документов, регламентированная нормативными документами. Если не изменить представление о документе как целостной совокупности информации, то электронный документооборот будет построен на хранении электронных копий документов. Ничего принципиально нового такой способ ведения документов не дает. Чтобы найти нужную информацию, необходимо просмотреть большое количество документов. Только в том случае, когда будет изменено понятие документа, когда будут в этом документе выявлены отдельные информационные объекты, только тогда произойдет переход к хранению данных этих документов, что потребует создания соответствующих баз данных. Хранение информации в виде данных открывает возможности поиска нужной информации с помощью соответствующих алгоритмов. Только в этом случае произойдет развитие практики ведения документов, которая спровоцирует появление новой практики – анализ данных.

Системный подход к инженерии выделяет в проблеме развития следующий аспект – необходимость подготовки коллектива предприятия к запуску работ по развитию. Речь идет о необходимости коллективного обсуждения проблемы совершенствование - развитие. И здесь возникает необходимость выполнить развитие для развития, т.е. подготовить персонал к освоению новых понятий, новых подходов и точек зрения. Для этого необходимо психологически освободиться от привычных навыков, вполне работоспособных, и пройти ряд образовательных ступенек, которые с точки зрения текущей ступеньки предельно абстрактно и не выглядят как что-то практичное. Но эти «ступеньки, ни о чём» лежат в основе любого образования, которое готовит развитых людей, т.е. людей, не теряющихся в широком разнообразии ситуаций.

Постановка практик

Целевой системой производственного (инженерного) проекта развития предприятия является его подготовка к использованию новой технологии. Цели такого проекта:

- образование персонала предприятия по новым дисциплинам;
- разворачивание новых инструментов и рабочих продуктов;
- формирование новых навыков в работе с новыми инструментами и рабочими продуктами.

Обеспечивающей системой для производственного предприятия является команда проекта развития. В команду развития входит персонал предприятия, имеющий непосредственно отношение к тому производству, на котором будет проходить замена технологии. Понятие стейкхолдер позволяет разобраться с теми ролями, которые этому персоналу предстоит

занимать в ходе проекта развития. С одной стороны, персонал будет выполнять работы по подготовке к переходу на новую технологию. В тоже время персонал будет рабочим продуктом этой деятельности – именно этот персонал будет обладать знаниями в новых дисциплинах, будет владеть новыми навыками. Возможность сочетать эти разные роли дает лидерство (*leadership*) – дисциплина, позволяющая людям добровольно становиться рабочими продуктами в проектах развития и не менее добровольно занимать позиции в производственных (целевых) проектах. Именно лидерство объединяет инженерию предприятия как инженерную дисциплину и традиционный менеджмент как социологическую и психологическую дисциплину.

Кроме персонала предприятия, непосредственно участвующего в производственном проекте, обязательными участниками команды проекта должны быть специалисты отдела развития предприятия и приглашённые консультанты. Эта группа специалистов обладает необходимыми компетенциями в части организации процесса развития (отдел развития), а консультанты должны обладать достаточным опытом по постановке таких технологий на других предприятиях. Для обучения персонала предприятия новым дисциплинам рационально заключить договор с соответствующей образовательной организацией, что обеспечит требуемое качество изучения новой дисциплины.

9.4. Системная инженерия предприятия

Системный подход к инженерии предприятия

Все элементы системного подхода могут быть использованы к проектам развития предприятия: предприятия материальны (люди, здания, сооружения, оборудование и другие ресурсы); предприятия состоят из структурных иерархий компонент, модулей, размещений; предприятие имеет жизненный цикл.

Важнейшим элементом системного подхода к рассмотрению проектов развития предприятия является использование архитектурного описания предприятия. Эти описания могут быть выражены в текстах, компьютерных моделях, базах данных, регламентах, стандартах, приказах, протоколах, компьютерных программах и т.д. В отличие от описания технических систем описание предприятий представляет собой описание совместной деятельности людей, включая описания взаимодействия людей с информационными системами и производственным оборудованием и инструментами, а также описания работы информационных систем и производственного оборудования и инструментов. Эти разные описания удовлетворяют интересы разных заинтересованных сторон (*stakeholders*) предприятия путём использования

разных тематических методов описания (*viewpoints*) для создания разных тематических групп описаний (*views*).

Основные альфы проекта развития предприятия

Для использования системного подхода необходимо уточнить понятия альф организационного и технологического решения предприятия. Эти альфы должны определить, как распределены ответственности и полномочия между людьми и группами людей (подразделениями) и какие практики поставлены (технологии развёрнуты) на предприятии.

Подальфами определения предприятия будут:

- стратегия – описание целеполагания, бизнес-архитектуры (примерный аналог «требований» – описание системы в терминах её поведения как чёрного ящика);
- архитектура предприятия (основные организационные и логистические решения);
- неархитектурные описания организационных и логистических (операционных) решений;

Подальфоми воплощения предприятия будут:

- деятельность – функциональный аспект предприятия – как устроено предприятие, как оно работает (процессы предприятия);
- подразделения – модульный аспект – как сгруппированы ресурсы: сотрудники, здания, оборудование, материалы. Примером модульного описания может служить организационная структура предприятия;
- размещение (географическое нахождение ресурсов предприятия): распределение подразделений (людей и оборудования) по зданиям, странам, рынкам и т.д.

Для разных стейкхолдеров могут использоваться и другие описания, удобные для использования в практической деятельности.

Виды практик описания деятельности

Деятельность предприятия («принципиальная схема», «как оно работает», компонентное описание) может быть описана самыми разными практиками описаний (*viewpoints*), делающими акцент на разные альфы в зависимости от того, для какой деятельности над деятельностью эти описания будут полезны:

- Технологии (*way of working*) - для управления технологиями (постановки практик, определения нужных компетенций, понимания связи с инженерией, т.е. какие операции нужны, какие рабочие продукты, какие инструменты) требуются описания деятельности как состоящей из выполняемых практик - дисциплины (альфы),

рабочие продукты и инструменты. Упор на то, с чем работаем (альфы и рабочие продукты), и только потом, какие с ними операции и в какой последовательности выполняются. Типичный пример – это описания ситуационной инженерии методов (в том числе, по стандарту OMG Essence, но также и SPEM 2.0 и т.д.).

- Работы – упор на логистику: отслеживание выполнения работ ограниченными ресурсами предприятия с целью максимизации прохода работ и контроля выполнения всех необходимых работ. Обычно это процессные и проектные описания.
- Команда – упор на организацию тех, кто выполняет работы, задаваемые практиками (полномочия, поручения, обещания и т.д.). Помним, что каждый член команды – это также и стейкхолдер, так что это описание полномочия ролей (компонент, а не заполняющих эти роли людей и подразделений).

Так как альфы тесно связаны друг с другом, то и описания будут гибридными, т.е. учитывать разные аспекты. В работе [44] эти основные виды моделирования называются соответственно

- artifact-based (упор на рабочие продукты – разные операции работают с какими-то рабочими продуктами);
- activity-based (процессно-ориентированные с предопределённой последовательностью операций);
- communication (or conversation) based – цель деятельности достигается как результат серии взаимодействий (коммуникаций, переговоров) участников деятельности.

Нужно учитывать, что во многих случаях процессный подход (и его варианты «управление проектами», «управление делами/case management») недостаточны для описания деятельности, для описания хода работ, для описания предприятия в целом.

Существуют много других подходов, ставящих акценты и на альфы с рабочими продуктами (когда описывается не логистика, а содержание деятельности) и на координационные акты в команде (организационно-ориентированные). Наиболее развиты описания на основе координационных актов в подходе DEMO [33]. В DEMO все действия различаются на производственные (действия по изменению вещества или информации) и координационные (поручения работы, обещания выполнить работу, сообщение о выполнении работы, подтверждение выполнения работы, отказ от выполнения или приёмки работы). Исполнители работ (actor) имеют как компетенции по выполнению производственных действий (или отказу от них), так и полномочия по выполнению координационных действий. Каждое действие в DEMO называется транзакцией и проходит в следующей последовательности:

инициатор транзакции желает получить какие-то результаты, просит результат у исполнителя работ, исполнитель работ обещает выдать результаты, затем производит их, затем объявляет о готовности результатов работы, далее инициатор работ принимает результат работы, и инициатор использует результаты работы в своей части производства.

Таким образом, организация работ – это проработывание вопроса о координации действий полномочий, проектирование и последующее воплощение схемы распределения полномочий в части координационных действий. Тем самым исполнитель, кроме функциональной его роли стейкхолдера (архитектор, инженер, слесарь) в организации, имеет ещё и координационную роль (какого вида работы он обычно поручает и принимает их результаты, а какие берётся исполнять и сдавать их результаты).

В значительной мере документооборот, процессы, визирования, управления поручениями – это не только содержательное выполнение самого дела, сколько координационная деятельность в рамках организации: выражение просьб, обещаний, предъявлений выполненной работы, акцепта результатов, отказов от выполнения или акцепта.

Архитектура предприятия

Основные решения, определяющее предприятие, называются архитектурой. Но компоненты, модули, размещения и разные другие объекты предприятия не так просто определить, поэтому, при попытке описать предприятие, часто возникает вопрос: «Что это в нашем мире?». То есть от архитектурного вопроса переходят к вопросу онтологическому. Архитектура предприятия ничем особенным не отличается от любой другой архитектуры, разве что у предприятия не совсем тривиальным образом выделяются компоненты, модули, размещения и принципиальные схемы (схемы деятельности) выглядят по-другому, нежели принципиальные схемы электрические и оптические.

Архитектура предприятия – это то, как оно организовано. Как организовано (архитектура), т.е. кто над чем работает и кому эта работа нужна. Организация (онтология, архитектура) предприятия невидима, но можно сделать вполне видимое архитектурное описание. Если есть архитектурное описание, то можно его использовать для обсуждения организации предприятия всеми стейкхолдерами, включая компетентных в вопросах организации людей, и тогда есть шанс, что организацию удастся улучшить. Если документированного архитектурного описания нет, то каждый имеет какое-то описание в каком-то виде в собственной голове. При обсуждении организации работ предприятия у всех гарантированно будут разные представления о договорённостях, а

результат работ по таким договорённостям описан в басне Крылова «Лебедь, рак и щука».

Архитектурное описание состоит из ряда диаграмм, что позволяет понять устройство организации и затем договориться, что нужно в организации поменять. Архитектурное описание - это инструмент для заключения договоренностей ключевых заинтересованных сторон по поводу важных аспектов организации работ.

Одним из основателей архитектурного моделирования предприятий был John Zahman [44], предложивший подход к описанию архитектуры предприятия в виде матрицы. Он рассматривает жизненный цикл (от задумки до воплощения) элементов предприятия - *reification transformation*, и каждую стадию жизненного цикла связывает с определённой профессиональной ролью (стейкхолдером предприятия):

1. Сфера деятельности (*Scope context*) – руководитель (планировщики сферы деятельности).
2. Модель предприятия (*Business concepts*) – управление бизнесом (владельцы бизнес-концепции).
3. Модель системы (*System logic*) – архитектор (дизайнеры бизнес-логики).
4. Физическая (технологическая) модель (*Technology physics*) – инженер (построители бизнес-логики).
5. Детали реализации (*Tool components*) – техник (исполнители бизнес-компонентов).
6. Работающее предприятие (*Operations instances*) – пользователи.

И приведённые шесть уровней воплощения – это неявно шесть стадий жизненного цикла предприятия, каждая из которых имеет свой специфический набор моделей, свой набор знаний, своих озабоченных целостностью проводимых на данной стадии работ стейкхолдеров (позиционеров-профессионалов).

Онтологически предприятие по Захману состоит из следующих объектов:

- активы (*inventory sets*) – сущности и отношения;
- ход работ (*process flows*) – трансформации и что на входе/выходе этих трансформаций;
- распределительные сети (*distribution networks*) – это операционное управление, логистические сети, руление потоками;
- ответственность/полномочия (*responsibility assignments*) – это и есть организация;
- временные циклы (*Timing Cycles*) – этапы в жизни предприятия;
- деятельностное намерение (*Motivation Intentions*) – цели и средства, какие средства помогают достигать каких целей;

Все эти объекты провязаны друг с другом через правила корреспонденции (*correspondence rules*) (как и предполагается в ISO 42010).

Архитектура предприятия – это то, чем сегодня активно занимаются бизнес-аналитики – специалисты, занимающиеся формализованным описанием деятельности, а не описанием бизнеса в предпринимательском смысле этого слова. Это часть Инженерии предприятия, которая в свою очередь часть Системной инженерии в части систем предприятий. А бизнес-архитектура – это часть менеджерской/стратегической деятельности, предпринимательство, а не инженерия.

Архитектурное моделирование

Для описания архитектуры предприятий разработано много подходов (frameworks), определяющих различные наборы viewpoints - TOGAF, Zachman's, ArchiMate – и соответствующее число архитектурных языков, предназначенных для выражения идей, содержащихся в подходах к моделированию предприятий. Наиболее используемым и значительно развивающимся подходом к архитектурному моделированию на сегодняшний день является стандарт ArchiMate 2.0 [36].

Основная цель при создании ArchiMate была – учесть необходимость указания в архитектуре предприятия одновременно:

- структур деятельности (людей);
- структур функционирования компьютерных программ;
- структур поддержки инфраструктуры (компьютеров и линий связи) для программ.

Для этого был придуман язык, на одной и той же диаграмме которого можно было отразить объекты и связи всех этих разных категорий. Каждая категория (уровень) имеет свой набор объектов и на диаграмме отображается своим цветом. К базовым понятиям языка относятся понятия «элемент» и «отношение». Элементы - это объекты различного содержания, формы и предназначения, а отношения - различного рода соединения, связывающие элементы. Элементы в языке различаются по трем признакам, или аспектам. Первый аспект разделяет элементы языка на три типа: активный структурный элемент, пассивный структурный элемент и элемент поведения. Второй аспект различает внешний и внутренний взгляды на систему, и на этой основе вводятся понятия «сервис» и «интерфейс». Третий аспект учитывает то, что определенное действие (поведение) может выполняться одним структурным элементом и коллективом.

На рис. 9.1 приведен простой пример архитектуры предприятия.

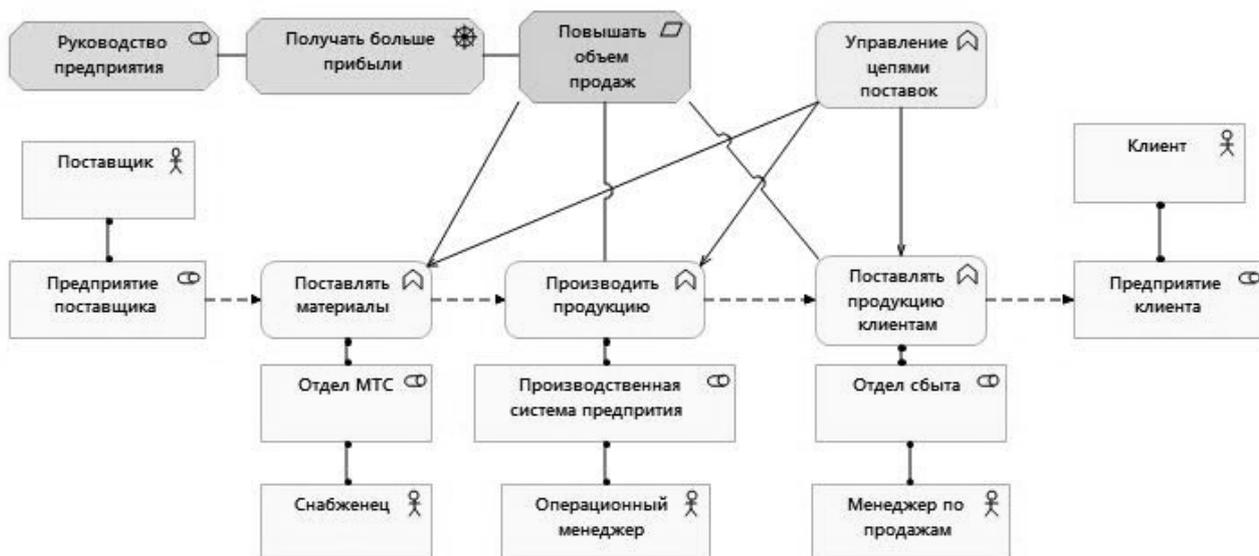


Рис. 9.1. Пример описания архитектуры предприятия

Элемент мотивации – стейкхолдер «Руководство предприятия» ставит цель «Получать больше прибыли», для достижения которой выдвигает требование «Повышать объем продаж». Бизнес-слой образуют бизнес-акторы (поставщик, снабженец, операционный менеджер, менеджер по продажам и клиент) и бизнес роли (предприятие поставщика, отдел МТС, производственная система предприятия, отдел сбыта и предприятие клиента). Деятельность предприятия описана тремя бизнес-функциями: поставлять материалы, производить продукцию и поставлять продукцию клиентам. Уровень приложений представлен одним элементом – программной системой уровня управление цепями поставок. Все три уровня архитектуры предприятия показаны на одной диаграмме, что значительно облегчает понимание и обсуждение архитектуры.

Предприятие в ArchiMate описывается в виде элементов (изображаются разными фигурами), находящихся друг с другом в каких-то отношениях (отношения изображаются соединительными линиями между элементами). ArchiMate ценен тем, что для описания работы предприятия предлагает компактный набор элементов описания:

- 16 типов элементов для уровня людей;
- 7 типов элементов для уровня программ;
- 9 типов элементов для уровня оборудования;
- 11 типов отношений, в которых элементы могут находиться друг с другом;
- 7 типов элементов для целеполагания и обоснования изменений в организации;
- 4 типа элементов для проектирования перехода к новой архитектуре.

В ArchiMate используются одинаковые принципы для описания деятельности людей, программ и оборудования. Во всех этих описаниях

можно указать компонентное, модульное описание, размещение. Это лишний раз подчёркивает общность обращающихся к системному подходу инженерий: системной, программной, предприятия. Используемые ими архитектурные языки при всей их разности оказываются довольно похожими по своей сути в той мере, в которой они явно обращаются к системному подходу.

9.6. Совершенствование предприятия

В рамках дисциплины «Инженерия предприятия» совершенствование понимается как систематическое повышение эффективности технологии за счет устранения разного рода препятствий к деятельности организации в использовании этой технологий. Чаще всего, эти препятствия заключены не в самой технологии, а в той системе, которая эту технологию использует. Поэтому к совершенствованию необходимо подходить с системных позиций, что и будет гарантировать результативность деятельности. В настоящее время принцип постоянного улучшения деятельности организации является обязательной целью любой организации, он зафиксирован как один из принципов менеджмента качества. Существует несколько подходов к совершенствованию деятельности предприятий, наиболее известными из которых являются подход Шухарта - Деминга, теория ограничений (ТОС), Lean и 6 sigma.

Подход Шухарта - Деминга

Подход Деминга [46] включает в себя несколько составляющих: 14 принципов менеджмента, цикл непрерывного совершенствования PDCA и глубинные знания – 4 самых важных аспекта в управлении: понимание системы, понимание вариабельности, научные знания и психология.

В рамках дисциплины инженерия предприятия из работ Деминга основной интерес представляет цикл совершенствования – Шухарта-Деминга Plan, Do, Check, Act (PDCA):

- планируй работу (Plan – найди проблему);
- работай (Do – устрани проблему);
- проверь (Check – проверь качество, измерь результат);
- действуй (Act – проведи коррекцию, т.е. меры по устранению выявленных при проверке проблем);
- действуй дальше с начала цикла.

Он уже не столько цикл управления операциями (альфа «Работы»), сколько управления технологиями (в части совершенствования технологий), используемый для управления качеством как уменьшением разброса в характеристиках продуктов. Шухарт впервые описал

концепцию PDCA в книге "Статистические методы с точки зрения управления качеством" [46]. Э. Деминг пропагандировал использование цикла PDCA в качестве основного способа улучшения качества: постоянная переналадка процессов работы с тем, чтобы устранить неслучайные/систематические отклонения [45].

Основная идея этого цикла в том, что разброс параметров выпускаемой продукции (несоответствие ожиданиям однородности выпуска продукции с заданными параметрами) обусловлен как проявлением случайных факторов, так и действием неслучайных причин. Действие случайных факторов обусловлено свойствами всей системы, а неслучайные (особые) причины – с действием факторов, непосредственно связанных с данным процессом. С помощью карт Шухарта можно «увидеть» процесс и выявить действие особых причин вариабельности. Это позволит сформулировать предположение (гипотезу) и спланировать действие по устранению предполагаемой причины (Plan). После выполнения действий (Do) обязательно нужно выполнить проверку (Check). Если проверка показала, что предположение о причине проблемы оказалось правильным, то можно устранять данную причину в производстве. Если проверка показала ошибочность выдвинутого предположения, то необходимо выдвинуть другое предположение или провести анализ дополнительно.

Цикл Деминга не дает конкретных рекомендаций по совершенствованию процессов, но устанавливает важный аспект этого процесса – необходимость добиться выявления действительных проблем, а не торопиться с внедрением предложений по улучшению.

Совершенствование бизнес-процессов

Совершенствование (улучшение) бизнес-процессов – это непрерывный процесс анализа действующих процессов, поиск и устранение как видимых, так и скрытых проблем с целью повышения эффективности деятельности предприятия. К основным факторам, побуждающим организацию сосредотачивать свое внимание на улучшении бизнес-процесса, относятся:

- изменение рыночной ситуации;
- неудовлетворенность клиентов качеством продукции или услуг;
- необходимость снижения затрат или длительности цикла;
- снижение качества работы сотрудников, когда они не могут выполнить поставленные задачи.

В настоящее время в процессном управлении можно выделить два концептуальных подхода к улучшению бизнес-процессов:

- постепенный (пошаговый) подход совершенствования процессов в рамках существующей организационной структуры управления,

требующий незначительных капиталовложений или не требующих их вообще;

- кардинальный подход, ведущий к существенным изменениям процесса и фундаментальным изменениям в организационной структуре управления.

Основой этих подходов является непосредственно процессная теория и методология управления процессами, т.е. само описание процесса, его границ, определение контрольных точек, измерение показателей, анализ хода выполнения процесса. Единство этих подходов заключается в их направленности на выявление узких мест процесса, которые могут выражаться через дублирование функций, ненадлежащее качество отдельных операций или отсутствие необходимой информации.

Достижение поставленных целей совершенствования бизнес-процессов в рамках данных подходов осуществляется с помощью ряда методик:

1. Методика быстрого анализа решения (FAST).

Сущность FAST-метода заключается в концентрации внимания на конкретном процессе. В ходе одно или двухдневного совещания группа совершенствования процесса, используя методы коллективной выработки решения («мозговой штурм», коллективная экспертная оценка), должна определить способы и пути улучшения этого процесса. Как правило, срок реализации проекта по совершенствованию бизнес-процесса в рамках методики FAST не должен превышать 90 дней. При этом типичным результатом улучшения будет сокращение затрат и длительности процесса.

К преимуществам данного метода можно отнести минимальные затраты на его реализацию и быструю выработку решения. Данный метод полностью ориентирован на заказчика, определяющего проблему или процесс как объект совершенствования и одобряющего предпринятые действия по улучшению выбранного процесса.

Существенным недостатком методики FAST является ее относительная локальность – исследование процесса проводится без учета взаимосвязей и взаимозависимостей с другими бизнес-процессами предприятия. К тому же, предпринятые меры по улучшению процесса могут быть эффективными непродолжительное время.

2. Перепроектирование процесса.

Перепроектирование процесса концентрируется на совершенствовании уже существующего и успешно действующего процесса, но в который необходимо внести определенные корректировки в связи с изменившимися требованиями и потребностями потребителя. Перепроектирование процесса подразумевает разработку имитационной модели его текущего состояния. Данный метод имеет достаточно

широкую область применения. По оценкам Д. Харрингтона [48] , перепроектирование может быть использовано для 70-90% основных бизнес-процессов. [4]. Основной недостаток перепроектирования - метод в большей мере ориентирован на улучшение бизнес-процессов, которые являются обеспечивающими для тех или иных функций управления. Тем самым он укрепляет позиции традиционных функционально-иерархических структур, не изменяя их содержания.

3. Реинжиниринг процесса (BPR).

Авторами данной методики являются М. Хаммер и Д. Чампи [48]. Под реинжинирингом бизнес-процессов авторы понимают «фундаментальное переосмысление и радикальное перепроектирование бизнес-процессов для достижения существенных улучшений в таких ключевых для современного бизнеса показателях результативности, как затраты, качество, уровень обслуживания и оперативность». Реинжиниринг вызывает активный интерес специалистов в сфере менеджмента и информационных технологий. Исследователи характеризуют BPR как «революционное», «существенное», «кардинальное», «радикальное», «фундаментальное» перепроектирование бизнес-процессов организаций. Реинжиниринг бизнес-процесса – это самый радикальный из приведенных методов совершенствования. BPR обеспечивает свежий взгляд на сущность и содержание процесса и полностью игнорирует существующий процесс и структуру организации.

Реинжиниринг бизнес-процесса включает следующие этапы:

- разработка образа будущей организации, то есть построение картины развития бизнеса для достижения стратегических целей;
- анализ существующего бизнес-процесса предполагает исследование организации и составление схем ее функционирования в настоящий момент;
- разработка нового бизнеса – новые и/или измененные процессы и поддерживающая их информационная система, подбор прототипов и тестирование новых процессов;
- внедрение нового бизнеса.

Важным аспектом является то, что этапы реинжиниринга выполняются параллельно, при этом некоторые из них неоднократно повторяются.

Бережливое производство и концепция «шесть сигм»

Особое место среди технологий совершенствования бизнес-процессов занимают бережливое производство и концепция «шести сигм». Применение этих методик или отдельных их элементов пользуется большой популярностью среди руководителей предприятий.

История бережливого производства берет свое начало в Японии 1950-х годов, когда автомобильная компания Toyota создала «Производственную систему Toyota». Система объединяет в себе ряд технологий и инструментов, которые обеспечивают:

- рациональное использование ресурсов;
- устранение всех видов потерь, исключение из процессов деятельности, не создающей ценности;
- сокращение времени выполнения производственных операций;
- повышение инициативности и ответственности работников.

В 1960-1970-е годы бережливое производство [49] позволило японским компаниям стать конкурентоспособными в мировом масштабе и достигнуть в 1980-е годы лидирующих позиций в ряде отраслей. Такой быстрый рост японских компаний не мог позволить их западным конкурентам оставаться в стороне, что привело к расширению и развитию системы бережливого производства. Из конкурентного преимущества оно превратилось в обязательный элемент управления современной компанией.

Дальнейшее развитие японской «производственной философии» не изменило ее основ, а лишь сменило фокус на аспекты создания ценности, при этом расширяя рамки подхода для сферы услуг и некоммерческих организаций.

В настоящее время бережливое производство представляет системный подход. Оно позволяет определить процесс создания ценности для клиента, устранить те элементы процесса, которые не заняты в ее создании, а также максимально рационально и оптимально выстроить действия по созданию ценности и осуществлять их без задержек.

Основными методами и инструментами бережливого производства являются:

- картирование потока создания ценности – графическая схема, изображающая материальные и информационные потоки, необходимые для предоставления продукта или услуги конечному потребителю;
- вытягивающее поточное производство и система Канбан – схема организации производства, при которой объёмы продукции на каждом производственном этапе определяются исключительно потребностями последующих этапов;
- кайдзен – непрерывное совершенствование – это философия и управленческие механизмы, стимулирующие сотрудников предлагать улучшения и реализовывать их в оперативном режиме.
- система 5С – технология создания эффективного рабочего места;

- система SMED (*Single Minute Exchange of Dies* – смена штампа за одну минуту) – быстрая переналадка оборудования;
- система TPM (*Total Productive Maintenance*) – всеобщий уход за оборудованием;
- система JIT (*Just-In-Time* – точно вовремя) – система управления материалами в производстве, при которой компоненты с предыдущей операции (или от внешнего поставщика) доставляются именно в тот момент, когда они требуются, но не раньше;
- визуализация – это любое средство, информирующее о том, как должна выполняться работа.

В 1986 г. инженером компании Motorola Б. Смитом была разработана методика непрерывного совершенствования бизнес-процессов, получившая название «шесть сигм» [50]. Как и бережливое производство, концепция «шесть сигм» по первоначальному замыслу была ориентирована на производственные процессы, но впоследствии стала применяться и в других сферах деятельности организации (логистика, маркетинг, обслуживание и т.д.).

Данная концепция направлена на достижение очень малой величины отклонения от стандартного выполнения процесса или качества товара и услуг для более полного удовлетворения потребительских ожиданий. Используемые в «шесть сигм» показатели позволяют проанализировать реальные результаты с диапазоном допустимых значений, т.е. с требованиями клиента.

Фундаментом этой концепции является утверждение, что в качестве дефекта следует рассматривать любое отклонение или несоответствие, приводящее к неудовлетворенности потребителя. Для сравнения разных процессов вместо числа дефектов используют понятие «процент дефектов» или «дефектов на миллион возможностей».

Реализация концепции «шесть сигм» подразумевает выполнение этапов DMAIC ((define, measure, analyze, improve, control):

- определение целей проекта и запросов потребителей;
- измерение процесса (для определения текущего выполнения);
- анализ и определение причин дефектов;
- совершенствование процесса (сокращение дефектов и времени выполнения процессов);
- контроль дальнейшего протекания процесса.

Тенденцией последнего десятилетия является объединение «шесть сигм» и бережливого производства в единую концепцию совершенствования бизнес-процессов.

Теория ограничений

Теория ограничения (ТОС) [51] исходит из системного принципа, что все элементы системы взаимосвязаны, поэтому недостаточная эффективность работы системы связана с ограничением в одном из элементов (звеньев) этой системы. Чтобы повысить эффективность работы организации, необходимо улучшить работу именно того элемента, которое является ограничением.

Теория ограничений утверждает, что любой организационной системе присуща внутренняя простота, а потому количество факторов, ответственных за результативность конкретного предприятия в конкретный момент времени невелико. Именно ими и следует заниматься.

ТОС снабжает организацию инструментами управления, которые позволяют дать ответы на четыре ключевых вопроса, необходимых для роста:

- Что необходимо изменить? – определение ключевой проблемы;
- На что изменить? – разработка простых практичных решений;
- Как обеспечить реформу? – сотрудничество со специалистами, необходимое для внедрения решений.
- Что создает процесс постоянных улучшений? – внедрение механизмов для поиска тех областей, больше всего нуждающихся в улучшении.

Управления системой через ограничения включает выполнение следующих шагов:

Шаг 1. Поиск ограничения системы.

Шаг 2. Принятие решений о способах максимального использования возможностей ограничения системы. Этот шаг соответствует локальной оптимизации работы системы.

Шаг 3. Подчинение работы всех элементов системы требованиям максимальной производительности работы ограничения. Этот шаг является ключевым, так как обеспечивает настройку всей системы на максимальную эффективность работы.

Шаг 4. Расширение ограничений системы за счет «снятия напряжения», вызванного этим ограничением. Это достигается через рост производственной мощности ограничения или принятия других управленческих решений.

Шаг 5. При устранении ограничений необходимо вернуться к шагу 1 и дальше искать ограничения. Важно, чтобы после четырех первых шагов не наступило инерционное состояние успокоения.

На основе принципов ТОС разработано несколько эффективных управленческих решений: Буфер – Барабан – Веревка (ББВ) – решение

для повышения производительности производственного потока; Метод критической цепи – решение для управления проектами; Управленческий учет на основе показателей ТОС – метод выработки обоснованных управленческих решений.

Теория ограничений – управленческий подход, обеспечивающий ускорение потока создания ценности. В отличие от бережливого производства, направленного на синхронизацию потока на основе времени такта, в Теории ограничений синхронизация производится на основе фокусировки внимания на основном ограничивающем поток факторе (корневой проблеме). При этом мы решаем, как максимально использовать ограничение, и подчиняем все остальное этому решению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В учебном пособии рассматриваются основные понятия системного подхода к инженерной деятельности. Системный подход к инженерии основан на рассмотрении только тех систем, которые существуют или будут реализованы в реальности. Ключевым аспектом системного подхода к инженерии является признание требований стейкхолдеров проекта основой для создания успешных систем.

Рассмотрена классификация систем: целевая система, использующая система и системы в операционном окружении. Введено понятие об обеспечивающей системе, что позволяет в каждом конкретном случае определить, какая организация обеспечивает прохождение целевой системы по ее жизненному циклу.

Подробно рассмотрен архитектурный подход в определении системы, использование которого обеспечивает согласование разных точек зрения на систему и разработку общего, согласованного описания проектируемой системы.

Реализация крупных инженерных проектов требует умения бороться со сложностью их разработки и реализации. Для преодоления этих проблем использован подход OMG Essence, разделяющий деятельность по созданию системы на ряд ключевых аспектов, контроль состояния которых позволяет обеспечить целостность создаваемой системы.

Центральным элементом системного подхода к инженерии является управление жизненным циклом системы, что позволяет обеспечить параллельное выполнение практик, используемых в проекте.

В пособии рассмотрены практические рекомендации по организации деятельности системного инженера при выполнении проекта, а также те сферы в деятельности предприятия, в которых системный подход к инженерии позволяет повысить эффективность его деятельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Тихомиров, О. К.** Психология мышления: учеб. пособие / О. К. Тихомиров. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984. - 272 с.
2. **Кохановский, В. П.** Основы философии науки / В. П. Кохановский [и др.]. - М.: Феникс, 2007. - 608 с.
3. **Голдратт, Э.** Правила Голдратта: [пер. с англ.] / Э. Голд, Э. Голдратт-Ашлаг. - М. : Манн, Иванов и Фербер, 2011. - 240 с.
4. **Шервуд, Д.** Видеть лес за деревьями: Системный подход для совершенствования бизнес-модели: [пер. с англ.] / Д. Шервуд. - М.: Альпина Паблишер, 2012. – 341 с.
5. **Марка, Д.А.** Методология структурного анализа и проектирования / Д.А. Марка, К. Макгоуэн.– М.: МетаТехнология, 1993. – 243 с.
6. **Sterman, J.** Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for Complex World / J. Sterman. - McGraw Hill, 2000. - 1007 с.
7. **Перегудов, Ф.И** Введение в системный анализ / Ф.И. Перегудов, Ф.Н. Тарасенко. - М.: Высш. шк. , 1989. - 367 с.
8. **Батоврин, В. К.** Системная инженерия. Гуманитарные технологии. Аналитический портал / В. К. Батоврин. Ф. И. Голдберг. А. В. Александров [Электронный ресурс]. URL: <http://gtmarket.ru/concepts/7110>
9. **INCOSE Systems Engineering Handbook v.3.2.** — INCOSE-TP-2003-002-03.2, 2010 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.las.inpe.br/~perondi/21.06.2010/SEHandbookv3.pdf>
10. **Левенчук, А. И.** Системное мышление: учебник / А. Левенчук. - Бостон-Ульдинген-Киев: Толиман, 2018. - 396 с.
11. **Partridge, C.** Business Objects: Re-Engineering for Re-Use / C. Partridge. - BORO Engineering. 2005. - 416 с.
12. **Буч, Г.** Язык UML. Руководство пользователя / Г. Буч, Д. Рамбо, А. Джекобсон. - М., СПб.: ДМК Пресс, Питер, 2004. - 432 с.
13. **Checkland, P.** Soft Systems Methodology: A Thirty Year Retrospective // Systems Research and Behavioral Science. - 2000. - №17. - P.11–58.
14. **Щедровицкий, Г. П.** Системное движение и перспективы развития системно-структурной методологии / Г. П. Щедровицкий. - М.: Шк. Культ. Полит., 1995. - 800 с.
15. **Savage, G.T.** Whitehead and Blair. Strategies for Assessing and Managing Organizational Stakeholders / G.T. Savage, T.W. Nix // Academy of Management Executive. - 1991. -V. 5. - No 2. - P. 61-75.
16. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005.** Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем – М.: Госстандарт России, 2005. - 53 с.
17. **Gielenh, W.** A Theory for the Modelling of Complex and Dynamic Systems // ITcon. – V. 13, - 2008. - P. 421–475.

18. **Segaran, T.** Programming the Semantic Web / T. Segaran, C. Evans, J. Taylor. – NI.: O'Reilly Media, 2009. - 302 с.
19. ГОСТ-Р ИСО 15926 Промышленные автоматизированные системы и интеграция. Интеграция данных жизненного цикла для перерабатывающих предприятий, включая нефтяные и газовые производственные предприятия. – М.: Госстандарт, 2010. - 19 с.
20. IEC 81346-2:2009 Industrial systems, installations and equipment and industrial products -- Structuring principles and reference designations – Part 2 : Classification of objects and codes for classes. 2009. - 46 с.
21. Stafford Documenting Software Architectures: Views and Beyond (2nd Edition) / F. Bachmann / [at el.] [Электронный ресурс]. URL: <http://ptgmedia.pearsoncmg.com/images/9780321552686/samplepages/0321552687.pdf>
22. Системная инженерия. Принципы и практика / А. Косяков. - М.: ДМК Пресс, 2014. – 624 с.
23. **Dijkstra, E. W.** On the role of scientific thought / E. W. Dijkstra. Selected writings on Computing: A Personal Perspective. - NY, (USA): Springer-Verlag, 1982. - P. 60-66.
24. **Conway, M. E.** How do Committees Invent? /M. E. Conway. [Электронный ресурс]. URL: <https://melconway.com/Home/pdf/committees.pdf>
25. ГОСТ Р 57100-2016/ISO/IEC/IEEE 42010:2011 Системная и программная инженерия. Описание архитектуры. - М.: Госстандарт, 2011. – 52 с.
26. **Мизгулин, В.** Системный инженер. Как начать карьеру в новом технологическом укладе / В. Мизгулин. - М.: Издательские решения, 2017. - 109 с.
27. Specification and Description Language (SDL). - CCITT, Recommendation Z.100, 1988. - 206 с.
28. User Requirements Notation (URN) - Language definition. - ITU-T, Recommendation Z.151, 2008. - 208 с.
29. Подход системной инженерии к управлению жизненным циклом. Понятийный минимум PraxOS 1.0 2008 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.techinvestlab.ru/495344>
30. Essence - Kernel and Language for Software Engineering Methods. Standard document [Электронный ресурс]. URL: <http://www.omg.org/spec/Essence/1.0>
31. ГОСТ Р ИСО 9000:2001 Системы менеджмента качества. - М.: Госстандарт России, 2001. - 45 с.
32. **Whitty, S.J.** THE_PM_BOK_CODE / S.J. Whitty, M.F. Schulz // 20th IPMA World Congress on Project Management. 2006. - P. - 466-472.

33. **Dietz, J. L.G.** Enterprise Ontology. Theory and Methodology / J.L.G. Dietz. – NY.: Springer Berlin Heidelberg, 2006. - 240 с.
34. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005. Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем. - М.: Госстандарт. 2005. - 57 с.
35. **Boehm, B. A.** Spiral Model of Software Development and Enhancement / B. A. Boehm // IEEE Computer, IEEE. 1988, 21(5). - С. 61-72
36. ArchiMate 2.0 A Pocket Guide Document Number: G121 – CA(USA):. The Open Group, 2012. - P 121.
37. Agile-манифест разработки программного обеспечения [Электронный ресурс]. URL:<http://agilemanifesto.org/iso/ru/manifesto.html>
38. A Guide to Business Analysis Body of Knowledge (BABOK 2.0 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.theiiba.org/>
39. Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK) The Business Model Generation [Электронный ресурс]. URL:<http://business-modelgeneration.com/book>
40. **Левенчук, А.И.** Системноинженерное мышление / А.И. Левенчук. – 2015. - 305 с.
41. **Минцберг, Г.** Структура в кулаке: создание эффективной организации: [пер. с англ. под ред. Ю.Н. Каптуревского] / Г. Минцберг. – СПб.: Питер, 2004. - 512 с.
42. **Брукс Ф.** Мифический человеко-месяц или как создаются программные системы / Ф. Брукс. - СПб.: Символ-Плюс, 2000. - 304 с.
43. **Motahari Nezhad, H.R.** Adaptive Case Management in the Social Enterprise / H.R. Motahari Nezhad [at el.] // Conference Paper. 2012/ [Электронный ресурс]. https://www.researchgate.net/publication/262355677_Adaptive_Case_Management_in_the_Social_Enterprise
44. **Zachman, J. A.** John Zachman's Concise Definition of the Zachman Framework / J. A. Zachman. [Электронный ресурс]. URL:<http://www.zachman.com/about-the-zachman-framework>
45. **Деминг, У. Э.** Выход из кризиса: Новая парадигма управления людьми, системами и процессами / У. Э. Деминг. - М.: Альпина Паблицер, 2011. - 419 с.
46. **Shewhart, W. A.** Statistical method from the viewpoint of quality control / W. A. Shewhart, - W.(USA): The Graduate School, the Department of Agriculture, 1939. - P. 155.
47. **Харрингтон, Дж.** Прорыв в совершенствовании деятельности // Избранные труды 40-го конгресса Европейской организации по качеству. - М.: Стандарты и качество, 1997. - С. 135-147.
48. **Хаммер, М.** Реинжиниринг еорпорации. Манифест революции в бизнесе / М. Хаммер, Дж. Чампи - М.: Манн, Иванов и Фербер, 2007. - 288 с.

49. **Вумек, Д. П.** Бережливое производство. Как избавиться от потерь и добиться процветания вашей компании. / Д. П. Вумек, Д. Джонс. - М.: Альпина Паблишер, 2011. – 472 с.
50. **Холп, Л.** Что такое «Шесть сигм»? Революционный метод управления качеством / Л. Холп., П. Панде. – М.: Альпина Паблишер, 2006. - 158 с.
51. **Деттмер, У.** Теория ограничений Голдратта. Системный подход к непрерывному совершенствованию: [пер. с англ.] / У. Деттмер, - М.: Альпина Паблишер, 2010. - 448 с.

Запорожцев Александр Валерьевич

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ИНЖЕНЕРИИ

Редактор *Т.В. Третьякова*

Компьютерный набор и верстка автора

Подписано в печать 20.07.2020. Формат 60×84¹/16. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 12,5. Тираж 100 экз. Заказ .

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексева.
Типография НГТУ.

Адрес университета и полиграфического предприятия:
603950, г. Нижний Новгород, ул. Минина, 24.