





---

# Содержание

---

Обращение к читателям .....	21
Вступительное слово .....	23
От редактора русского издания .....	26
Предисловие авторов ко второму изданию .....	43
Александр Косяков, 1914–2005 .....	43
Цели второго издания .....	43
Содержание книги .....	45
Благодарности .....	46
Предисловие авторов к первому изданию .....	47
Цели .....	47
Истоки и содержание .....	48
Благодарности .....	49

## **ЧАСТЬ I**

### **Основы системной инженерии ..... 51**

#### **Глава 1**

#### **Системная инженерия и современные системы ..... 53**

1.1. Что такое системная инженерия? .....	53
Системная инженерия и традиционные инженерные дисциплины .....	54
Системная инженерия и управление проектом .....	55
1.2. Происхождение системной инженерии .....	56
Технический прогресс: риски .....	57
Конкуренция: компромиссы .....	59
Специализация: сопряжения .....	60
1.3. Примеры систем, нуждающихся в системном инженерере .....	61
Примеры комплексных инженерно насыщенных систем .....	62

1.4.	Системная инженерия как профессия .....	64
	Выбор карьеры .....	65
	Ориентация технических специалистов .....	67
	Вызовы системной инженерии .....	69
	В чем притягательная сила системной инженерии? .....	70
	Отличительные черты и мотивация системного инженера.....	70
1.5.	Модель развития карьеры системного инженера .....	71
1.6.	Сила системной инженерии.....	74
	Сила мультидисциплинарного знания .....	74
	Сила приближенных вычислений.....	76
	Сила скептического позитивного мышления.....	76
1.7.	Заключение.....	77
	Что такое системная инженерия?.....	77
	Происхождение системной инженерии.....	77
	Примеры систем, нуждающихся в системном инженере .....	77
	Системная инженерия как профессия .....	78
	Модель развития карьеры системного инженера .....	78
	Сила системной инженерии.....	78
	Задачи.....	79
	Дополнительная литература .....	80

## Глава 2

### Ландшафт системной инженерии ..... 81

2.1.	Точка зрения системного инженера .....	81
	Успешные системы .....	82
	«Наилучшая» система .....	82
	Сбалансированная система.....	85
	Сбалансированная точка зрения .....	86
2.2.	Представления в системной инженерии .....	86
2.3.	Предметные области, связанные с системами .....	89
2.4.	Сферы деятельности, связанные с системной инженерией.....	90
2.5.	Подходы системной инженерии.....	91
2.6.	Системная инженерия. Действия и результаты .....	92
2.7.	Заключение.....	94
	Точка зрения системного инженера .....	94
	Представления в системной инженерии .....	94
	Предметные области, связанные с системами.....	95
	Сферы деятельности, связанные с системной инженерией .....	95
	Подходы системной инженерии.....	95
	Системная инженерия. Действия и результаты .....	95
	Задачи.....	95
	Дополнительная литература .....	96

## Глава 3

### Структура сложных систем..... 97

3.1. Составные части и интерфейсы системы.....	97
3.2. Иерархия в сложных системах.....	98
Модель сложной системы.....	98
Области компетенции системного инженера и специалиста по проектированию.....	100
3.3. Составные части системы.....	102
Функциональные составные части: функциональные элементы.....	102
Физические составные части: компоненты.....	105
Типовые составные части.....	105
Применение составных частей системы.....	107
3.4. Окружение системы.....	108
Границы системы.....	108
Границы системы: контекстная диаграмма.....	110
Типы взаимодействий с окружением.....	113
3.5. Интерфейсы и взаимодействия.....	116
Интерфейсы: внешние и внутренние.....	116
Взаимодействия.....	116
Интерфейсные элементы.....	117
3.6. Сложность в современных системах.....	118
Системы систем.....	119
Инженерия систем масштаба предприятия.....	121
3.7. Резюме.....	123
Составные части и интерфейсы системы.....	123
Иерархия сложных систем.....	123
Составные части системы.....	123
Окружение системы.....	124
Интерфейсы и взаимодействия.....	124
Сложность в современных системах.....	125
Задачи.....	125
Дополнительная литература.....	126

## Глава 4

### Процесс разработки системы..... 127

4.1. Применение системной инженерии на протяжении жизненного цикла системы.....	127
4.2. Жизненный цикл системы.....	128
Разработка принятой в этой книге модели жизненного цикла для системного инженера.....	128
Стадии в модели жизненного цикла для системного инженера.....	131
Этапы разработки концепции.....	134
Этапы разработки инженерно-технических решений.....	137
Этапы постразработоческой стадии.....	141

4.3.	Эволюционные характеристики процесса разработки.....	142
	Предшествующая система.....	142
	Материализация системы .....	143
	Участники .....	145
	Требования к системе и документация.....	147
4.4.	Метод системной инженерии.....	149
	Обзор существующих методов и процессов системной инженерии.....	150
	Наш метод системной инженерии .....	153
	Анализ требований (постановка задачи).....	156
	Функциональное описание (анализ функционирования и привязка функций).....	157
	Описание физической реализации (синтез, анализ физической реализации и размещение элементов) .....	159
	Валидация проектных решений (верификация и оценка).....	160
	Подготовка к следующему этапу.....	163
	Метод системной инженерии в применении к жизненному циклу системы .....	165
	Спиральная модель жизненного цикла.....	165
4.5.	Испытания на протяжении разработки системы .....	166
	Неизвестные .....	167
	Преобразование неизвестного в известное .....	167
	Подход системной инженерии к испытаниям .....	168
	Испытания и аттестация системы.....	169
4.6.	Резюме .....	169
	Применение системной инженерии на протяжении жизненного цикла системы.....	169
	Жизненный цикл системы .....	169
	Эволюционные характеристики процесса разработки.....	170
	Метод системной инженерии.....	170
	Испытания на протяжении разработки системы .....	171
	Задачи.....	171
	Дополнительная литература .....	172

## Глава 5

### **Управление системной инженерией ..... 173**

5.1.	Управление разработкой системы и рисками .....	173
	Подготовка предложения и техническое задание.....	174
5.2.	Иерархическая структура работ .....	175
	Элементы типичной иерархической структуры работ .....	175
	Составление сметы и контроль ее исполнения .....	179
	Метод критического пути .....	179
5.3.	План управления системной инженерией.....	180
	Элементы типичного плана управления системной инженерией.....	181
5.4.	Управление риском.....	183
	Снижение рисков на протяжении жизненного цикла системы.....	183

Составные части управления риском.....	185
Оценка рисков .....	186
Смягчение рисков .....	190
План управления риском .....	191
5.5. Организация системной инженерии .....	192
Отдел системного анализа .....	195
Команда проектирования системы.....	195
5.6. Резюме .....	196
Управление разработкой системы и рисками .....	196
Иерархическая структура работ .....	197
План управления системной инженерией .....	197
Управление риском.....	197
Организация системной инженерии .....	197
Задачи.....	198
Дополнительная литература .....	199

## **ЧАСТЬ II**

### **Стадия разработки концепции .....201**

#### **Глава 6**

#### **Анализ потребностей .....202**

6.1. Возникновение новой системы .....	202
Место этапа анализа потребностей в жизненном цикле системы .....	202
Примеры потребностей в новой системе.....	204
Вопросы конкуренции.....	205
Состояние материализации проектных решений .....	206
Применение метода системной инженерии к анализу потребностей и требований.....	206
6.2. Системный анализ.....	210
Анализ предполагаемых потребностей .....	212
Практические цели.....	213
6.3. Анализ функционирования.....	216
Преобразование практических целей в функции системы .....	216
Функциональная декомпозиция и привязка к подсистемам .....	217
6.4. Оценка осуществимости.....	218
Формирование представления о реализации подсистем.....	218
Определение осуществимой концепции .....	220
6.5. Валидация потребностей.....	220
Модель эксплуатационной эффективности.....	220
Показатели эффективности и показатели функционирования.....	222
Валидация осуществимости и потребности.....	224
6.6. Требования назначения системы .....	225
Сценарии практического использования.....	225
Определение требований назначения.....	227
Валидация осуществимости .....	228

6.7. Резюме .....	229
Возникновение новой системы .....	229
Системный анализ .....	229
Анализ функционирования .....	229
Оценка осуществимости .....	229
Валидация потребностей .....	230
Дополнительная литература .....	231

## Глава 7

### Исследование концепции .....232

7.1. Разработка требований к системе .....	232
Место этапа исследования концепции в жизненном цикле системы .....	233
Состояние материализации системы .....	234
Метод системной инженерии при исследовании концепции .....	235
7.2. Анализ требований назначения .....	237
Установление требований .....	238
Анализ требований .....	239
Валидация требований .....	240
Документирование требований .....	240
Характеристики хорошо определенных требований .....	240
Триединство разработки концепции .....	242
Концепция функционирования .....	243
Описание контекста функционирования (сценарии) .....	244
Анализ альтернатив .....	245
7.3. Определение требований к показателям функционирования .....	246
Выделение функций подсистем .....	246
Недетерминированная природа разработки системы .....	247
Функциональное исследование и декомпозиция .....	248
Определение требований силами комплексной рабочей группы .....	253
7.4. Исследование концепций реализации .....	254
Альтернативные концепции реализации .....	254
Разработка технологии .....	257
Показатели функционирования .....	258
7.5. Валидация требований к показателям функционирования .....	259
Агрегирование показателей функционирования .....	259
Валидация показателей функционирования .....	260
Документирование требований .....	261
7.6. Резюме .....	261
Разработка требований к системе .....	261
Анализ требований назначения .....	262
Определение требований к показателям функционирования .....	262
Исследование концепций реализации .....	262
Валидация требований к показателям функционирования .....	263
Задачи .....	263
Дополнительная литература .....	264

## Глава 8

### Определение концепции.....266

8.1. Определение концепции системы.....	266
Место этапа определения концепции в жизненном цикле системы.....	267
Состояние материализации проектных решений.....	268
Метод системной инженерии при определении концепции.....	270
8.2. Анализ требований к показателям функционирования.....	271
Анализ установленных требований к показателям функционирования.....	271
Завершение работы над требованиями к системе и их уточнение.....	274
8.3. Анализ функционирования	
и определение функциональных требований.....	276
Определение функций компонентов.....	277
Инструменты для графического представления	
функциональных блоков.....	278
Имитационное моделирование.....	282
Определение функциональных требований.....	282
8.4. Функциональная декомпозиция.....	283
Формирование альтернативных концепций.....	283
Моделирование альтернатив.....	285
8.5. Выбор концепции.....	285
8.6. Валидация концепции.....	289
Моделирование системы и ее окружения.....	289
Анализ результатов валидации.....	290
Итеративное уточнение требований и концепций системы.....	290
8.7. Планирование разработки системы.....	291
Иерархическая структура работ.....	291
План управления системной инженерией.....	292
Составление сметы затрат в течение жизненного цикла.....	293
Презентация предложения о разработке системы.....	294
8.8. Построение архитектуры системы.....	295
Архитектурные представления.....	297
Методики описания архитектуры.....	299
8.9. Языки системного моделирования.....	302
Унифицированный язык моделирования UML.....	303
Язык моделирования систем SysML.....	310
8.10. Моделе-ориентированная системная инженерия.....	316
8.11. Спецификация функциональных требований к системе.....	321
8.12. Резюме.....	322
Определение концепции системы.....	322
Анализ требований к показателям функционирования.....	323
Анализ функционирования и формирование	
функциональных требований.....	323
Привязка функций.....	323
Выбор концепции.....	324
Валидация концепции.....	324



Планирование разработки системы .....	325
Построение архитектуры системы .....	325
Языки моделирования систем: UML и SysML.....	325
Моделе-ориентированная системная инженерия.....	325
Спецификация функциональных требований к системе.....	326
Задачи.....	326
Дополнительная литература .....	328

## Глава 9

### **Анализ и поддержка принятия решений .....329**

9.1. Принятие решений.....	330
Факторы, влияющие на процесс принятия решения.....	331
Базовые принципы принятия решений .....	332
Поддержка принятия решений .....	334
Формальный процесс принятия решений.....	334
9.2. Моделирование на протяжении разработки системы .....	336
9.3. Статическое моделирование для принятия решений .....	337
Типы моделей .....	337
Схематические модели .....	338
Математические модели .....	345
Физические модели.....	346
9.4. Имитационное моделирование.....	347
Моделирование функционирования .....	348
Игры.....	348
Моделирование эффективности системы .....	350
Моделирование условий применения.....	351
Физическое моделирование.....	352
Программно-аппаратное моделирование .....	353
Техническое моделирование.....	353
Разработка самолет Боинг 777 .....	354
Моделирование окружения.....	355
Моделирование виртуальной реальности .....	356
Разработка имитационных моделей системы .....	357
Верификация и валидация модели.....	358
9.5. Анализ компромиссов.....	359
Базовые принципы компромиссов.....	359
Формальный анализ и исследование компромиссов .....	360
Пример анализа компромиссов .....	370
Ограничения числового сравнения .....	372
Принятие решения .....	372
9.6. Краткий обзор теории вероятностей.....	373
9.7. Методы оценивания.....	377
Многомерная теория полезности .....	377
Метод анализа иерархий .....	378
Деревья решений .....	380

Анализ «затраты–эффективность» .....	383
Структурирование функции качества .....	385
9.8. Резюме .....	386
Принятие решений .....	386
Моделирование на протяжении разработки системы .....	387
Моделирование для принятия решений .....	387
Имитационное моделирование .....	388
Анализ компромиссов .....	388
Краткий обзор теории вероятностей .....	389
Методы оценивания .....	389
Задачи .....	390
Дополнительная литература .....	392

## **ЧАСТЬ III**

### **Стадия разработки инженерно-технических решений ... 393**

#### **Глава 10**

#### **Эскизное проектирование ..... 395**

10.1. Снижение рисков программы .....	395
Место этапа эскизного проектирования в жизненном цикле системы .....	396
Состояние материализации проектных решений .....	397
Метод системной инженерии на этапе эскизного проектирования .....	397
10.2. Анализ требований .....	400
Функциональные требования к системе .....	401
Прослеживание требований .....	401
Связь с требованиями назначения .....	401
Связь с предшествующими системами .....	402
Выявление компонентов, нуждающихся в разработке .....	402
10.3. Анализ функционирования и проектирование .....	406
Повышенные показатели функционирования .....	407
Особо сложные компоненты .....	409
Плохо определенное окружение системы .....	410
Функциональное проектирование .....	411
Использование имитационных моделей .....	411
10.4. Разработка прототипа как механизм смягчения риска .....	413
Потенциальные проблемные области .....	413
Проектирование компонентов .....	417
Проверка проектных решений .....	418
Быстрое прототипирование .....	419
Испытательные установки .....	420
10.5. Стендовые испытания .....	421
Планы испытаний и анализа результатов испытаний .....	422
Специальное испытательное оборудование и испытательные установки .....	426

Определительные испытания и проверка пригодности к эксплуатации.....	428
Анализ и оценка результатов испытаний.....	429
Оценка пользовательских интерфейсов .....	430
Исправление недостатков проекта .....	432
10.6. Снижение риска .....	432
Каким должен быть объем проработки?.....	433
10.7. Резюме .....	434
Снижение рисков программы .....	434
Анализ требований .....	434
Функциональный анализ и проектирование .....	435
Разработка опытного образца как методика смягчения риска.....	435
Стендовые испытания .....	435
Снижение риска .....	436
Задачи.....	436
Дополнительная литература .....	438

## Глава 11

### **Инженерия программных систем .....439**

11.1. Преодоление сложности и абстрактности.....	440
Роль программного обеспечения в системах .....	442
11.2. Природа разработки программного обеспечения .....	444
Типы программного обеспечения .....	444
Типы программных систем.....	445
Различия между оборудованием и программным обеспечением .....	448
11.3. Модели жизненного цикла разработки программного обеспечения .....	450
Линейные модели разработки.....	452
Инкрементные модели разработки.....	454
Эволюционные модели разработки .....	455
Гибкие модели разработки .....	457
Модернизация программной системы .....	459
11.4. Разработка концепции программного обеспечения: анализ и проектирование .....	459
Анализ потребностей .....	460
Анализ требований к программному обеспечению.....	460
Архитектура системы .....	464
Структурный анализ и проектирование.....	467
Объектно-ориентированный анализ и проектирование.....	469
Другие методологии .....	471
11.5. Разработка методами программной инженерии: кодирование и автономное тестирование.....	472
Структура программы.....	473
Языки программирования.....	474
Средства поддержки программирования .....	476
Создание прототипа ПО.....	477

Проектирование программного продукта .....	478
Автономное тестирование .....	480
11.6. Интеграция и тестирование программного обеспечения.....	481
Верификация и валидация .....	482
Отличительные особенности тестирования программного обеспечения .....	482
Интеграционное тестирование .....	483
Регрессионное тестирование.....	483
Оценочное тестирование.....	483
11.7. Управление программной инженерией.....	484
Компьютерные инструменты для программной инженерии .....	485
Интегрированная модель зрелости возможностей .....	486
Метрики программного обеспечения .....	487
Взгляд в будущее .....	490
11.8. Резюме .....	491
Преодоление сложности и абстрактности .....	492
Природа разработки программного обеспечения .....	492
Модели жизненных циклов разработки ПО.....	493
Разработка концепции ПО: анализ и проектирование .....	493
Разработка методами программной инженерии: кодирование и автономное тестирование.....	494
Интеграция и тестирование ПО .....	494
Управление программной инженерией.....	495
Задачи.....	495
Дополнительная литература .....	496

## Глава 12

### Техническое проектирование .....497

12.1. Реализация составных частей системы.....	497
Место этапа технического проектирования в жизненном цикле системы .....	497
Состояние материализации проекта .....	498
Метод системной инженерии на этапе технического проектирования .....	499
12.2. Анализ требований .....	502
Технические требования к системе.....	502
Требования к внешним интерфейсам системы .....	502
Требования к сборке и установке.....	503
Смягчение рисков .....	504
Критические технические требования .....	504
12.3. Анализ функционирования и проектирование .....	504
Модульная конфигурация .....	505
Проектирование программного обеспечения.....	506
Проектирование пользовательского интерфейса .....	507
12.4. Проектирование компонентов .....	508
Предварительное проектирование .....	509

Детальное проектирование.....	511
Автоматизированное проектирование .....	512
Надежность .....	514
Ремонтопригодность .....	519
Готовность .....	521
Технологичность.....	521
Управление риском.....	522
12.5. Валидация проектных решений.....	523
Планирование испытаний .....	523
Изготовление компонентов .....	524
Стендовые испытания .....	525
Оценочные испытания .....	526
Испытательное оборудование .....	528
Роль системной инженерии .....	529
12.6. Управление конфигурацией .....	529
Элементы конфигурации.....	529
Исходные конфигурации.....	530
Управление интерфейсами.....	531
Управление изменениями .....	531
12.7. Резюме .....	532
Реализация составных частей системы.....	532
Анализ требований .....	533
Анализ функционирования и проектирование .....	533
Проектирование компонентов.....	533
Валидация проектных решений .....	534
Управление конфигурацией .....	534
Задачи.....	535
Дополнительная литература .....	536

## Глава 13

### Комплекси́рование и аттестация .....537

13.1. Комплекси́рование, испытания и аттестация системы в целом.....	537
Место этапа комплекси́рования и аттестации	
в жизненном цикле системы.....	538
Состояние материализации проекта .....	541
Метод системной инженерии на этапе комплекси́рования	
и аттестации.....	543
13.2. Планирование и подготовка испытаний .....	544
Генеральный план испытаний и аттестации .....	544
Аналогия между планированием испытаний и аттестации	
и разработкой системы .....	545
Анализ требований к системе .....	546
Ключевые вопросы.....	547
Проектирование испытательного оборудования .....	547
Планирование комплексных испытаний .....	548

Планирование доводочных испытаний системы .....	549
Планирование натуральных испытаний .....	549
13.3. Комплексование системы .....	550
Физическая схема испытательной установки .....	551
Комплексование подсистемы .....	553
Комплексование системы в целом .....	557
13.4. Доводочные испытания системы .....	558
Цели испытания системы .....	558
Планирование доводочных испытаний .....	559
Схема проведения испытаний системы .....	559
Разработка сценариев испытания.....	561
Модель функционирования системы.....	561
Опытный образец.....	562
Проведение испытаний системы.....	562
Анализ и оценка результатов испытаний.....	563
Рассмотрение отклонений от расчетных показателей функционирования системы .....	564
13.5. Натурные испытания и аттестация.....	565
Цели натуральных испытаний.....	565
Планирование и подготовка испытаний .....	567
Подготовка персонала.....	570
Испытательное оборудование и установки .....	570
Проведение испытаний.....	571
Анализ и оценка результатов испытаний.....	572
Отчеты об испытаниях.....	573
13.6. Резюме .....	573
Комплексование, испытания и аттестация системы в целом.....	573
Планирование и подготовка испытаний .....	574
Комплексование системы .....	574
Доводочные испытания системы .....	575
Натурные испытания и аттестация.....	576
Задачи.....	576
Дополнительная литература .....	577

## **ЧАСТЬ IV**

### **Постразработочная стадия .....579**

#### **Глава 14**

### **Производство .....580**

14.1. Системная инженерия на заводе.....	580
Место этапа производства в жизненном цикле системы .....	581
Состояние материализации проекта .....	582
14.2. Проектирование с учетом производства .....	582
Параллельная инженерия на всем протяжении разработки системы.....	583
Учет вопросов развертывания при разработке системы.....	586

14.3. Переход от разработки к производству.....	586
Смена руководства и участников.....	586
Проблемы в процессе перехода .....	587
Подготовка к производству.....	589
Управление конфигурацией на производстве .....	589
14.4. Технологические операции .....	590
Планирование производства.....	591
Организация производства как сложная система .....	591
Производство компонентов .....	593
Приемочные испытания системы.....	594
Технология производства.....	595
14.5. Приобретение знаний о производстве.....	595
Системно-инженерные знания о компонентах.....	596
Производственные процессы .....	597
14.6. Резюме .....	598
Системная инженерия на заводе.....	598
Проектирование с учетом производства .....	599
Переход от разработки к производству.....	600
Производственные операции .....	600
Приобретение знаний о производстве.....	601
Задачи.....	601
Дополнительная литература .....	602

## Глава 15

### **Эксплуатация и сопровождение ..... 603**

15.1. Установка, техническое обслуживание и модернизация системы.....	603
Место этапа эксплуатации и сопровождения	
в жизненном цикле системы.....	604
Системная инженерия на этапе эксплуатации и сопровождения.....	604
15.2. Ввод в эксплуатацию и проверка.....	605
Ввод системы в эксплуатацию.....	605
Ввод в эксплуатацию без прерывания работы .....	608
Ограничения на технические средства и персонал .....	610
Трудности первоначальной эксплуатации системы .....	610
15.3. Сопровождение во время эксплуатации.....	611
Проверка готовности к эксплуатации .....	611
Типичные проблемы, возникающие в процессе эксплуатации .....	612
Обслуживание в полевых условиях .....	613
Плановое техническое обслуживание и доработка на месте .....	614
Серьезные аварии .....	614
Логистическое обеспечение.....	615
15.4. Существенные изменения в системе: модернизация.....	616
Жизненный цикл при изменениях в системе.....	617
Модернизация программного обеспечения .....	618
Запланированное улучшение изделия.....	619

15.5. Учет особенностей эксплуатации при разработке системы .....	620
Источники знаний об эксплуатации.....	621
Помощь со стороны производственного персонала .....	622
15.6. Резюме .....	623
Установка, техническое обслуживание и модернизация системы.....	623
Ввод в эксплуатацию и проверка .....	623
Сопровождение во время эксплуатации.....	623
Существенные изменения в системе: модернизация .....	624
Учет особенностей эксплуатации при разработке системы .....	624
Задачи.....	624
Дополнительная литература .....	625
<b>Указатель.....</b>	<b>626</b>
<b>Список использованных сокращений .....</b>	<b>634</b>



*Посвящается Александру Косякову,*

который никогда не принимал ответ «нет» и отказывался верить в невозможность. Он потрясающе умел решать задачи и был великолепным преподавателем, наставником и другом.

*Сэмюэль Дж. Сеймур  
Стивен М. Бимер*

## Обращение к читателям

Уважаемые читатели! Книга А. Косякова, У. Н. Свита, С. Дж. Сеймура и С. М. Бимера «Системная инженерия. Принципы и практика» является одним из наиболее известных современных учебников по системной инженерии, который широко используется в учебном процессе американских и европейских технических университетов. Изданием этой книги Русский институт системной инженерии – RISE продолжает публикацию в России наиболее значимых современных книг и руководств по системной инженерии.

Отечественные компании, работающие в атомной, аэрокосмической, оборонной, энергетической и других высокотехнологичных отраслях, испытывают все возрастающий дефицит инженерных кадров. Этим предприятиям сегодня нужны специалисты, способные грамотно сочетать традиционную инженерную деятельность с эффективной управленческой практикой и на этой основе создавать конкурентоспособную продукцию. По нашему мнению, одна из причин снижения конкурентоспособности систем, создаваемых отечественными инженерами в последние годы, заключается в недооценке отечественной промышленностью и высшей инженерной школой ключевой роли системной инженерии в достижении главной цели инженерной деятельности, которая заключается в создании конкурентоспособных систем. Именно системная инженерия и ее важнейшие разделы, такие как программная инженерия, инженерия требований, управление конфигурацией, управление рисками, проектирование архитектур и другие являются фундаментом, на основе которого удастся наладить успешную инженерную деятельность и создавать системы, конкурентоспособные на мировом рынке.

Важность обучения системной инженерии была осознана в нашей стране в 70-х годах XX века. Именно на это время приходится период быстрого становления системной инженерии в СССР, где она получила название «системотехника». В частности, известный отечественный специалист проф. В. Н. Спицнадель писал: «Мы считаем, что системотехника должна стать основной технической дисциплиной в высших технических учебных заведениях, а ее разделы – профилирующими для различных специальностей. Однако сегодня изучение основ системотехники в вузах страны, за небольшим исключением, остается на сравнительно низком уровне. Отсутствие такой подготовки системотехников наносит значительный материальный ущерб народному хозяйству (приводит к увеличению стоимости разработок, проведению дублирующих работ и т. д.)» (Проблемы системотехники. Л.: Судостроение, 1980, с. 60–65). Тем не менее в СССР системная инженерия студентами изучалась, в большинстве технических вузов страны функционировали кафедры системотехники, а отечественными авторами было издано множество учебников и учебных пособий по этой дисциплине. Среди них была и книга В. И. Николаева и В. М. Брука «Системотехника. Методы и приложения», опубликованная в 1985 году; с тех пор заметных публикаций, ориентированных на студентов вузов, по этой тематике в нашей стране не было.

Надеюсь, что настоящий учебник позволит хотя бы частично заполнить этот почти 30-летний пробел и поможет нашим преподавателям в подготовке целого спектра

современных курсов по системной инженерии и ее приложениям. Полагаю, что эта книга также будет весьма полезна специалистам, занятым практической деятельностью по созданию сложных инженерно-технических объектов. Также рассчитываю, что это издание подтолкнет отечественных авторов к созданию оригинальных и значимых учебных и практических материалов по системной инженерии.

Приятно отметить, что принципы и практика системной инженерии находят все большее понимание и поддержку среди известных специалистов по созданию крупномасштабных систем. В этой связи хочется особенно поблагодарить Генерального директора ОАО «Концерн Росэнергоатом» Романова Е. В. и первого заместителя Генерального директора ОАО «Концерн Росэнергоатом» Асмолова В. Г. за поддержку при использовании принципов и практик системной инженерии в проекте ВВЭР-ТОИ, а также первого заместителя генерального директора ВНИИАЭС, главного конструктора АСУ ТП Дунаева В. Г. – за применение методов системной инженерии в проектах АСУ ТП ВВЭР-ТОИ. Кроме того, хочу выразить признательность всем коллегам, которые поддерживают работу Русского института системной инженерии по изданию книг и учебных пособий.

*Г. В. Аркадов*

*Вице-президент Русского института системной инженерии,  
зав. кафедрой физико-технической информатики МФТИ, профессор*

## Вступительное слово

Дорогие читатели! Системная инженерия, включая инженерию программных систем, представляет сегодня быстро развивающуюся прикладную научную дисциплину. Работы в этой области выполняются при поддержке целого ряда крупных международных профессиональных организаций, среди которых Институт инженеров электротехники и электроники (The Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE), Международный совет по системной инженерии (International Council on Systems Engineering – INCOSE), Совет университетов, реализующих образовательные и исследовательские программы в области создания инженерных систем (Council of Engineering Systems Universities – CESUN), Группа по управлению объектами (Object Management Group – OMG) и ряд других. В сфере системной инженерии сложилась развитая сеть научно-методических коммуникаций, в которую входят выпуск специальных журналов, систематическое издание широкого спектра учебников и монографий, а также проведение регулярных конференций, семинаров и симпозиумов. В этих мероприятиях ежегодно участвуют тысячи специалистов со всего мира, среди которых можно увидеть как маститых профессионалов, так и студентов и аспирантов. Образовательные программы по системной инженерии сегодня реализуются примерно в 250 университетах Европы, Америки и Азии.

Большое внимание уделялось системной инженерии и в СССР, где эта дисциплина развивалась под названием «системотехника». Ярким подтверждением может служить активная работа более 30 кафедр системотехники, которые вели учебный процесс во всех крупных технических вузах страны. К сожалению, в силу известных причин в конце 80-х годов работы по созданию крупномасштабных систем в нашей стране были практически свернуты, а целенаправленная подготовка кадров в этой области приостановилась.

Впечатляющие преобразования, происходящие сегодня в области создания сложных инженерных объектов и обусловленные революцией в сфере информатизации, глобализацией систем и быстрым внедрением инноваций; появление новых классов инженерно-насыщенных систем, включая социотехнические системы, распределенные энергетические, транспортные, оборонные и коммуникационные системы масштаба страны, а также развитие мегасистем привели и в нашей стране к пониманию необходимости проведения работ и подготовки кадров в области системной инженерии.

Учебно-методические материалы по системной инженерии на русском языке практически отсутствуют. Последний отечественный учебник по этой проблематике был издан в СССР в 1985 году. Таким образом, перевод и издание в нашей стране одного из наиболее востребованных сегодня в мире учебников по системной инженерии – книги профессора А. Косякова и соавторов «Системная инженерия. Принципы и практика» – представляется весьма актуальным.

Среди важнейших достоинств предлагаемого вашему вниманию издания – нацеленность на овладение студентами подходом системного инженера. Это, в свою очередь, предполагает, что инженер, занятый в крупных проектах, должен быть

способен и мыслить, и действовать на языке систем. Авторы книги постоянно подчеркивают, что системный инженер обязан быть новатором и изобретателем, действуя в то же время методично, целенаправленно и дисциплинированно. Следует отметить зрелость педагогических приемов, положенных в основу изложения: материалы книги прошли многолетнюю апробацию в аудиториях Университета Джонса Хопкинса, который является одним из ведущих исследовательских университетов мира; в инженерной школе этого университета была запущена одна из первых программ подготовки магистров по системной инженерии. Здесь хочется особо упомянуть о замечательных задачах, которые сопровождают все 15 глав учебника и могут стать основой для курсового и дипломного проектирования и научной работы студентов. Важно и то, что авторы используют компактный набор базовых моделей, чтобы сделать системную инженерию более наглядной и простой для усвоения. Среди этих моделей выделяются иерархическая модель сложной системы, модель жизненного цикла системы, пошаговая модель для метода системной инженерии и концепция «материализации», отражающая особенности развития системы на протяжении всего жизненного цикла. Наконец, к сильным сторонам этой книги относится ориентация на практическую сторону деятельности системного инженера, что, впрочем, не мешает авторам уделять внимание и вопросам методологии системной инженерии. Отметим, что на русский язык переведено второе издание учебника, в котором отражены все основные особенности развития системной инженерии в последние годы; кроме того, данное издание содержит расширенное описание современных методик, принципов и концепций инженерии программных систем, а также вопросов, посвященных инженерии требований, системному и функциональному анализу, анализу альтернатив и принятию решений.

Книга предназначена в первую очередь для студентов, обучающихся по программам подготовки магистров, но она построена так, что от студента, приступающего к занятиям, не требуется предварительной подготовки по системной инженерии, поэтому материалы, содержащиеся в учебнике, могут использоваться также при подготовке бакалавров и специалистов. На основе содержащихся в книге материалов может быть подготовлен целый ряд программ и курсов, нацеленных на обучение разработчиков современных систем в самых разных областях, включая системы оборонительного назначения, транспортные, энергетические, коммуникационные системы, а также более «мягкие» системы уровня предприятия. Кроме того, книга может послужить в качестве справочного пособия для инженеров, ученых и руководителей проектов, связанных с созданием сложных систем, а также полезного руководства для системы переподготовки кадров и повышения квалификации.

Книга, безусловно, не свободна от недостатков, среди которых мы выделим ориентированность на сложившуюся в США практику организации и управления работами по созданию крупных систем, которая отличается от подобной практики в нашей стране. С другой стороны, полагаю, что издание этого учебника на русском языке стимулирует наших преподавателей к разработке собственных,

оригинальных учебно-методических материалов по системной инженерии, где будет учтен отечественный опыт организации и осуществления инженерной деятельности.

Надеюсь, что это издание окажется полезным для всех, кто занят инженерным трудом, подготовкой инженерных кадров и изучением инженерного дела.

*А. С. Сигов*  
*Академик РАН,*  
*первый вице-президент Ассоциации инженерного образования России*

## От редактора русского издания

Рост масштабов и усложнение способов организации деятельности по созданию инженерных объектов, повышение степени ответственности за ее результаты, быстрое возрастание сложности возникающих при этом научных, технических и управленческих проблем привели к появлению в середине XX века новой прикладной системной методологии – системной инженерии (Systems Engineering). В современных разработках зарубежных специалистов системная инженерия рассматривается как комплексный, мультидисциплинарный подход и методика создания сложных систем и признается в качестве фундамента, на основе которого можно обеспечить и гарантированно поддерживать надежную и устойчивую связь между миссией, стратегическими целями, конкретными задачами и измеримыми результатами инженерной деятельности. Недаром один из видных зарубежных специалистов по системной инженерии Дерек Хитчинс (Derek K. Hitchins) назвал системную инженерию системной методологией XXI века<sup>1</sup>.

В истории развития системной инженерии можно выделить два крупных этапа. Этап становления, занятый формированием ядра методологии и основополагающих практик системной инженерии, начался на рубеже 40-х и 50-х годов и завершился к середине 90-х годов XX века. Основным результатом этого периода можно считать создание научно-методических и нормативно-технических основ проектирования и разработки сложных инженерно-технических объектов. За этапом становления последовал период, который можно назвать этапом координации. Он продолжается до сегодняшнего дня; его характерной особенностью является повышенное внимание к увязке и гармонизации положений системной инженерии с достижениями и рекомендациями, полученными в сфере управления качеством, управления проектами, программной инженерии и в других областях. На этой основе формируются комплексные, в основном программные, инструменты управления и поддержки инженерно-технической и инженерно-управленческой деятельности, пригодные для использования на протяжении полного жизненного цикла создаваемых систем. Кроме того, на современном этапе развития системной инженерии в центре внимания системных инженеров оказываются не столько классические, в основном аппаратные системы с сосредоточенными параметрами, сколько распределенные системы, насыщенные разнообразным программным обеспечением, а также инженерия крупномасштабных программных систем и вопросы создания социотехнических систем и мегасистем.

В качестве важнейшей особенности первого из упомянутых этапов можно выделить сосредоточенность специалистов того времени на проблемах борьбы с постоянно растущей сложностью инженерно-технических объектов, создаваемых людьми, и, как следствие, выход на первый план вопросов совершенствования методологии и инструментов проектирования технических систем. В 1957 году Г. Гуд (Harry H. Good) и Р. Макол (Robert E. Machol) в своей пионерской работе<sup>2</sup> определили системную инженерию как системный метод проектирования технического оборудования, а в качестве основной

1 Hitchins D. K. Systems Engineering. A 21st Century Systems Methodology. Wiley. 2007.

2 Good H., Machol R. System Engineering. An introduction to the design of large-scale systems. N. Y.: McGraw-Hill Book Company, 1957. (Имеется перевод: Гуд Г. Х., Макол Р. Э. Системотехника. Введение в проектирование больших систем: Пер. с англ. / Под ред. Г. Н. Поварова. М.: Сов. радио, 1962.)

проблемы, стоящей перед инженерами, выделили сложность создаваемых систем. Характеризуя методы проектирования сложных систем, авторы книги сделали акцент на использовании достижений математической науки, в частности математической статистики, дискретной математики и теории игр. При этом они подчеркивали, что сложность и разнообразие проблем, встающих при создании систем большого масштаба, требуют слаженной планомерной работы специалистов многих профилей, подключающихся к работе на разных ее этапах и выполняющих разные функции. В качестве основных инструментов достижения успеха при создании крупномасштабных систем они видели: а) согласование во времени решения системных, технологических и организационно-управленческих задач на основе сбалансированного и многоаспектного описания создаваемых систем; б) применение коллективных, бригадных методов работы; в) широкое использование электронных цифровых вычислительных систем для поддержки инженерной деятельности; г) применение комплексного подхода к проектированию с выделением внешнего (рассмотрение системы в целом в ее окружении) и внутреннего (моделирование и проектирование составных частей системы) проектирования. Г. Гуд и Р. Макол, по-видимому, первыми предложили выполнять «макропроектирование» бригадой, состоящей из специально подготовленных системных инженеров, а также специалистов, обеспечивающих эффективное взаимодействие с другими участниками разработки, например с группами, выполняющими «внутреннее» проектирование элементов системы, с группами, ответственными за проведение испытаний, и с другими специалистами.

На этапе становления системная инженерия наряду с такими дисциплинами, как исследование операций и инженерная психология, рассматривалась специалистами в области системных исследований в качестве прикладной составляющей общей теории систем, где системной инженерии отводилась роль дисциплины, занятой научным планированием, проектированием, оценкой и конструированием систем «человек – машина»<sup>1</sup>. В 1962 году А. Холл (Arthur D. Hall) в своей книге «Опыт методологии для системотехники»<sup>2</sup> сосредоточил внимание на целостном рассмотрении методологии системной инженерии и определил ее как организованную творческую технологию, выделив в качестве основных следующие положения.

*Первое:* системная инженерия многоаспектна, и этот факт должен быть обязательно отражен при определении ее предмета.

*Второе:* в основу деятельности системного инженера должно быть положено понимание, что целью всего процесса системной инженерии является оптимальное проведение функциональных границ между человеческими интересами, системой и ее окружением. В самом же окружении выделяются три главных составных части:

- физическое и техническое окружение;
- деловое и экономическое окружение;
- социальное окружение.

---

1 Bertalanffy L. von. General System Theory. Foundations, Development, Applications. George Braziller, New York, 1968. P. 91.

2 Hall A. D. A Methodology for Systems Engineering. Van Nostrand, New York, 1962. (Имеется перевод: Холл А. Опыт методологии для системотехники: Пер. с англ. / Под ред. Г. Н. Поварова. М.: Сов.радио, 1975.)



*Третье:* системная инженерия уделяет первостепенное внимание исследованию потребностей, в основе которого должны лежать использование передовых экономических теорий, учет потребностей рынка и возможность изменения этих потребностей как сейчас, так и в будущем.

Основы методологии системной инженерии, заложенные А. Холлом, остаются актуальными и сегодня.

По мере развития методологии возникла потребность в разработке рекомендаций по практике применения рекомендаций системной инженерии. Среди первых здесь можно выделить работы С. Шиннерса (Stanley M. Shinners)<sup>1</sup> и Г. Честната (Harold Chestnut)<sup>2</sup>. С. Шиннерс первоочередное внимание уделял пониманию проблемы, для решения которой создается система, и предлагал семь общих взаимосвязанных (включая обратные связи) процедур, которые должны быть неотъемлемой частью инженерной деятельности по созданию систем, а именно: обоснование необходимости создания системы, рассмотрение альтернативных решений, выбор наиболее подходящей альтернативы, синтез системы, проверка соответствия, сравнение требований и результатов испытаний и корректировка характеристик оборудования и данных. Эти рекомендации и сегодня широко используются в практике инженеро-разработчиков систем. В свою очередь Г. Честнат рассматривал системную инженерию как комплексный подход, включающий всеобъемлющее рассмотрение различных методов достижения желаемого результата. При этом результат рассматривался как интегрированное целое, которое может включать ряд вспомогательных частей или функций. Выбор системы из серии решений этой многовариантной задачи, в которой характеристики составляющих оцениваются в терминах их вклада в оптимальный взвешенный результат всего целого, и составляли, по мнению Г. Честната, основу системной инженерии. Кроме того, развивая идеи системной инженерии о понимании проблемы и исследовании потребностей, Г. Честнат указывал на необходимость выявления требований к системе на основе всестороннего анализа потребностей всех категорий пользователей, заложив тем самым основы современной инженерии требований. Следует отметить, что в своих работах Г. Честнат сосредоточился на проблемах проектирования систем и анализе их экономической эффективности, а также на учете возникающих при этом неопределенностей; другие важные задачи создания сложных систем им по существу не рассматривались.

Начиная с конца 60-х годов быстро развиваются два основополагающих подхода системной инженерии – системный и жизненного цикла, которые и по сей день являются основой организации и осуществления деятельности по созданию сложных инженерных объектов. В частности, весной 1971 года в Калифорнийском технологическом институте (California Institute of Technology) была прочитана серия лекций под общим названием «Системные концепции для частного и государственного секторов». Для чтения этих лекций были привлечены выдающиеся специалисты того времени, включая Ч. Черчмена (Charles West Churchman), Р. Макола (Robert E. Machol), Ф. Морса (Philip M. Morse), С. Рамо (Simon Ramo) и других известных ученых и

1 Shinners S. Techniques of Systems Engineering. McGraw-Hill, New York, 1967.

2 Chestnut H. Systems Engineering Tools. Wiley, New York, 1965. (Имеется перевод: Честнат Г. Техника больших систем (средства системотехники): Пер. с англ./ Под ред. О. И. Авена. М.: Энергия, 1969.)

практиков; позднее тексты этих лекций вошли в книгу Р. Майлса (Ralph F. Miles) «Системные концепции»<sup>1</sup>. Можно считать, что начиная именно с этих лекций в качестве первоосновы инженерной деятельности по созданию сложных систем были признаны системный подход (systems approach) и системное мышление (systems thinking). Характеризуя в своей лекции системный подход, С. Рамо указывал, что этот подход является способом применения научного подхода к решению комплексных проблем в сфере инженерной деятельности и сосредотачивает внимание на анализе и проектировании системы в целом, а не ее компонентов или частей. Это предполагает, что при анализе возможных инженерно-технических решений во внимание принимаются все стороны и все имеющиеся возможности в отношении как социальных, так и технических аспектов проблемы. С. Рамо подчеркивал, что применение системного подхода к решению комплексных системных проблем требует от членов команды, создающей систему, большого объема знаний и способности к гармонизации подходов, сложившихся при решении системных проблем в рамках различных дисциплин. В целом специалисты согласились тогда с тем, что применительно к инженерной деятельности системный подход включает шесть основных шагов:

1. Определение цели или описание проблем.
2. Разработка требований и критериев.
3. Синтез системных решений.
4. Анализ системных решений.
5. Выбор системы.
6. Реализация системы.

С. Рамо указывал, что системный подход может дать хорошие результаты только в том случае, когда требования к системе ясно и недвусмысленно определены, а технологии и научные достижения, необходимые для их реализации, достаточно зрелы. Более подробно представления С. Рамо о системном подходе и инженерной деятельности были в дальнейшем описаны в книге С. Рамо и Р. Сент-Клера, посвященной практике использования системного подхода при принятии сложных решений<sup>2</sup>. Одним из первых примеров целенаправленного использования системного подхода при создании сложного инженерного объекта стал проект «Аполлон» (одним из руководителей проекта был С. Рамо), для успешной реализации которого в качестве ключевых использовались четыре зрелых системных технологии – тяжелая ракетаноситель, корабль для перемещения в космическом пространстве, система траекторного анализа и измерений и система связи<sup>3</sup>. Отметим, что настоящая книга содержит множество методических и практических рекомендаций по использованию системного подхода на разных этапах существования системы; кроме того, в ней имеется множество примеров и задач на эту тему. Собственно шесть шагов, перечисленных выше, явились рамочной основой для определения содержания процесса системной

1 Miles R. F. Systems Concepts. Wiley, New York, 1973.

2 Ramo S., St. Clair R. K. The Systems Approach. Fresh Solutions to Complex Problems Through Combining Science and Practical Common Sense. KNI, INCORPORATED, 1998.

3 Brill J. Systems Engineering – A Retrospective View // Systems Engineering. Vol. 1. Issue 4. 1998. Pp. 258–266.

инженерии, описанию и анализу различных особенностей которого в привязке к модели жизненного цикла посвящена большая часть книги.

Важным шагом на этапе становления системной инженерии стала разработка подхода жизненного цикла систем (system life cycle approach). Этот подход был определен в качестве фундаментальной основы успешной реализации процесса системной инженерии Б. Бланчардом (Benjamin Blanchard) и У. Фабрицким (Wolter Fabrycky) в 1981 году<sup>1</sup>. Стадии и этапы жизненного цикла систем, выделенные авторами, были подобны фазам выбора системы, которые в 1962 году описал в своей книге А. Холл. Однако Б. Бланчард и У. Фабрицкий впервые обратили внимание на необходимость использования системными инженерами понятия жизненного цикла системы в качестве рамочной, организационной основы инженерного мышления, что, по мнению авторов, позволяет при создании сложных инженерных объектов рассматривать все системные аспекты в их полноте и взаимосвязи. Идея последовательного использования подхода жизненного цикла на практике является одним из стержневых положений, лежащих в основе представлений авторов настоящей книги о деятельности системного инженера. По существу все 15 глав этого учебника в той или иной мере позволяют читателю продвинуться на пути овладения методами и практиками подхода жизненного цикла в его современном понимании.

Следует отметить, что на всех стадиях своего развития системная инженерия уделяла большое внимание формированию и совершенствованию нормативного обеспечения деятельности по созданию систем. По-видимому, первым нормативным документом по системной инженерии стало опубликованное в 1966 году Руководство 375-5. Оно было разработано при поддержке Военно-воздушных сил США (United States Air Force – USAF) и содержало описание основных деталей процесса разработки систем<sup>2</sup>. В дальнейшем это руководство было заменено на военный стандарт MIL-STD 499, который начиная с 1969 года непрерывно развивался до начала 90-х годов. Заключительная, но не принятая к практическому применению версия этого стандарта MIL-STD 499B<sup>3</sup> легла в основу таких важнейших современных стандартов системной инженерии, как ANSI/EIA 632, ISO/IEC 26702 и ISO/IEC 15288. В упомянутом военном стандарте содержались описание процессов разработки систем и рекомендации по управлению созданием системы с привязкой полученных результатов к плану управления системной инженерией (systems engineering management plan – SEMP). В этом стандарте был впервые определен ряд ключевых понятий, вошедших, с небольшими изменениями, во все последующие нормативно-технические документы по системной инженерии:

1. Система – интегрированная совокупность персонала, продуктов и процессов, обладающая способностью к удовлетворению установленных потребностей или достижению целей.

1 Blanchard B., Fabrycky W. Systems Engineering and Analysis. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1981.

2 AFSC Manual 375-5, Systems Engineering Management Procedures. Headquarters, Air Force Systems Command, Andrews Air Force Base, Washington, DC, March 10, 1966.

3 MIL-STD-499B (USAF), Systems Engineering, For Coordination Draft. Department of Defense. Washington DC. May 1992.

2. Элемент системы – базовая структурная составляющая, входящая в состав системы и удовлетворяющая одному или нескольким требованиям, связанным с нижележащими уровнями функциональной архитектуры.
3. Ключевые функции – жизненно важные работы, способности или действия, которые должны быть реализованы для того, чтобы система могла гарантированно обеспечить удовлетворение потребностей клиента на протяжении полного жизненного цикла системы.

В дополнение к упомянутым стандартам армейское руководство США в 1979 году опубликовало боевой устав (Field Manual) 770-78<sup>1</sup>. Данный документ содержал описание процесса разработки систем и представлял собой всестороннее, предназначенное для широкого использования руководство по практическому применению типового процесса разработки систем и управлению этим процессом.

Начиная с конца 80-х годов работу по формированию профессиональной среды системных инженеров, включая нормативно-техническое обеспечение деятельности, помимо военных специалистов стали активно вести представители гражданской индустрии и академического сообщества. В 1989 году Альянс предприятий электронной промышленности (Electronic Industry Alliance – EIA) предложил свой стандарт системной инженерии EIA-632, в котором процесс системной инженерии рассматривался в качестве основы при создании систем, машин или оборудования, проектируемых в соответствии с требованиями пользователей в отношении функционирования системы. В работе над этим стандартом EIA активно сотрудничал с Ассоциацией предприятий аэрокосмической промышленности (Aerospace Industries Association – AIA). Вышло несколько редакций EIA-632, последняя из которых была разработана в сотрудничестве с Американским национальным институтом стандартов (American National Standards Institute – ANSI)<sup>2</sup>. В настоящее время версия этого стандарта поддерживается американской ассоциацией компаний по продвижению инноваций TechAmerica (<http://www.techamerica.org/>).

Работа по совершенствованию стандартов активно продолжается и на современной стадии развития системной инженерии. В настоящее время одним из главных ее результатов является развитый комплекс стандартов системной и программной инженерии, разработанный Международной организацией стандартизации (International Standard Organization – ISO) и Международной электротехнической комиссией (International Electrotechnical Commission – IEC) при участии ведущих мировых некоммерческих профессиональных организаций, таких как Институт инженеров электротехники и электроники (Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE) и Группа по управлению объектами (Object Management Group – OMG). Среди нормативных документов, входящих в состав этого комплекса, выделяются стандарты процессов жизненного цикла систем, которые группируются вокруг стандарта ISO/IEC15288 «Системная и программная инженерия. Процессы жизненного цикла систем» и стандарта ISO/IEC 12207 «Системная и программная инженерия. Процессы

1 Field Manual 770-78, Systems Engineering. Headquarters, Department of the Army. Washington DC. April 1979.

2 ANSI/EIA 632 Processes for Engineering a System. Government Electronics and Information Technology Association, Standard & Technology Department. Washington, 1999.

жизненного цикла программного обеспечения». В состав этого комплекса входят также стандарты качества и зрелости процессов, стандарты описания архитектуры систем и ряд других документов. Вопросы использования стандартов при создании систем и управлении их жизненным циклом нашли краткое отражение в четвертой главе данной книги.

С начала 60-х и до середины 80-х годов, то есть на этапе становления, работы в области системной инженерии активно велись и в нашей стране. Важно отметить, что в СССР системная инженерия стала развиваться под названием «системотехника». По утверждению В. И. Николаева и В. М. Брука, этот термин был введен Г. Н. Поваровым, редактором перевода на русский язык книги Г. Х. Гуда и Р. Э. Макола<sup>1</sup>. Имеются также свидетельства, что термин «системотехника» был предложен Ф. Е. Темниковым – основателем первой в СССР кафедры системотехники, открытой в Московском энергетическом институте (МЭИ) в 1969 году<sup>2</sup>. В дальнейшем термин «системотехника» получил у нас в стране широкое распространение.

Начальный период развития системотехники в СССР совпал по времени с возникшей в нашей стране волной интереса к теории систем, системному мышлению и системному подходу. В частности, в 1962 году Г. П. Щедровицкий (совместно с В. Н. Садовским и Э. Г. Юдиным) организует при Совете по кибернетике АН СССР междисциплинарный семинар по структурно-системным методам анализа в науке и технике. В 1964 году Г. П. Щедровицкий подготовил к изданию в серии общества «Знание» брошюру «Проблемы методологии системного исследования», которая стала одной из первых в СССР работ по методологическому направлению системных исследований<sup>3</sup>. В конце 60-х годов в Институте истории естествознания и техники АН СССР была создана проблемная группа по системному исследованию науки (И. В. Блауберг, В. Н. Садовский и Э. Г. Юдин); позднее группа была реорганизована в сектор системного исследования науки, а к основателям добавились С. И. Дорошенко, А. И. Яблонский и Э. М. Мирский. Начиная с 1969 года начал выходить ежегодник «Системные исследования». В 1973 году при Всесоюзном научно-техническом обществе радиотехники, электроники и связи им. А. С. Попова был организован семинар «Системный анализ в проектировании и управлении» (Ф. Е. Темников, Ю. И. Черняк, С. П. Никаноров), а в 1976 году был создан Всесоюзный НИИ системных исследований (ныне Институт системного анализа РАН).

На фоне сосредоточения на фундаментальных проблемах системного анализа системотехника стала рассматриваться некоторыми представителями нашего научного сообщества только как элемент прикладной теории систем, где основное внимание сосредотачивается на вопросах системного анализа сложных технических объектов, а не на комплексных вопросах создания систем и управления их жизненным циклом. Безусловно, системный анализ является неотъемлемым инструментом деятельности системного инженера, и читатель этой книги найдет в ней множество примеров и рекомендаций по реализации процедуры системного анализа на различных

1 Николаев В. И., Брук В. М. Системотехника. Методы и приложения. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985.

2 Волкова В. Н. Из истории теории систем и системного анализа. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2001.

3 С брошюрой можно ознакомиться на сайте Научного фонда им. Г. П. Щедровицкого (<http://www.fondgp.ru/gp/biblio/rus/12>).

этапах жизненного цикла системы. Но, с другой стороны, такой же неотъемлемой составляющей системной инженерии является, например, синтез систем, где сегодня очень успешно применяется архитектурный подход, одним из пионеров использования которого в сфере системной инженерии стал Э. Рехтин (Eberhardt Rechtin)<sup>1</sup>. Нельзя забывать и о других фундаментальных практиках системной инженерии, которые не могут быть сведены исключительно к процедуре системного анализа.

В свою очередь отечественные ученые и инженеры, занятые прикладными проблемами, например созданием систем оборонного назначения, рассматривали системотехнику как научно-техническую дисциплину, охватывающую вопросы проектирования, создания, испытания и эксплуатации сложных систем (больших систем, систем большого масштаба, *large-scale systems*)<sup>2</sup>. По мере развития работ к середине 70-х годов эти специалисты в качестве основного объекта системотехники стали выделять сложные технические комплексы, которые разными авторами именовались по-разному:

- Большая система – управляемая система, рассматриваемая как совокупность взаимосвязанных управляемых подсистем, объединенных общей целью функционирования (примеры: энергосистема, производственное предприятие, торговая сеть) (Лернер А. Я., БСЭ, 1976).
- Сложная система:
  - составной объект, части которого можно рассматривать как системы, закономерно объединенные в единое целое в соответствии с определенными принципами или связанные между собой заданными отношениями (Бусленко Н. П., БСЭ, 1976);
  - система, способная к целенаправленной и целеустремленной деятельности в сложных ситуациях (Дружинин В. В., Конторов Д. С. Вопросы военной системотехники. М.: Воениздат, 1976).
- Системотехнический комплекс – объект, который рассматривается как система и характеризуется существенной неоднородностью (наличие и чисто технических компонентов и людей) (Николаев В. И., Брук В. М. Системотехника. Методы и приложения. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985).

В свою очередь в качестве основного метода системотехники отечественные специалисты-практики, как и их зарубежные коллеги, выделили системный подход. Отметим, что на этом развитие методического обеспечения практики системной инженерии в СССР по существу остановилось; впрочем, начиная с середины 80-х годов в нашей стране практически остановились и работы по созданию сложных, оригинальных отечественных систем как оборонного, так и гражданского назначения. Отечественные специалисты по существу не успели освоить подход жизненного цикла, сформированный еще на этапе становления системной инженерии; что

1 Rechtin E. *Systems Architecting, Creating and Building Complex Systems*. Prentice-Hall, 1991 или Maier M., Rechtin E. *The Art of Systems Architecting*. CRC Press, 2009.

2 Бусленко Н. П. *Системотехника / БСЭ, 1976.*

касается других подходов, ставших неотъемлемой частью системной инженерии на этапе координации (речь о них пойдет позже), то они до сих пор практически не известны нашим инженерам и руководителям крупномасштабных проектов в инженерной области. В последние годы инженерная деятельность в отечественной оборонной промышленности, в сфере атомной энергетики, в других наукоемких отраслях оживляется – это стимулировало в нашей стране возрождение интереса к системной инженерии и явилось одной из причин перевода данной книги на русский язык.

По мере нарастания зрелости методологии и расширения практики использования системотехника стала рассматриваться нашими специалистами как ключевой элемент нового научно-инженерного стиля работы, связанного с решением комплексных научно-технических проблем и позволяющего ускорить внедрение научных достижений в создание и производство сложных инженерных объектов<sup>1</sup>. В свою очередь специалисты, занятые созданием сложных военных систем, также стали признавать за системотехникой роль фундаментальной концепции, развитой теории и мощного рабочего аппарата, необходимых для профессионального решения проблем построения сложных систем боевого назначения<sup>2</sup>. Таким образом, к началу 80-х годов в СССР по существу сформировалось отечественное сообщество инженеров-системотехников, которое регулярно проводило Всесоюзные симпозиумы по системотехнике, публиковало книги и статьи по этой тематике. Быстрыми темпами стали развиваться национальные стандарты создания систем. Начало работ по стандартизации в области системотехники было ознаменовано созданием Единой системы стандартов автоматизированных систем управления ГОСТ 24. Эта система разрабатывалась с конца 70-х до середины 80-х годов и содержала спецификации, устанавливающие содержание и требования к документированию результатов работ по созданию (развитию) автоматизированных систем управления (АСУ). В частности, в стандартах ГОСТ 24 рассматривались типовые стадии жизненного цикла АСУ, типовые проектные решения, способы оценки важнейших характеристик АСУ и другие вопросы. В целях распространения положений ГОСТ 24 на более широкий спектр систем в конце 80-х годов был разработан комплекс стандартов на автоматизированные системы ГОСТ 34. Стандарты этого комплекса с методической точки зрения были близки к стандартам ГОСТ 24. Хотя спецификации, входящие в состав комплекса ГОСТ 34, не обновлялись более 20 лет, они и сейчас широко используются в нашей стране при создании систем, ориентированных на активное применение современных информационных технологий.

В СССР была также начата целевая подготовка инженеров-системотехников. После открытия в МЭИ в 1969 году кафедры системотехники подобные кафедры возникли во многих технических вузах; к середине 80-х годов при поддержке отечественной промышленности они функционировали более чем в 30 вузах, расположенных практически на всей территории страны. Таким образом, в СССР совместными усилиями вузов и индустрии были созданы условия для подготовки инженеров-системотехников в достаточном для страны количестве. Однако качество подготовки этих инженеров не отвечало требованиям времени. Вот как пишет об этом видный

1 Горохов В. Г. Методологический анализ системотехники. М.: Радио и связь, 1982.

2 Дружинин В. В., Конторов Д. С. Вопросы военной системотехники. М.: Воениздат, 1976.

отечественный специалист в области автоматики и процессов управления профессор В. Б. Яковлев: «Я ездил в Москву на первое заседание научно-методического совета по специальности, которое происходило в МВТУ под председательством профессора В. М. Четверикова. На этом заседании рассматривались содержание типового учебного плана и паспорт специалиста инженера системотехника по АСУ. На заседании присутствовали члены вновь созданной методической комиссии по специальности 0646, которые были в основном из специалистов по вычислительной технике и системам передачи и обработки информации. Они трактовали новую специальность как специальность по разработке математического и программного обеспечения больших информационно-вычислительных систем и недооценивали системный и управленческий аспект специальности»<sup>1</sup>.

Итак, к середине 80-х годов системотехника приобрела в СССР важнейшие признаки научной дисциплины, включая наличие:

- особой профессиональной организации (лаборатории, отделы, кафедры, научно-исследовательские институты, ученые советы и т. д.),
- налаженной системы научной коммуникации (выпуск специального журнала, наличие учебников и монографий, проведение регулярных семинаров, конференций и т. д.),
- собственной системы подготовки кадров (курсы и кафедры в высших учебных заведениях).

Однако на то время в нашей стране необратимых качественных изменений в деятельности по созданию сложных инженерных объектов, к сожалению, не произошло, а отечественные инженеры-системотехники в своей основе не стали специалистами, готовыми создавать системы, конкурентоспособные на мировом рынке, – специалистами, умеющими организовать и определить содержание комплекса работ по созданию сложной системы, обеспечить эффективное управление полным жизненным циклом такой системы, творчески сочетать в этой работе достижения техники, управления и экономики. Наши инженеры-системотехники ощущали себя в первую очередь техническими специалистами, разбирающимися в инженерных проблемах создания и функционирования сложных систем и владеющими технологиями создания отдельных системных элементов.

Можно указать на целый ряд причин, вызвавших подобное положение. По моему мнению, одна из них заключается в том, что оригинальный термин *system engineering* при переводе был заменен термином «системотехника», который довольно быстро стал у нас пониматься как термин технический, относящийся только к сфере техники и технологий. Суть системной инженерии как междисциплинарного подхода и методики, о чем говорилось выше, оказалась в значительной степени утраченной. Можно сказать, что в период становления системотехники в СССР нашим специалистам не удалось в должной мере интегрироваться в мировую среду

1 Яковлев В. Б. От автоматики и телемеханики к управлению и информатике. Воспоминания. 70 лет кафедре ЛЭТИ. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2005. С. 114–115.



системных инженеров; это тормозило развитие работ, а события конца 80-х – начала 90-х годов остановили это развитие почти на 20 лет. К концу 90-х годов повсеместно закрылись и кафедры системотехники, функционировавшие в российских вузах. В этих условиях события, происходившие в области системной инженерии на этапе координации, оказались, по сути, вне поля зрения российского инженерного сообщества.

По-видимому, важнейшим стимулом для перехода в середине 90-х годов к этапу координации стало осознание важности включения в методологию системной инженерии управленческой составляющей. Начиная с середины 70-х годов в работах ряда авторов ставился вопрос о необходимости комплексного рассмотрения вопросов разработки систем и управления деятельностью по их созданию<sup>1</sup>. Но только в начале 90-х годов Э. Сейдж (Andrew Sage) дал окончательный ответ на этот вопрос<sup>2</sup>. Автор убедительно показал, что системная инженерия может рассматриваться как технология управления, сосредоточенная на контроле процессов полного жизненного цикла, и имеющая целью определение, разработку и применение экономически эффективных, высококачественных и надежных систем. Заметим, что в начале 90-х годов Э. Сейдж стал основателем и научным редактором серии монографий и учебников по системной инженерии и управлению (Wiley Series in Systems Engineering and Management), в которой всемирно известное издательство Wiley опубликовало к сегодняшнему дню более 50 книг. Начавшееся в 90-х годах и непрерывно углубляющееся осознание того, что в основе эффективной коллективной деятельности по созданию сложных инженерных объектов лежат не только и не столько технические, сколько управленческие ее аспекты, можно считать одним из фундаментальных результатов, полученных на современном этапе развития системной инженерии. В частности, этот результат позволил по-новому посмотреть на роль и место в системной инженерии процессного и проектного подходов.

Одним из важных итогов координации процессного подхода и системной инженерии можно считать принятие в 2002 году первой версии стандарта ISO/IEC 15288:2002 «Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем». Этот стандарт стал общепризнанной основой для разработки различными международными и национальными организациями целого ряда важных нормативных документов и руководств по системной инженерии. В частности, следует указать на Руководство по системной инженерии Международного совета по системной инженерии (International Council on Systems Engineering – INCOSE), которое было разработано в интересах обеспечения независимой международной сертификации системных инженеров. Начиная с 2006 года в основе всех версий этого Руководства лежат процессный подход и стандарт ISO/IEC 15288<sup>3</sup>. В 2014 году планируются выход новой, третьей версии стандарта ISO/IEC 15288 и появление четвертой версии Руководства INCOSE. Читатель найдет в этой книге достаточно полное изложение

1 Chase W. P. Management of Systems Engineering. Robert Krieger, Malabar, FL, 1974 или Coutinho, John de S. Advanced Systems Development Management. Wiley, New York, 1977.

2 Sage A. Systems Engineering. Wiley, New York, 1992, а также Sage A. Systems Management for Information Technology and Software Engineering. Wiley, New York, 1995.

3 Systems Engineering Handbook v. 3.2.2 INCOSE-TP-2003-002-03.2.2. October 2011.

вопросов, относящихся к использованию процессного подхода в практике системной инженерии.

Осознание значимости управленческой составляющей в деятельности системного инженера привело к начавшемуся на рубеже веков и продолжающемуся до сегодняшнего дня взаимопроникновению (координации) методов и практик системной инженерии и управления проектами. По-видимому, одним из первых специалистов, указавших на тесную взаимосвязь и взаимопроникновение системной инженерии и управления проектами, стал Г. Эйснер (Howard Eisner)<sup>1</sup>. В качестве типового сценария он рассмотрел выполнение компанией проекта, целью которого является инженерная разработка некоторой системы. Г. Эйснер подчеркивает, что в подобной ситуации независимо от того, в какой степени создатели системы признают наличие связи между системной инженерией и управлением проектами, такую связь придется наладить и добиться, чтобы она работала эффективно. При этом в качестве ключевых автор выделил два вопроса:

1. Что необходимо знать руководителю проекта (project manager – PM)?
2. Что необходимо знать главному системному инженеру (chief systems engineer – CSE)?

Отвечая на эти вопросы, Г. Эйснер указывает, что РМ при управлении проектом должен держать в центре внимания описание системы и ее ключевых подсистем, т. е. набор архитектурных представлений. В свою очередь за формирование этих представлений отвечает CSE, который при выборе и реализации инженерных решений должен учитывать ограничения, зафиксированные в плане управления проектом. Таким образом, одним из важных инструментов налаживания взаимосвязи между системным инженером и руководителем проекта становится архитектурный подход, о котором мы уже говорили выше. Вопрос о взаимном влиянии и проникновении системной инженерии и управления проектами находится сегодня в стадии активного обсуждения специалистами; здесь мы приведем ссылки на некоторые работы, посвященные этой проблематике<sup>2</sup>. Вопросы взаимосвязи системной инженерии и управления проектами достаточно подробно рассмотрены в главе 5 данной книги, которая посвящена управлению системной инженерией.

Современный этап развития отличается не только повышенным вниманием к координации с другими управленческими дисциплинами, но и появлением целого ряда новых разделов системной инженерии. Одним из таких разделов является инженерия системы систем (system of systems engineering – SoSE) или, как иногда говорят, мегасистем. По мере становления этого направления системная инженерия, на начальном этапе своего существования сосредоточенная на сложных технических системах, также называемых в зарубежной литературе «жесткими» системами, стала

1 Eisner H. Essentials of Project and Systems Engineering Management. Wiley, New York, 2002.

2 Sharon A., de Weck O., Dori D. Project Management vs. Systems Engineering Management: A Practitioners View on Integrating the Project and Product Domains // Systems Engineering, published online DOI: 10.1002/sys.20187, 14, (3), July 2011, а также Oehmen J. (Ed.) The Guide to Lean Enablers for Managing Engineering Programs, Version 1.0. Cambridge, MA: Joint MIT – PMI – INCOSE Community of Practice on Lean in Program Management. May 2012.

все активнее заниматься проблемами создания более «мягких» социотехнических систем<sup>1</sup> и систем уровня предприятия<sup>2</sup>.

Как видим, во второй половине XX – в начале XXI веков развитие технологий не только оказало очень сильное влияние на облик инженерной продукции и услуг, но и принципиально изменило представление об инженерной деятельности. В результате к областям, имеющим отношение к созданию сложных инженерных объектов, сейчас принято относить не только традиционную инженерию, но и управление, включая его административную и институциональную составляющие, а также социальную и политическую сферы и науки о человеке. Эти последние более «мягкие» аспекты требуют от инженера дополнительного внимания, особенно когда решаются сложные задачи, характерные для систем уровня предприятия или территориально-распределенных систем. Данная особенность наряду с высокой скоростью обновления технологий, с необходимостью продления (иногда неоднократно) жизненного цикла систем, уже введенных в эксплуатацию, с постоянным нарастанием конкуренции на рынке инженерной продукции и услуг, с быстрым усложнением самой инженерной деятельности предъявляет качественно новые требования к инженерам и к содержанию образовательных программ. Кроме того, начиная с 90-х годов заметно ускорился процесс глобализации лучших практик и стандартов инженерной деятельности, что привело к появлению за рубежом по существу новой культуры инженерного труда, где системной инженерии отводится одна из ключевых ролей. С учетом сказанного изучение системной инженерии приобретает сегодня важнейшее значение при воспитании квалифицированных инженеров.

Первый курс системной инженерии был, вероятно, прочитан в Массачусетском технологическом институте (Massachusetts Institute of Technology) в 1950 году тогдашним руководителем департамента системной инженерии корпорации Bell Labs Д. Гилменом (G. W. Gilman). В 1960 году профессор А. Уаймор (Albert Wayne Wymore) основал в университете Аризоны первую в мире кафедру системной инженерии, которая успешно работает до сегодняшнего дня. В настоящее время подготовку по системной инженерии в мире осуществляют около 250 университетов, среди которых примерно 60 европейских вузов, около 80 университетов из США и примерно 100 университетов из других стран мира. Сведения об образовательных программах по системной инженерии, реализуемых различными университетами, можно найти на сайте GradSchools.com (<http://www.gradschools.com/search-programs/systems-engineering>).

Повышение значимости для практикующих инженеров системной инженерии, включая системный подход и системное мышление, вызвало необходимость формирования новой академической среды, сосредоточенной на проблемах подготовки специалистов, способных создавать инженерные системы будущего. Одним из шагов в направлении решения указанной задачи стало создание в 2004 году по инициативе Массачусетского технологического института Совета университетов, реализующих

1 Weick O. de, et al. Engineering Systems. Meeting Human Needs in Complex Technological World. The MIT Press, 2011 или Flaus J.-M. Risk Analysis: Socio-technical and Industrial Systems (ISTE). Wiley Systems Engineering Series, 2013.

2 Saenz O. Enterprise Systems Engineering: Definition. Classification Scheme. Process. Product Development Validation Approach. Scholars Press, 2014 или Rebovich G. Jr., White B. E. Enterprise Systems Engineering: Advances in the Theory and Practice (Complex and Enterprise Systems Engineering). CRC Press, 2011.

образовательные и исследовательские программы в области создания инженерно насыщенных систем (Council of Engineering Systems Universities – CESUN). Сегодня в этот Совет входит более 50 университетов из Северной Америки, Европы, Азии и Австралии; в центре их внимания находятся программы по созданию инженерно насыщенных систем, таких как транспортные, энергетические и коммуникационные системы. Члены CESUN полагают, что создание современных инженерно насыщенных систем – это область междисциплинарных исследований, где требуется по-новому учесть достижения технологий, а также управленческих и социальных наук. Для этого они сосредотачивают свои педагогические усилия в следующих областях:

- системная инженерия;
- технологии и стратегии;
- инженерный менеджмент, инновации и предпринимательство;
- системный анализ и принятие решений, исследование операций;
- проектирование и производство продукции, организация производства.

Основными партнерами CESUN при осуществлении профессиональной деятельности являются уже упоминавшийся Институт инженеров электротехники и электроники – крупнейшая в мире профессиональная организация по созданию и развитию передовых технологий, а также Международный совет по системной инженерии – INCOSE; кроме того, CESUN тесно сотрудничает с Институтом исследования операций и менеджмента (Institute for Operations Research and Management Science – INFORMS) и с Институтом промышленных инженеров (Institute of Industrial Engineers – IIE).

В целом можно констатировать, что к концу первого десятилетия XXI века в мире сформировалась развитая и зрелая образовательная среда, в которой реализуются программы подготовки по системной инженерии различного уровня сложности. В эту среду включены бакалавриат, магистратура, а также система повышения квалификации и переподготовки кадров. Причем эта система постоянно совершенствуется и развивается при поддержке ведущих мировых компаний, занятых созданием сложных инженерных объектов.

При реализации образовательных программ по системной инженерии зарубежные университеты используют главным образом два сценария:

1. Программа фокусируется на системных проблемах создания сложных инженерных объектов – теория и практика системной инженерии становится в этом случае ядром всей образовательной программы, а ключевые разделы системной инженерии рассматриваются в отдельных, специально организованных курсах;
2. Программа фокусируется на проблемах инженерной деятельности в определенной предметной области (ИКТ, энергетика, транспорт и т. д.) – системная инженерия в этом случае является курсом, поддерживающим основную образовательную программу.

Данная книга может с успехом использоваться преподавателями при подготовке курсов по системной инженерии как в первом, так и во втором случаях. При этом, принимая во внимание рекомендации международных экспертов<sup>1</sup>, среди важнейших целей подготовки по системной инженерии можно выделить:

- *Владение подходом жизненного цикла*, включая способность на протяжении полного жизненного цикла (или на его отдельных этапах) успешно анализировать, проектировать или реализовывать пригодные к производству и использованию, эффективные, пригодные к сопровождению, экономически приемлемые комплексные системные решения применительно к продукции, услугам, предприятиям, а также к мегасистемам (системе систем). Это требование может быть адаптировано к конкретному типу или классу систем, с которыми придется иметь дело выпускнику, или к конкретной предметной области, например авиакосмической промышленности.
- *Профессионализм*, включая способность к профессиональному развитию на основе непрерывного обучения и активного участия в профессиональной деятельности, а также содействие развитию своей области профессиональной деятельности. Кроме того, профессионализм подразумевает ответственное и этическое поведение на основе понимания общественной пользы;
- *Готовность использовать мультидисциплинарный подход*, включая способность успешно выполнять различные роли в мультидисциплинарных командах с различными формами членства, включая роль технического эксперта или роль руководителя на различных уровнях.
- *Коммуникабельность*, включая умение успешно общаться (читать, писать, говорить, слушать и иллюстрировать) устно и письменно, а также с использованием вновь появляющихся способов и средств коммуникации и массовой информации, особенно во взаимодействии с заинтересованными сторонами и с коллегами.

Все аспекты, перечисленные выше, нашли отражение в тексте книги, но особенно подробно авторы рассмотрели подход жизненного цикла, изучению которого в той или иной степени посвящены 11 из 15 глав учебника.

В последние годы осознание необходимости подготовки в системной инженерии происходит и в нашей стране. В частности, ФГОС ВПО по направлению подготовки 230400 «Информационные системы и технологии» (квалификация «магистр») предусматривает, что дисциплина «Системная инженерия» входит в качестве обязательной в базовую (общепрофессиональную) часть профессионального цикла основной образовательной программы магистратуры.

В свете сказанного становится очевидной особая значимость работ по формированию отечественных образовательных программ подготовки инженеров, в которые в той или иной форме включена системная инженерия и такие ее разделы, как

---

<sup>1</sup> Pyster A., Olwell D. H., Ferris T. L. J., Hutchison N., Enck S., Anthony J., Henry D., Squires A. (eds.). Graduate Reference Curriculum for Systems Engineering (GRCSE™). Hoboken, NJ, USA: The Trustees of the Stevens Institute of Technology. 2012.

инженерия требований, проектирование архитектуры систем, принятие решений и управление рисками, управление конфигурацией и т. п. Следует напомнить, что последний учебник по системотехнике был издан в СССР в 1985 году – с тех пор наши студенты не получили ни одного учебного пособия по системной инженерии, где эта дисциплина рассматривалась бы как мультидисциплинарный подход и методика создания сложных систем. Кроме того, на русском языке практически отсутствуют учебно-методические материалы, содержащие сведения о существовании системного подхода и практике его использования в инженерной деятельности. С учетом сказанного очевидна настоятельная необходимость срочного формирования отечественной учебно-методической базы по системной инженерии и разработки русскоязычных образовательных ресурсов в этой области.

Книга профессора А. Косякова и соавторов «Системная инженерия. Принципы и практика» является одним из наиболее известных и признанных в мире учебников по системной инженерии. Авторам книги удалось найти гармоничное сочетание широты охвата тематики с глубиной изложения отдельных деталей, в частности таких как принятие решений и управление рисками, практическая реализация процесса системной инженерии, разработка архитектуры, инженерия программных систем. В основу изложения легли учебно-методические материалы по системной инженерии, которые на протяжении ряда лет разрабатывались преподавателями – сотрудниками Инженерной школы Университета Джонса Хопкинса (Whiting School of Engineering Johns Hopkins University). Отметим, что Университет Джонса Хопкинса является сегодня одним из ведущих мировых исследовательских университетов. В 2013 году он занял 17-е место в Академическом рейтинге университетов мира<sup>1</sup> и 15-е место в рейтинге ТНЕ (Times Higher Education World University Rankings)<sup>2</sup>. С университетом Джонса Хопкинса связана научная и исследовательская деятельность 36 лауреатов Нобелевской премии, работавших здесь в разное время; работы сотрудников университета считаются одними из самых цитируемых в мире<sup>3</sup>.

Заинтересованный преподаватель сможет на основе представленных в книге материалов поставить и вводный курс по системной инженерии, и целый ряд специальных курсов. В последнем случае особенно полезными могут оказаться очень хорошие задачи, приводимые в заключительной части каждой из 15 глав учебника. Надеемся также, что публикация этой книги на русском языке стимулирует наших преподавателей, и мы в скором времени получим хорошие учебники по системной инженерии, написанные российскими авторами.

Отличительная особенность этого учебника состоит в том, что его создатели при изложении материала выбрали в качестве интеграционной основы подход жизненного цикла, с позиций которого они последовательно рассматривают все аспекты деятельности системного инженера. В книге такой прием назван использованием точки зрения системного инженера. В качестве инструмента практического воплощения точки зрения системного инженера авторы книги предлагают «модель жизненного

1 Academic Ranking of World Universities 2013 – академический рейтинг университетов мира, составляемый в институте высшего образования Шанхайского университета Цзяо Тун.

2 Times Higher Education World University Rankings (или THE World University Rankings) – ежегодный мировой рейтинг университетов, публикуемый британским журналом Times Higher Education.

3 The Most-Cited Institutions Overall, 1999–2009. Thomson Reuters.

цикла для системного инженера», которую они разработали специально для этого учебника. Стадии и этапы жизненного цикла, характерные для этой модели, стали по существу стеновым хребтом, на который нанизывается все изложение, что хорошо видно и по оглавлению книги. Стоит заметить, что авторы не настаивают на предпочтительности их модели по сравнению с другими широко известными моделями жизненного цикла, – нет, они ясно говорят, что коллектив, занятый созданием сложного инженерного объекта, может предпочесть другие модели и подходы. Но при этом в книге четко указывается на то, что системный инженер обязан выбрать или построить самостоятельно определенную модель жизненного цикла, которая лучше других соответствует особенностям предметной области (авиастроение, энергетика, строительство, военное дело и т. п.). Далее, согласно рекомендациям авторов учебника, системный инженер должен выстроить хорошо организованный процесс системной инженерии в сочетании с продуманной иерархической структурой работ и строго следовать ему на всем протяжении жизненного цикла создаваемой системы. Книга как раз и содержит описание такого сценария, где за основу, как мы уже говорили выше, взята «модель жизненного цикла для системного инженера».

Использование подобного подхода при изложении материала вызывает известные риски. В частности, может показаться, что при рассмотрении процесса системной инженерии в целом авторы порой неоправданно многословны или начинают уделять слишком много внимания второстепенным деталям. Однако такое мнение скорее может возникнуть у человека, имеющего опыт практической работы системным инженером, а таких людей в нашей стране мало. Для студентов же (а в первую очередь они являются целевой аудиторией) подобный подход представляется совершенно оправданным. В частности, наш собственный опыт преподавания системной инженерии в ряде ведущих вузов Москвы показывает, что на начальном этапе освоения будущими инженерами практик системного подхода приходится вновь и вновь возвращаться к очевидным, казалось бы, вещам и при рассмотрении проблем, даже на уровне системы в целом, уделять большое внимание деталям. Все основные действия, подробно описанные в этой книге в привязке к процессу системной инженерии, – выявление заинтересованных сторон; определение назначения и целей создания системы с учетом необходимости достижения баланса интересов; синтез альтернативных концепций, включая варианты наборов требований и варианты логической и физической архитектуры; анализ, включая принципы принятия решений и анализ рисков, а также проверка соответствия – являются постоянной «головной болью» для преподавателя.

Характерная особенность работы по созданию сложных систем заключается в том, что существует множество путей, которые могут, как кажется, привести к успеху, но выбор правильного пути – очень непростая задача. Надеюсь, что эта книга поможет и студентам, и преподавателям, и специалистам ответить на вопрос, что такое правильный путь, как его найти системному инженеру и каких шагов надо придерживаться, чтобы с этого пути не сбиться.

*В. К. Батоврин*  
*E-mail: batovrin@mirea.ru*