

УДК 62+65
ББК 32.817
К72

Косяков А., Свит У. и др.

К72 Системная инженерия. Принципы и практика. Пер. с англ. под ред. В. К. Батоврина. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 624 с.: ил.

ISBN 978-5-97060-464-9

Книга принадлежит к числу лучших зарубежных учебников по системной инженерии. В ней подробно рассмотрены практически все аспекты деятельности системного инженера на протяжении полного жизненного цикла сложной системы. В основу предлагаемого авторами подхода к изучению системной инженерии положено небольшое число базовых моделей, наглядных и удобных для практического использования. Книга носит прикладной характер. Материал изложен в доступной форме, для его освоения не требуется больших знаний по высшей математике. Изложение иллюстрируется многочисленными примерами и сопровождается интересными задачами.

Книга будет полезна студентам и аспирантам при изучении системной инженерии и связанных с ней дисциплин. Она также представит несомненный интерес для инженеров различных профилей, менеджеров и экономистов, занимающихся проблемами создания сложных технических, социотехнических и организационных систем.

УДК 62+65
ББК 32.817

No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, scanning, or otherwise, except as permitted under Section 107 or 108 of the 1976 United States Copyright Act, without either the prior written permission of the Publisher, or authorization through payment of the appropriate per-copy fee to the Copyright Clearance Center, Inc., 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, (978) 750-8400, fax (978) 750-4470, or on the web at www.copyright.com. Requests to the Publisher for permission should be addressed to the Permissions Department, John Wiley & Sons, Inc., 111 River Street, Hoboken, NJ 07030, (201) 748-6011, fax (201) 748-6008, or online at <http://www.wiley.com/go/permission>.

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN (англ.) 978-0-470-40548-2

© Copyright © by John Wiley & Sons, Inc.
All rights reserved.

ISBN (7БЦ, рус.) 978-5-97060-464-9

© Оформление, перевод ДМК Пресс



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..... | 55 |
| Технический прогресс: риски..... | 57 |
| Конкуренция: компромиссы..... | 58 |
| Специализация: сопряжения..... | 59 |

| | | |
|------|---|----|
| 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..... | 66 |
| | Вызовы системной инженерии | 68 |
| | В чем притягательная сила системной инженерии? | 69 |
| | Отличительные черты и мотивация системного инженера | 70 |
| 1.5. | Модель развития карьеры системного инженера..... | 70 |
| 1.6. | Сила системной инженерии | 73 |
| | Сила мультидисциплинарного знания..... | 74 |
| | Сила приближенных вычислений | 75 |
| | Сила скептического позитивного мышления | 75 |
| 1.7. | Резюме..... | 76 |
| | Что такое системная инженерия? | 76 |
| | Происхождение системной инженерии..... | 76 |
| | Примеры систем, нуждающихся в системном инженерере..... | 76 |
| | Системная инженерия как профессия | 77 |
| | Модель развития карьеры системного инженера..... | 77 |
| | Сила системной инженерии | 77 |
| | Задачи..... | 78 |
| | Дополнительная литература | 79 |

Глава 2

Ландшафт системной инженерии 80

| | | |
|------|---|----|
| 2.1. | Точка зрения системного инженера | 80 |
| | Успешные системы..... | 80 |
| | «Наилучшая» система | 81 |
| | Сбалансированная система | 83 |
| | Сбалансированная точка зрения | 85 |
| 2.2. | Представления в системной инженерии | 86 |
| 2.3. | Предметные области, связанные с системами | 88 |
| 2.4. | Сферы деятельности, связанные с системной инженерией..... | 89 |
| 2.5. | Подходы системной инженерии..... | 90 |
| 2.6. | Системная инженерия. Действия и результаты | 90 |
| 2.7. | Резюме..... | 92 |
| | Точка зрения системного инженера | 92 |
| | Представления в системной инженерии | 93 |
| | Предметные области, связанные с системами | 93 |
| | Сферы деятельности, связанные с системной инженерией..... | 94 |
| | Подходы системной инженерии..... | 94 |
| | Системная инженерия. Действия и результаты | 94 |
| | Задачи..... | 94 |
| | Дополнительная литература | 94 |

Глава 3

Структура сложных систем..... 95

| | |
|--|-----|
| 3.1. Составные части и интерфейсы системы | 95 |
| 3.2. Иерархия в сложных системах..... | 95 |
| Модель сложной системы | 96 |
| Области компетенции системного инженера и специалиста по проектированию | 98 |
| 3.3. Составные части системы..... | 100 |
| Функциональные составные части: функциональные элементы..... | 100 |
| Физические составные части: компоненты | 102 |
| Типовые составные части | 104 |
| Применение составных частей системы | 105 |
| 3.4. Окружение системы..... | 105 |
| Границы системы..... | 106 |
| Границы системы: контекстная диаграмма | 107 |
| Типы взаимодействий с окружением..... | 111 |
| 3.5. Интерфейсы и взаимодействия..... | 113 |
| Интерфейсы: внешние и внутренние | 113 |
| Взаимодействия | 113 |
| Интерфейсные элементы..... | 114 |
| 3.6. Сложность в современных системах..... | 115 |
| Системы систем..... | 116 |
| Инженерия систем масштаба предприятия..... | 118 |
| 3.7. Резюме..... | 120 |
| Составные части и интерфейсы системы | 120 |
| Иерархия сложных систем..... | 120 |
| Составные части системы..... | 120 |
| Окружение системы..... | 121 |
| Интерфейсы и взаимодействия..... | 121 |
| Сложность в современных системах..... | 121 |
| Задачи..... | 122 |
| Дополнительная литература | 123 |

Глава 4

Процесс разработки системы 124

| | |
|---|-----|
| 4.1. Применение системной инженерии на протяжении жизненного цикла системы | 124 |
| 4.2. Жизненный цикл системы | 125 |
| Разработка принятой в этой книге модели жизненного цикла для системного инженера | 125 |
| Стадии в модели жизненного цикла для системного инженера | 128 |

| | |
|---|-----|
| Этапы разработки концепции | 131 |
| Этапы разработки инженерно-технических решений | 134 |
| Этапы постразработческой стадии..... | 137 |
| 4.3. Эволюционные характеристики процесса разработки..... | 138 |
| Предшествующая система..... | 139 |
| Материализация системы | 140 |
| Участники | 142 |
| Требования к системе и документация | 143 |
| 4.4. Метод системной инженерии | 144 |
| Обзор существующих методов и процессов системной инженерии | 146 |
| Наш метод системной инженерии..... | 149 |
| Анализ требований (постановка задачи) | 151 |
| Функциональное описание (анализ функционирования и привязка функций)..... | 153 |
| Описание физической реализации (синтез, анализ физической реализации и размещение элементов) | 155 |
| Валидация проектных решений (верификация и оценка)..... | 157 |
| Подготовка к следующему этапу | 159 |
| Метод системной инженерии в применении к жизненному циклу системы | 160 |
| Спиральная модель жизненного цикла | 160 |
| 4.5. Испытания на протяжении разработки системы..... | 162 |
| Неизвестные | 163 |
| Преобразование неизвестного в известное..... | 163 |
| Подход системной инженерии к испытаниям | 164 |
| Испытания и аттестация системы | 165 |
| 4.6. Резюме..... | 165 |
| Применение системной инженерии на протяжении жизненного цикла системы | 165 |
| Жизненный цикл системы | 165 |
| Эволюционные характеристики процесса разработки..... | 166 |
| Метод системной инженерии | 166 |
| Испытания на протяжении разработки системы..... | 167 |
| Задачи..... | 167 |
| Дополнительная литература | 168 |

Глава 5

Управление системной инженерией 169

| | |
|---|-----|
| 5.1. Управление разработкой системы и рисками | 169 |
| Подготовка предложения и техническое задание..... | 170 |
| 5.2. Иерархическая структура работ | 171 |
| Элементы типичной иерархической структуры работ | 171 |
| Составление сметы и контроль ее исполнения..... | 175 |
| Метод критического пути | 175 |

| | |
|---|-----|
| 5.3. План управления системной инженерией..... | 176 |
| Элементы типичного плана управления системной инженерией..... | 176 |
| 5.4. Управление риском | 178 |
| Снижение рисков на протяжении жизненного цикла системы..... | 179 |
| Составные части управления риском | 181 |
| Оценка рисков..... | 181 |
| Смягчение рисков | 186 |
| План управления риском..... | 188 |
| 5.5. Организация системной инженерии | 189 |
| Отдел системного анализа | 191 |
| Команда проектирования системы..... | 191 |
| 5.6. Резюме..... | 193 |
| Управление разработкой системы и рисками | 193 |
| Иерархическая структура работ | 193 |
| План управления системной инженерией | 193 |
| Управление риском | 193 |
| Организация системной инженерии | 194 |
| Задачи..... | 194 |
| Дополнительная литература | 195 |

ЧАСТЬ II

Стадия разработки концепции 197

Глава 6

Анализ потребностей 198

| | |
|--|-----|
| 6.1. Возникновение новой системы..... | 198 |
| Место этапа анализа потребностей в жизненном цикле системы | 198 |
| Примеры потребностей в новой системе..... | 200 |
| Вопросы конкуренции..... | 201 |
| Состояние материализации проектных решений | 201 |
| Применение метода системной инженерии к анализу потребностей и требований | 202 |
| 6.2. Системный анализ | 206 |
| Анализ предполагаемых потребностей | 206 |
| Практические цели..... | 209 |
| 6.3. Анализ функционирования | 212 |
| Преобразование практических целей в функции системы..... | 212 |
| Функциональная декомпозиция и привязка к подсистемам | 213 |
| 6.4. Оценка осуществимости | 214 |
| Формирование представления о реализации подсистем..... | 214 |
| Определение осуществимой концепции | 216 |
| 6.5. Валидация потребностей..... | 216 |
| Модель эксплуатационной эффективности | 216 |

| | |
|---|-----|
| Показатели эффективности и показатели функционирования..... | 218 |
| Валидация осуществимости и потребности..... | 220 |
| 6.6. Требования назначения системы..... | 220 |
| Сценарии практического использования..... | 221 |
| Определение требований назначения..... | 222 |
| Валидация осуществимости..... | 223 |
| 6.7. Резюме..... | 224 |
| Возникновение новой системы..... | 224 |
| Системный анализ..... | 225 |
| Анализ функционирования..... | 225 |
| Оценка осуществимости..... | 225 |
| Валидация потребностей..... | 225 |
| Дополнительная литература..... | 226 |

Глава 7

Исследование концепции 227

| | |
|---|-----|
| 7.1. Разработка требований к системе..... | 227 |
| Место этапа исследования концепции в жизненном цикле системы..... | 228 |
| Состояние материализации системы..... | 229 |
| Метод системной инженерии при исследовании концепции..... | 230 |
| 7.2. Анализ требований назначения..... | 232 |
| Установление требований..... | 233 |
| Анализ требований..... | 234 |
| Валидация требований..... | 235 |
| Документирование требований..... | 235 |
| Характеристики хорошо определенных требований..... | 235 |
| Триединство разработки концепции..... | 237 |
| Концепция функционирования..... | 237 |
| Описание контекста функционирования (сценарии)..... | 238 |
| Анализ альтернатив..... | 239 |
| 7.3. Определение требований | |
| к показателям функционирования..... | 241 |
| Выделение функций подсистем..... | 241 |
| Недетерминированная природа разработки системы..... | 242 |
| Функциональное исследование и декомпозиция..... | 243 |
| Определение требований силами комплексной рабочей группы..... | 248 |
| 7.4. Исследование концепций реализации..... | 249 |
| Альтернативные концепции реализации..... | 249 |
| Разработка технологии..... | 251 |
| Показатели функционирования..... | 252 |
| 7.5. Валидация требований к показателям функционирования..... | 254 |
| Агрегирование показателей функционирования..... | 254 |
| Валидация показателей функционирования..... | 255 |
| Документирование требований..... | 255 |

| | |
|--|-----|
| 7.6. Резюме..... | 256 |
| Разработка требований к системе..... | 256 |
| Анализ требований назначения..... | 256 |
| Определение требований к показателям функционирования..... | 257 |
| Исследование концепций реализации | 257 |
| Валидация требований к показателям функционирования | 257 |
| Задачи..... | 258 |
| Дополнительная литература | 259 |

Глава 8

Определение концепции..... 260

| | |
|---|-----|
| 8.1. Определение концепции системы..... | 260 |
| Место этапа определения концепции в жизненном цикле системы..... | 261 |
| Состояние материализации проектных решений..... | 262 |
| Метод системной инженерии при определении концепции..... | 264 |
| 8.2. Анализ требований к показателям функционирования..... | 266 |
| Анализ установленных требований к показателям функционирования | 266 |
| Завершение работы над требованиями к системе и их уточнение | 267 |
| 8.3. Анализ функционирования и определение функциональных требований..... | 270 |
| Определение функций компонентов | 270 |
| Инструменты для графического представления функциональных блоков..... | 272 |
| Имитационное моделирование..... | 275 |
| Определение функциональных требований | 276 |
| 8.4. Функциональная декомпозиция..... | 276 |
| Формирование альтернативных концепций..... | 277 |
| Моделирование альтернатив..... | 278 |
| 8.5. Выбор концепции | 279 |
| 8.6. Валидация концепции | 282 |
| Моделирование системы и ее окружения | 282 |
| Анализ результатов валидации..... | 283 |
| Итеративное уточнение требований и концепций системы | 283 |
| 8.7. Планирование разработки системы | 284 |
| Иерархическая структура работ..... | 284 |
| План управления системной инженерией..... | 285 |
| Составление сметы затрат в течение жизненного цикла..... | 286 |
| Презентация предложения о разработке системы | 287 |
| 8.8. Построение архитектуры системы | 288 |
| Архитектурные представления..... | 290 |
| Методики описания архитектуры..... | 292 |

| | |
|--|-----|
| 8.9. Языки системного моделирования | 295 |
| Унифицированный язык моделирования UML | 296 |
| Язык моделирования систем SysML | 303 |
| 8.10. Моделе-ориентированная системная инженерия | 309 |
| 8.11. Спецификация функциональных требований к системе | 314 |
| 8.12. Резюме | 315 |
| Определение концепции системы | 315 |
| Анализ требований к показателям функционирования | 316 |
| Анализ функционирования и формирование функциональных требований | 316 |
| Привязка функций | 316 |
| Выбор концепции | 316 |
| Валидация концепции | 317 |
| Планирование разработки системы | 317 |
| Построение архитектуры системы | 317 |
| Языки моделирования систем: UML и SysML | 318 |
| Моделе-ориентированная системная инженерия | 318 |
| Спецификация функциональных требований к системе | 318 |
| Задачи | 319 |
| Дополнительная литература | 321 |

Глава 9

Анализ и поддержка принятия решений 322

| | |
|---|-----|
| 9.1. Принятие решений | 323 |
| Факторы, влияющие на процесс принятия решения | 324 |
| Базовые принципы принятия решений | 325 |
| Поддержка принятия решений | 327 |
| Формальный процесс принятия решений | 327 |
| 9.2. Моделирование на протяжении разработки системы | 329 |
| 9.3. Статическое моделирование для принятия решений | 330 |
| Типы моделей | 330 |
| Схематические модели | 331 |
| Математические модели | 337 |
| Физические модели | 339 |
| 9.4. Имитационное моделирование | 340 |
| Моделирование функционирования | 341 |
| Игры | 341 |
| Моделирование эффективности системы | 342 |
| Моделирование условий применения | 344 |
| Физическое моделирование | 344 |
| Программно-аппаратное моделирование | 345 |
| Техническое моделирование | 346 |
| Разработка самолета Боинг 777 | 347 |
| Моделирование окружения | 347 |

| | |
|--|-----|
| Моделирование виртуальной реальности | 348 |
| Разработка имитационных моделей системы | 349 |
| Верификация и валидация модели..... | 350 |
| 9.5. Анализ компромиссов..... | 351 |
| Базовые принципы компромиссов..... | 351 |
| Формальный анализ и исследование компромиссов | 352 |
| Пример анализа компромиссов | 362 |
| Ограничения числового сравнения | 364 |
| Принятие решения | 365 |
| 9.6. Краткий обзор теории вероятностей | 365 |
| 9.7. Методы оценивания | 369 |
| Многомерная теория полезности | 370 |
| Метод анализа иерархий | 370 |
| Деревья решений..... | 371 |
| Анализ «затраты–эффективность» | 375 |
| Структурирование функции качества..... | 377 |
| 9.8. Резюме..... | 378 |
| Принятие решений..... | 378 |
| Моделирование на протяжении разработки системы | 379 |
| Моделирование для принятия решений | 379 |
| Имитационное моделирование..... | 380 |
| Анализ компромиссов..... | 380 |
| Краткий обзор теории вероятностей | 381 |
| Методы оценивания | 381 |
| Задачи..... | 382 |
| Дополнительная литература | 384 |

ЧАСТЬ III

Стадия разработки инженерно-технических решений..... 385

Глава 10

Эскизное проектирование 387

| | |
|---|-----|
| 10.1. Снижение рисков программы | 387 |
| Место этапа эскизного проектирования в жизненном цикле системы | 388 |
| Состояние материализации проектных решений..... | 389 |
| Метод системной инженерии на этапе эскизного проектирования..... | 389 |
| 10.2. Анализ требований..... | 392 |
| Функциональные требования к системе | 392 |
| Прослеживание требований..... | 393 |
| Связь с требованиями назначения | 393 |
| Связь с предшествующими системами | 394 |
| Выявление компонентов, нуждающихся в разработке | 394 |

| | |
|---|-----|
| 10.3. Анализ функционирования и проектирование | 397 |
| Повышенные показатели функционирования | 398 |
| Особо сложные компоненты | 400 |
| Плохо определенное окружение системы | 401 |
| Функциональное проектирование | 402 |
| Использование имитационных моделей | 403 |
| 10.4. Разработка прототипа как механизм смягчения риска | 404 |
| Потенциальные проблемные области | 405 |
| Проектирование компонентов | 408 |
| Проверка проектных решений | 410 |
| Быстрое прототипирование | 410 |
| Испытательные установки | 411 |
| 10.5. Стендовые испытания | 412 |
| Планы испытаний и анализа результатов испытаний | 413 |
| Специальное испытательное оборудование и испытательные установки | 417 |
| Определительные испытания и проверка пригодности к эксплуатации | 419 |
| Анализ и оценка результатов испытаний | 420 |
| Оценка пользовательских интерфейсов | 421 |
| Исправление недостатков проекта | 423 |
| 10.6. Снижение риска | 423 |
| Каким должен быть объем проработки? | 424 |
| 10.7. Резюме | 424 |
| Снижение рисков программы | 424 |
| Анализ требований | 425 |
| Анализ функционирования и проектирование | 425 |
| Разработка опытного образца как методика смягчения риска | 425 |
| Стендовые испытания | 426 |
| Снижение риска | 426 |
| Задачи | 426 |
| Дополнительная литература | 428 |

Глава 11

Инженерия программных систем 429

| | |
|--|-----|
| 11.1. Преодоление сложности и абстрактности | 430 |
| Роль программного обеспечения в системах | 432 |
| 11.2. Природа разработки программного обеспечения | 434 |
| Типы программного обеспечения | 434 |
| Типы программных систем | 435 |
| Различия между оборудованием и программным обеспечением | 438 |
| 11.3. Модели жизненного цикла разработки программного обеспечения | 440 |

| | |
|---|-----|
| Линейные модели разработки..... | 442 |
| Инкрементные модели разработки..... | 443 |
| Эволюционные модели разработки..... | 444 |
| Гибкие модели разработки..... | 447 |
| Модернизация программной системы | 448 |
| 11.4. Разработка концепции программного обеспечения: | |
| анализ и проектирование..... | 449 |
| Анализ потребностей | 449 |
| Анализ требований к программному обеспечению | 450 |
| Архитектура системы..... | 454 |
| Структурный анализ и проектирование..... | 456 |
| Объектно-ориентированный анализ и проектирование | 458 |
| Другие методологии | 460 |
| 11.5. Разработка методами программной инженерии: кодирование | |
| и автономное тестирование..... | 462 |
| Структура программы..... | 462 |
| Языки программирования | 463 |
| Средства поддержки программирования | 465 |
| Создание прототипа ПО..... | 466 |
| Проектирование программного продукта | 467 |
| Автономное тестирование | 469 |
| 11.6. Интеграция и тестирование программного обеспечения..... | 470 |
| Верификация и валидация | 471 |
| Отличительные особенности тестирования программного | |
| обеспечения | 471 |
| Интеграционное тестирование..... | 472 |
| Регрессионное тестирование..... | 472 |
| Оценочное тестирование | 472 |
| 11.7. Управление программной инженерией..... | 473 |
| Компьютерные инструменты для программной инженерии | 474 |
| Интегрированная модель зрелости возможностей..... | 475 |
| Метрики программного обеспечения | 478 |
| Взгляд в будущее..... | 479 |
| 11.8. Резюме..... | 480 |
| Преодоление сложности и абстрактности..... | 480 |
| Природа разработки программного обеспечения | 481 |
| Модели жизненных циклов разработки ПО | 481 |
| Разработка концепции ПО: анализ и проектирование | 482 |
| Разработка методами программной инженерии: | |
| кодирование и автономное тестирование | 483 |
| Интеграция и тестирование ПО..... | 483 |
| Управление программной инженерией..... | 483 |
| Задачи..... | 484 |
| Дополнительная литература | 485 |

Глава 12

| | |
|--|------------|
| Техническое проектирование | 486 |
| 12.1. Реализация составных частей системы | 486 |
| Место этапа технического проектирования | |
| в жизненном цикле системы | 486 |
| Состояние материализации проекта..... | 487 |
| Метод системной инженерии на этапе технического | |
| проектирования..... | 489 |
| 12.2. Анализ требований..... | 491 |
| Технические требования к системе | 491 |
| Требования к внешним интерфейсам системы..... | 491 |
| Требования к сборке и установке..... | 492 |
| Смягчение рисков | 493 |
| Критические технические требования..... | 493 |
| 12.3. Анализ функционирования и проектирование | 493 |
| Модульная конфигурация | 494 |
| Проектирование программного обеспечения..... | 495 |
| Проектирование пользовательского интерфейса | 496 |
| 12.4. Проектирование компонентов..... | 497 |
| Предварительное проектирование | 498 |
| Детальное проектирование | 499 |
| Автоматизированное проектирование | 500 |
| Надежность..... | 503 |
| Ремонтопригодность | 507 |
| Готовность..... | 509 |
| Технологичность..... | 510 |
| Управление риском | 511 |
| 12.5. Валидация проектных решений..... | 511 |
| Планирование испытаний..... | 511 |
| Изготовление компонентов..... | 512 |
| Стендовые испытания..... | 513 |
| Оценочные испытания..... | 514 |
| Испытательное оборудование..... | 516 |
| Роль системной инженерии | 517 |
| 12.6. Управление конфигурацией..... | 517 |
| Элементы конфигурации..... | 517 |
| Исходные конфигурации..... | 518 |
| Управление интерфейсами..... | 519 |
| Управление изменениями..... | 519 |
| 12.7. Резюме..... | 520 |
| Реализация составных частей системы | 520 |
| Анализ требований..... | 520 |

| | |
|--|-----|
| Анализ функционирования и проектирование | 520 |
| Проектирование компонентов..... | 521 |
| Валидация проектных решений..... | 522 |
| Управление конфигурацией | 522 |
| Задачи..... | 522 |
| Дополнительная литература | 523 |

Глава 13

Комплексирование и аттестация 525

| | |
|---|-----|
| 13.1. Комплексирование, испытания и аттестация системы в целом..... | 525 |
| Место этапа комплексирования и аттестации | |
| в жизненном цикле системы | 526 |
| Состояние материализации проекта..... | 529 |
| Метод системной инженерии | |
| на этапе комплексирования и аттестации | 531 |
| 13.2. Планирование и подготовка испытаний | 532 |
| Генеральный план испытаний и аттестации | 532 |
| Аналогия между планированием испытаний и аттестации | |
| и разработкой системы..... | 533 |
| Анализ требований к системе..... | 533 |
| Ключевые вопросы..... | 534 |
| Проектирование испытательного оборудования..... | 535 |
| Планирование комплексных испытаний..... | 536 |
| Планирование доводочных испытаний системы | 536 |
| Планирование натурных испытаний..... | 537 |
| 13.3. Комплексирование системы..... | 537 |
| Физическая схема испытательной установки | 538 |
| Комплексирование подсистемы | 540 |
| Комплексирование системы в целом | 544 |
| 13.4. Доводочные испытания системы | 545 |
| Цели испытания системы..... | 545 |
| Планирование доводочных испытаний | 546 |
| Схема проведения испытаний системы | 547 |
| Разработка сценариев испытания | 548 |
| Модель функционирования системы..... | 548 |
| Опытный образец..... | 549 |
| Проведение испытаний системы..... | 549 |
| Анализ и оценка результатов испытаний..... | 551 |
| Рассмотрение отклонений от расчетных показателей | |
| функционирования системы | 551 |
| 13.5. Натурные испытания и аттестация..... | 552 |
| Цели натурных испытаний..... | 552 |
| Планирование и подготовка испытаний | 555 |
| Подготовка персонала..... | 557 |

| | |
|---|-----|
| Испытательное оборудование и установки | 557 |
| Проведение испытаний..... | 558 |
| Анализ и оценка результатов испытаний..... | 559 |
| Отчеты об испытаниях | 560 |
| 13.6. Резюме..... | 560 |
| Комплексирование, испытания и аттестация системы в целом..... | 560 |
| Планирование и подготовка испытаний | 560 |
| Комплексирование системы..... | 561 |
| Доводочные испытания системы..... | 562 |
| Натурные испытания и аттестация..... | 562 |
| Задачи..... | 563 |
| Дополнительная литература | 564 |

ЧАСТЬ IV

Постразработческая стадия 565

Глава 14

Производство 566

| | |
|---|-----|
| 14.1. Системная инженерия на заводе..... | 566 |
| Место этапа производства в жизненном цикле системы..... | 567 |
| Состояние материализации проекта..... | 567 |
| 14.2. Проектирование с учетом производства | 568 |
| Параллельная инженерия на всем протяжении разработки системы..... | 569 |
| Учет вопросов развертывания при разработке системы | 571 |
| 14.3. Переход от разработки к производству | 572 |
| Смена руководства и участников..... | 572 |
| Проблемы в процессе перехода | 573 |
| Подготовка к производству..... | 574 |
| Управление конфигурацией на производстве..... | 575 |
| 14.4. Технологические операции | 576 |
| Планирование производства..... | 576 |
| Организация производства как сложная система | 577 |
| Производство компонентов | 579 |
| Приемочные испытания системы | 580 |
| Технология производства | 580 |
| 14.5. Приобретение знаний о производстве | 581 |
| Системно-инженерные знания о компонентах | 581 |
| Производственные процессы..... | 582 |
| 14.6. Резюме..... | 583 |
| Системная инженерия на заводе..... | 583 |
| Проектирование с учетом производства | 584 |
| Переход от разработки к производству | 584 |

| | |
|--|-----|
| Производственные операции | 585 |
| Приобретение знаний о производстве | 586 |
| Задачи..... | 586 |
| Дополнительная литература | 587 |

Глава 15

Эксплуатация и сопровождение 588

| | |
|--|-----|
| 15.1. Установка, техническое обслуживание и модернизация системы | 588 |
| Место этапа эксплуатации и сопровождения | |
| в жизненном цикле системы | 589 |
| Системная инженерия на этапе эксплуатации и сопровождения..... | 589 |
| 15.2. Ввод в эксплуатацию и проверка..... | 590 |
| Ввод системы в эксплуатацию..... | 590 |
| Ввод в эксплуатацию без прерывания работы..... | 593 |
| Ограничения на технические средства и персонал | 595 |
| Трудности первоначальной эксплуатации системы | 595 |
| 15.3. Сопровождение во время эксплуатации | 596 |
| Проверка готовности к эксплуатации..... | 596 |
| Типичные проблемы, возникающие в процессе эксплуатации..... | 596 |
| Обслуживание в полевых условиях | 598 |
| Плановое техническое обслуживание и доработка на месте | 598 |
| Серьезные аварии..... | 599 |
| Логистическое обеспечение | 599 |
| 15.4. Существенные изменения в системе: модернизация..... | 600 |
| Жизненный цикл при изменениях в системе..... | 601 |
| Модернизация программного обеспечения | 603 |
| Запланированное улучшение изделия..... | 604 |
| 15.5. Учет особенностей эксплуатации при разработке системы | 604 |
| Источники знаний об эксплуатации..... | 606 |
| Помощь со стороны производственного персонала | 607 |
| 15.6. Резюме | 607 |
| Установка, техническое обслуживание и модернизация системы | 607 |
| Ввод в эксплуатацию и проверка..... | 607 |
| Сопровождение во время эксплуатации | 608 |
| Существенные изменения в системе: модернизация..... | 608 |
| Учет особенностей эксплуатации при разработке системы | 608 |
| Задачи..... | 608 |
| Дополнительная литература | 609 |

Указатель..... 610

Список использованных сокращений 620