

Системная инженерия

Systems engineering

Основные темы курса

- Дисциплина СИ и роль системного инженера
- Понятие системы
- Понятие жизненного цикла*
- Стандарты
- Моделеориентированная СИ
- Практики определения системы
- Практики воплощения системы
- Системы систем. Организационная инженерия
- Инженерный менеджмент*

Определения

История

ПОНЯТИЕ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

Определения

Понимание определений

Элементы / понятия СИ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

Определения СИ – официальные

- International Council on Systems Engineering, INCOSE :
Междисциплинарный подход и средства для обеспечения реализации успешных систем (см. Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge, SEBOK).
 - Системная инженерия нацелена на целостное и согласованное понимание потребностей заинтересованных сторон;
исследование возможностей; документирование требований;
синтез, верификацию, валидацию и развитие решений при рассмотрении задачи во всей полноте, от исследования замысла системы до её ликвидации
- ISO/IEC/IEEE 24765:2010: Междисциплинарный подход, определяющий полный набор технических и управленческих усилий, необходимых для преобразования совокупности потребностей и ожиданий клиента и имеющихся ограничений в решение для поддержки этого решения на протяжении его жизни

Определения СИ – длинное

- СИ фокусируется на:
 - **Целостном и одновременном (параллельном)** понимании нужд стейкхолдеров
 - Исследованиям возможностей
 - Документированию требований
 - и синтезированию, проверке, приёмке и постепенном появлении инженерных решений, в то время как в расчёт принимается полная проблема, от исследования концепции системы до вывода системы из эксплуатации

Определения СИ – авторские

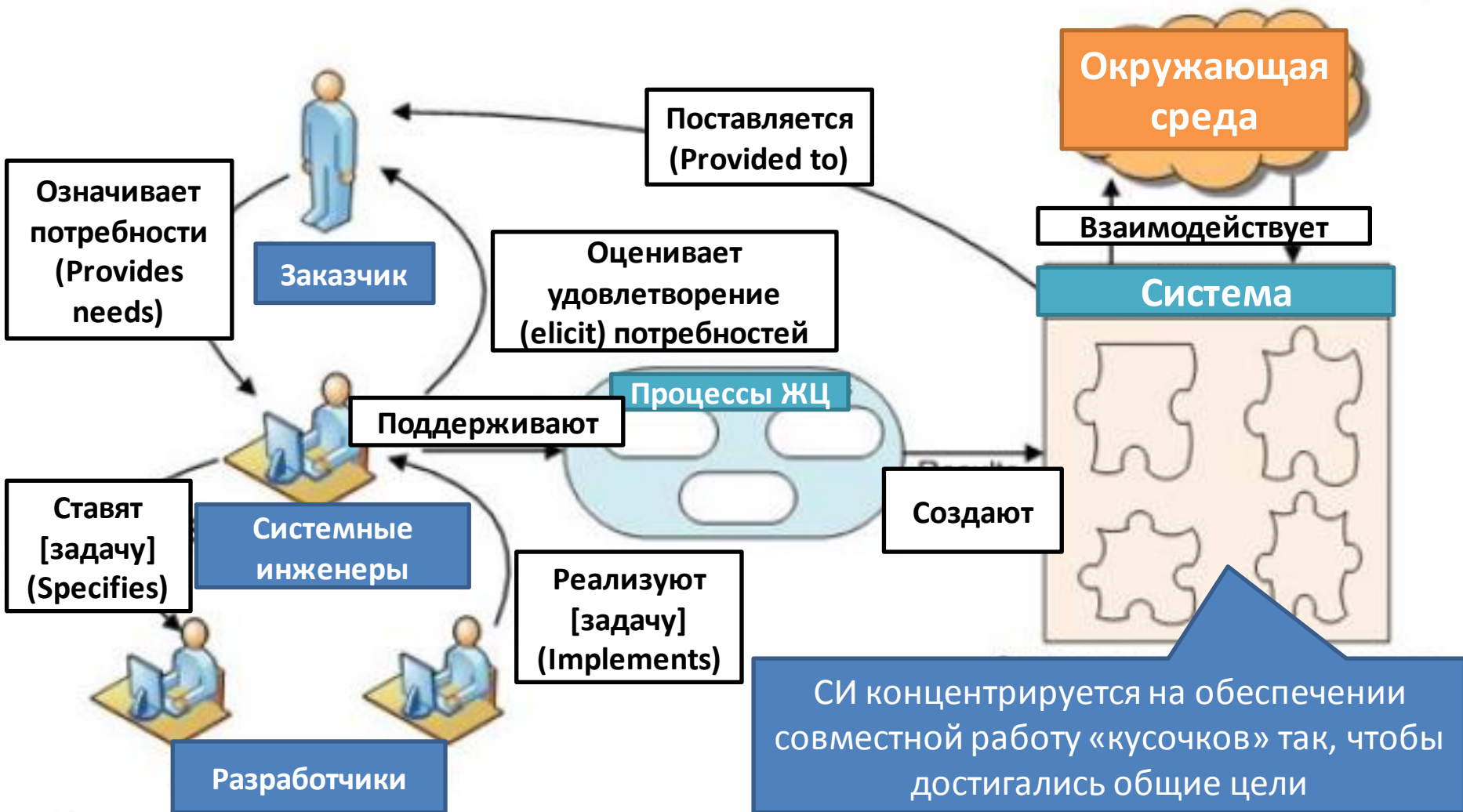
- Sage A.P. ... проектирование, производство и сопровождение **заслуживающих доверия систем** с учетом стоимостных и временных ограничений
- Д. Хитчинс, бывший президент, INCOSE ... искусство и наука создания **эффективных систем** на основе целостного подхода к системе и принципам её жизни
- А. И. Левенчук , президент российского отделения INCOSE ... это про то, как создать что угодно (от зубочистки до марсохода) в соответствии с требованиями заказчика, и при этом соблюсти бюджет и сроки
- Н. П. Бусленко, Большая советская энциклопедия, 1976 ...научно-техническая дисциплина, охватывающая вопросы проектирования, создания, испытания и эксплуатации сложных систем (больших систем, большого масштаба, large scale systems)

Какая-какая система?

- Система **успешна** тогда и только тогда, когда с ее помощью добиваются успеха все ключевые стейкхолдеры (Д. Хитчинс)
- Система будет **успешной** тогда и только тогда, когда в выигрыше окажутся все критически важные стейкхолдеры (Б. Боэм)

Успешная, эффективная, заслуживающая доверия...

Элементы СИ – 1/5



Элементы СИ – 2/5

- Система описывается, кроме прочего, с помощью «принципов» (principles) и «концепций» (concepts). При этом система представляет собой набор элементов, взаимодействующих для достижения заданных целей. Элементами системы могут быть:
 - «Железо» (hardware – не только компьютеры!), ПО, firmware
 - Люди (не только пользователи!)
 - Информация (включая метаинформацию, например, структуры БД)
 - «Техники» (techniques)
 - Здания, помещения и другая инфраструктура (facilities)
 - Сервисы (services)
 - Etc.

Элементы СИ – 3/5

- Система взаимодействует с окружающей средой, которая может представлять собой:
 - Другие системы
 - Пользователей
 - Физический окружающий мир
- Системный инженер – человек или роль – поддерживает междисциплинарный подход (0_0). Конкретно, среди прочего, системные инженеры переводят потребности заказчика в задания исполнителям и помогают оценивать соответствие результатов разработки этим потребностям

Элементы СИ – 4/5

- Для обеспечения реализации успешных систем, системные инженеры поддерживают выполнение процессов ЖЦ начиная с раннего этапа концептуального принятия решений (conceptual design) и продолжая на всем ЖЦ системы, включая производство, развертывание/внедрение (deployment) эксплуатацию и вывод из нее. Системный инженер должен анализировать, составлять ТЗ (specify), разрабатывать архитектуру (design) и проверять на соответствие потребностям характеристики системы:
 - Функциональность
 - Интерфейсы
 - Производительность
 - Физические
 - Etc.

Также должен соблюдаться баланс между ценой и соответствием потребностям

Элементы СИ – 5/5

- Системный инженер помогает обеспечить взаимодействие элементов системы (fit together) для достижения общих целей системы, а также удовлетворения потребностей заказчиков и других stakeholders, которые получают (принимают, acquire) и далее используют систему

Практические выводы из определений – 1/2

- Где? Когда? Область деятельности
 - Большие (сложные) системы
 - Весь жизненный цикл
- Как (в целом)? Философия, мировоззрение:
 - Системный взгляд (на все!)
- Каким образом?
 - Совокупность практик, процессов, методов

Практические выводы из определений – 2/2

- Целостность (holistic) — это ключевое, что отличает СИ от всех остальных инженерных дисциплин. Она включает:
 - «Междисциплинарность» – полнота охвата всех дисциплин
 - Целостность всех действий по созданию системы
 - Целостность/полнота проблемы
 - Охват всего жизненного цикла системы «от рождения до смерти»
- Параллельность выполнения самых разных практик, а не последовательное выполнение их во времени, как можно было бы подумать, прочитав перечисление практик
- Отметить для дальнейшего:
 - Различение нужд пользователей и требований
 - Различение проверки и приёмки
 - Упор на синтез для противопоставления «аналитическим» дисциплинам

ИСТОРИЯ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

Мир (США) – в начале было слово МО США

- Легенда:
 - СИ впервые появилась как метод ведения работ в МО США, когда нужно было создать МБРЛ на базе двух уже сверхсложных инженерных проектов: атомного проекта и проекта создания баллистических ракет

Мир (США) – факты – 1/2

- 1940-е (WWII):
 - Появление очень сложных проектов: морские операции на Тихом океане, ядерный проект
- 1950-е – 1960-е:
 - Увеличение числа сложных проектов: например, космический проект
 - Появление первых работ, описывающих подходы к созданию сложных систем

Мир (США) – факты – 2/2

- 1965 – А. Д. Холл Методология системной инженерии :
 - Системная инженерия многоаспектна
 - Цель процесса СИ является оптимальное проведение границ между человеческими интересами, системой и её окружением. В окружении выделяются
 - Физическое и техническое окружение
 - Деловое и экономическое окружение
 - Социальное окружение
 - СИ исследует потребности, учитывая потребности рынка и возможность изменения этих потребностей как в настоящем, так и в будущем

СССР – история – 1/2

- 1920 – План ГОЭЛРО, описывавший развитие электроэнергетики. К плану были привязаны:
 - Проекты по индустриализации
 - Проекты по развитию инфраструктуры
 - Планы развития территорийРазмеры:
 - В разработке участвовало более 200 учёных и инженеров
 - Период от 10 до 15 лет
- 1962 – появляется термин «Системотехника» в переводе книги «System Engineering: An Introduction to the Design of Large-scale Systems»

СССР – история – 2/2

- 1960-1980:
 - Создается научная школа системотехники, включая НИИ, кафедры и дисциплины в ВУЗах
 - Ведутся работы по выполнению больших и сверхбольших проектов

Системотехника 80-х

- За:
 - Научная школа
 - Общение специалистов: специализированные издания, публикации
 - Подготовка специалистов
- Против:
 - Свелась к разработке ПО для АСУ
 - Отделилась от управления производством / разработкой / внедрением

Поколения СИ – реальные – 1/3

- Классическая системная инженерия
 - Использование диаграмм
 - Предназначено для чтения и интерпретации только людьми, описание системы нельзя формально проверить
- Системная инженерия на основе моделей (model-based systems engineering)
 - Использование логических (структурных) и физических (числовых) формальных моделей
 - Модели могут быть непосредственно обработаны (проверены, оптимизированы) компьютером
 - Позволяет достигать принципиально другой сложности целевых систем
 - Виды моделей:
 - Численные физические модели
 - «Логические» модели, использующие аппарат дискретной математики
 - Алгоритмические модели на языках программирования

Поколения СИ – будущее – 2/3

- Поискориентированная системная инженерия (search-based systems engineering)
 - Компьютерный поиск требований, архитектуры, тестов — это и есть следующее поколение системной инженерии. Для этого нужно:
 - Искусственное инженерное воображение – генерация [всё более и более подходящих] вариантов инженерных решений
 - Искусственный инженерный вкус (умение оценить эти варианты)
 - При этом:
 - Используются гибридные (численные + логические) выводы/вычисления
 - Целевая система описывается как структура [системы] и численные параметры (физические свойства)
 - Сейчас существует только search-based software engineering (SBSE, термин появился в 2001 году)

Поколения СИ – будущее – 3/3

- Вычисление оптимальных технических решений
 - Цели и контракты (исследовательский проект DANSE)
 - Цели и контракты формально описываются
 - Выполняется синтез и оптимизация архитектуры, им соответствующей
 - Искусственное воображение
 - Использует методы ИИ (например, вариации «генетических алгоритмов» или «обучаемых нейронных сетей»)
 - Порождающее проектирование (generative design)
 - Пока больше используется для визуализации данных, но может быть применено для вычисления оптимальной формы устройств
 - Теоретически, используемые подходы могут быть использованы и для создания проектов систем

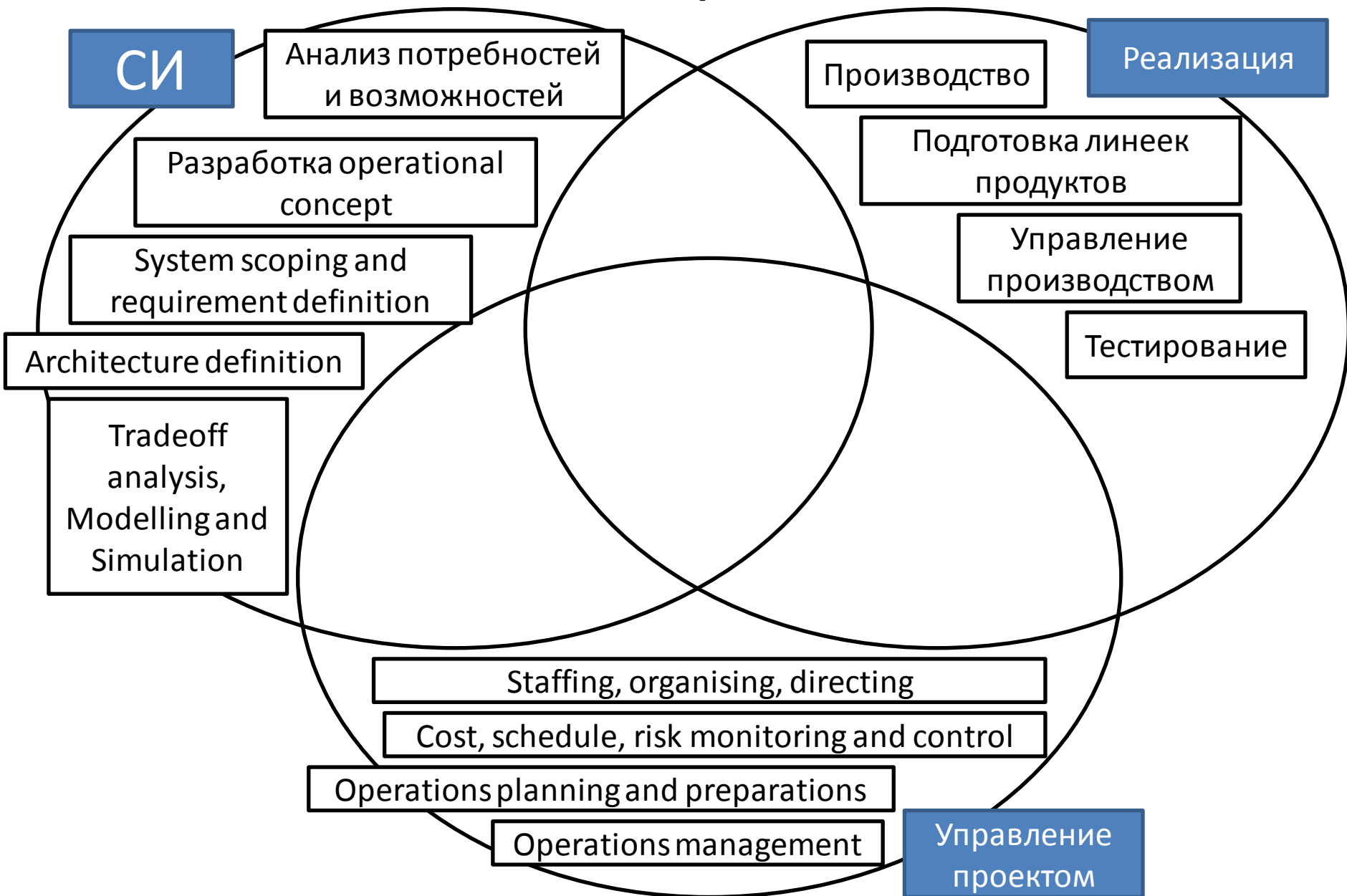
Отличия от инженерии по
специальностям и инженерного
менеджмента

РОЛЬ И МЕСТО

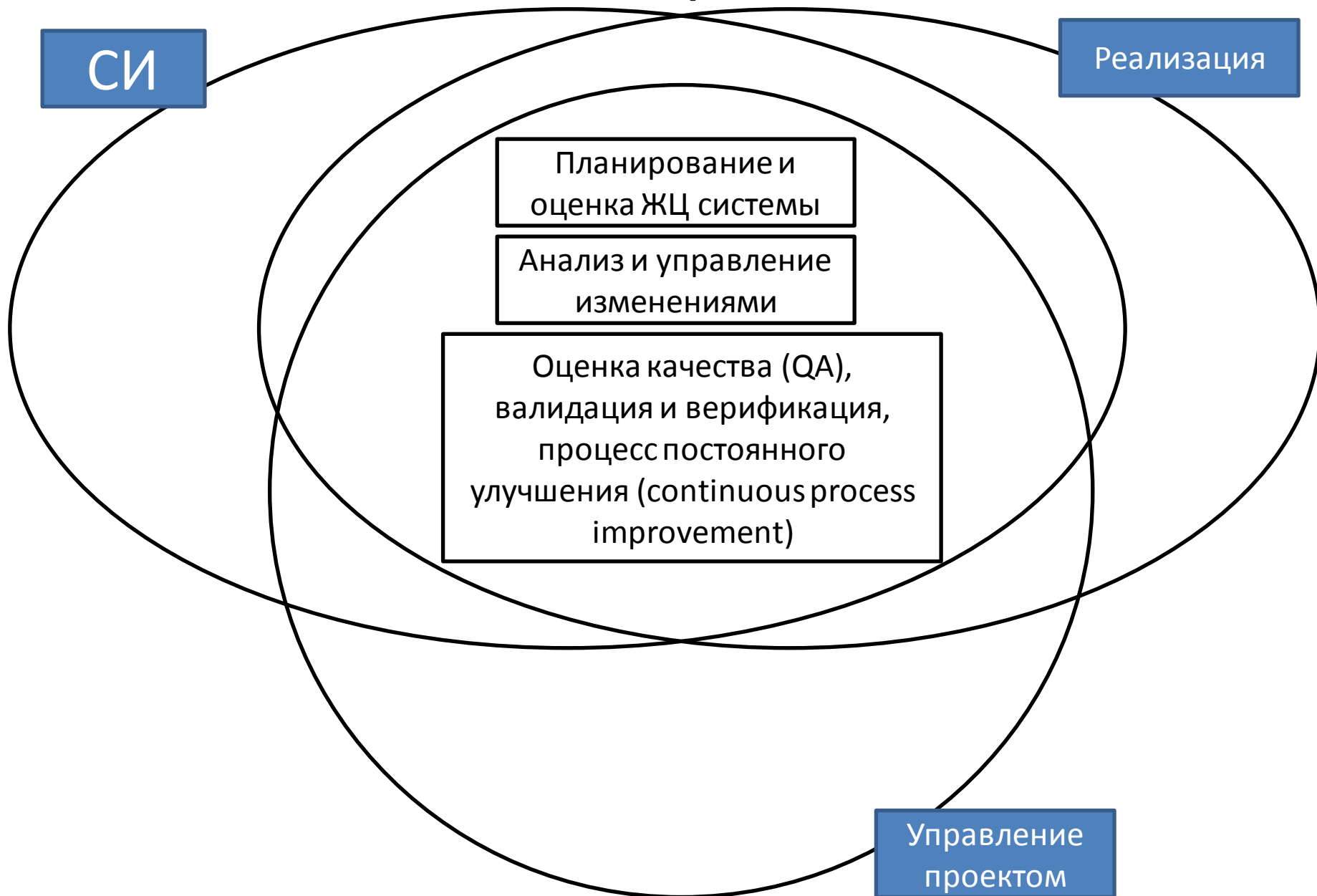
Область применения

- В СИ входит не все, относящееся к инженерной деятельности и управлению системой. Отметим, что СИ только **делает возможным** воплощение успешной системы, но если на воплощение влияет что-то вне СИ (например, производство), что будет плохо управляться или выполняться, то СИ не сможет **обеспечить** воплощение.

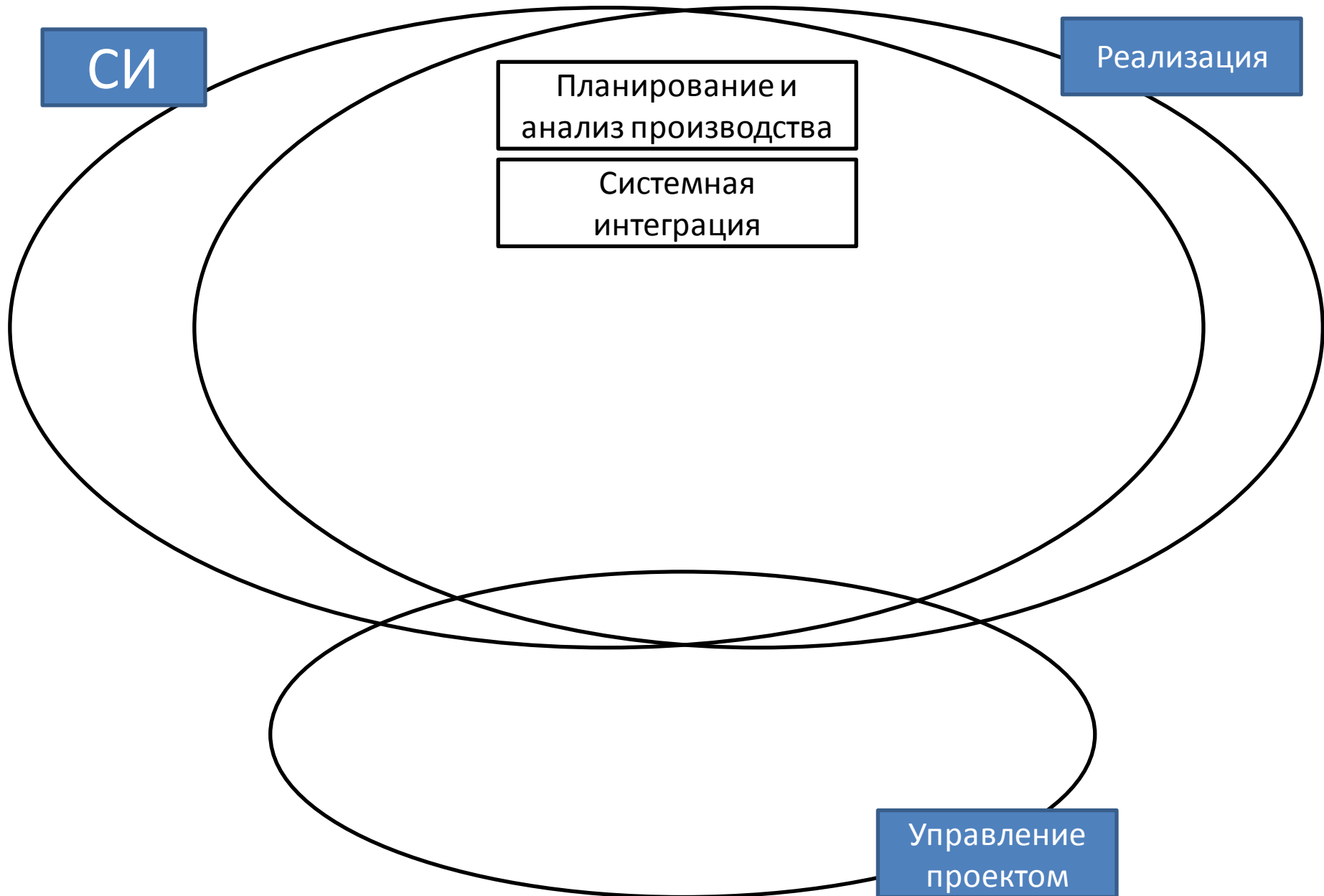
Роль и место – различия – 1/5



Роль и место – пересечения – 2/5



Роль и место – пересечения – 3/5



СИ

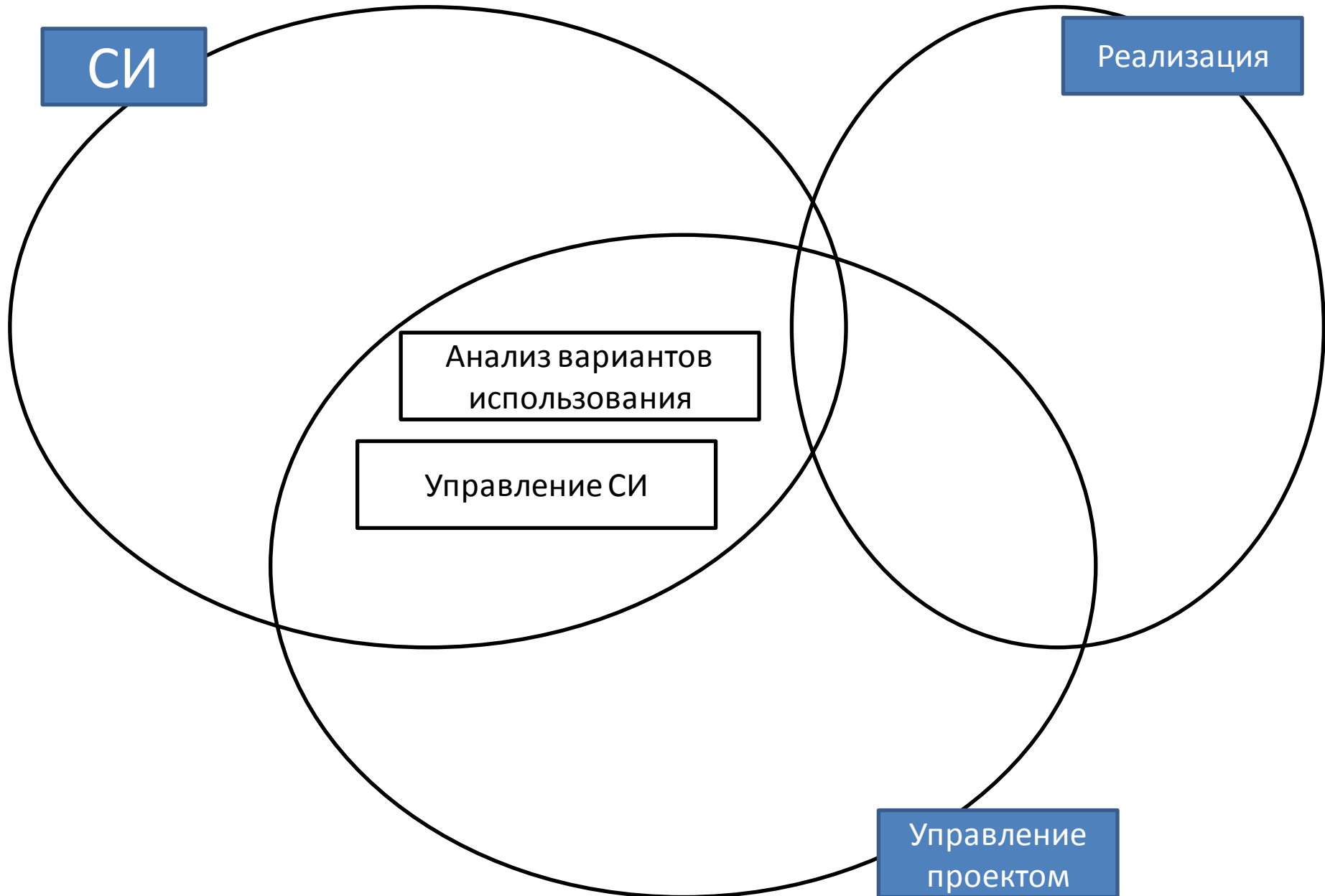
Реализация

Планирование и
анализ производства

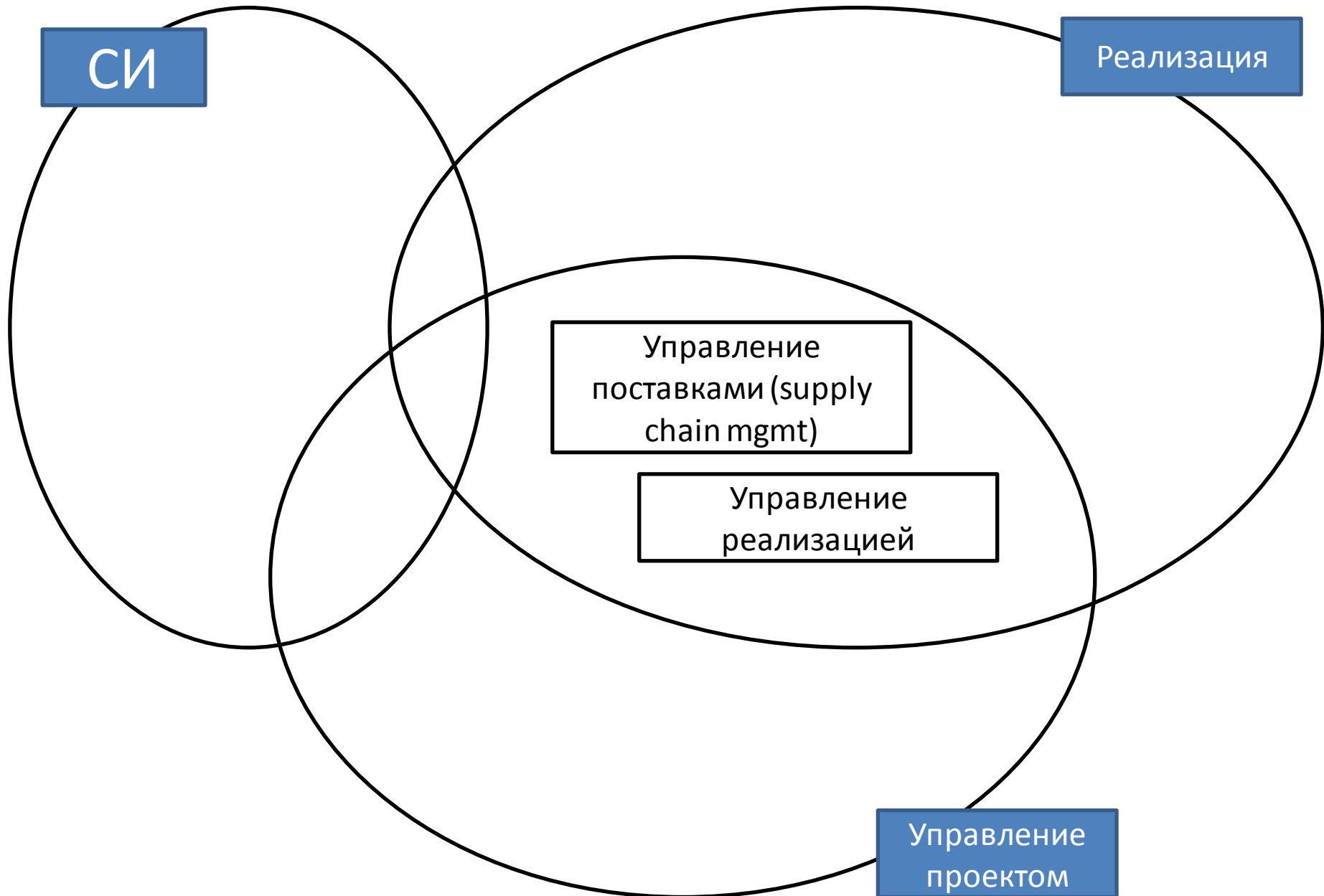
Системная
интеграция

Управление
проектом

Роль и место – пересечения – 4/5



Роль и место – пересечения – 5/5



Сисадмин

Инженер

Программист

Менеджер

СИСТЕМНЫЙ ИНЖЕНЕР – КТО ОН?

Инженерия вообще – 1/4

- Энциклопедия британника: Инженерия (= инженерное дело) – область технической деятельности, включающая в себя целый ряд специализированных областей и дисциплин, направленная на практическое приложение и применение научных, экономических, социальных и практических знаний с целью обращения природных ресурсов на пользу человека
- Основные виды инженерно-технической деятельности:
 - Исследовательская
 - Конструкторская (проектная)
 - Технологическая (производственная)

Инженерия вообще – 2/4



Инженерия вообще – 3/4

- Инженерная специализация ... определяется по виду целевой инженерной системы. Различают инженерии:
 - Аэрокосмическую
 - Сельскохозяйственную
 - Автомобильную
 - Биоинженерию
 - Программную
 - Инженерию предприятия
 - Инженерию управляющих систем
 - Строительную
 - Химическую
 - Пожарную
 - Горную
 - Механотронику
 - Атомную инженерию

Инженерия вообще – 4/4

- Инженерные специализации находятся в границах «отраслей» (industry). Границы отраслей и сам принцип отраслевого деления сегодня размыты → Сейчас говорят о «промышленностях» или даже «строениях»:
 - Тяжёлое машиностроение (включая энергомашиностроение и металлургию)
 - Точное машиностроение
 - Среднее машиностроение (включая автомобилестроение, тракторостроение, станкостроение etc.)
- И эти деления устаревают → говорят об эко-системах (business eco-system), собирающихся вокруг целевых систем или сервисов
 - В эко-системах можно найти много самых разных инженерий по специальности. Например ПИ занимаются и в эко-системе мобильной связи, и в эко-системе атомной электроэнергетики

Инженерия vs СИ

	Инженерия	СИ
Куда «растет» инженер	Специализация	Генерализация
Методы работы с большими системами	Основаны на опыте работы с однотипными системами	Общие подходы: специальные средства мышления о целостности целевой системы
Количество специалистов в проекте	Представители десятков (или даже сотен) специальностей	Команда системных инженеров

Сисадмин vs Системный инженер

- В РФ под системным инженером понимают системного администратора

Сколько же стоит? У нас

- Системный администратор
(~50000 руб.)
- Системный аналитик (уже лучше) – специалист по решению сложных организационно-технических проблем, имеющих междисциплинарную природу, использующий принципы общей теории систем и методы системного анализа
(~75000 руб.)
- Менеджер проекта – IT project manager
(50000-70000 руб.)

Сколько же стоит? Не у нас

- Источник: <http://www.payscale.com>
- Senior Systems engineer
(\$77,783 - \$144,392)
- Systems engineer, IT
(\$49,745 - \$112,624)
- Systems analyst
(\$42,745 - \$96,169)
- Systems administrator
(\$40,109 - \$86,786)

МАТЕРИАЛЫ ПО СИ

Книги на русском

- Батоврин В. К. Толковый словарь по системной и программной инженерии. — М.: ДМК Пресс. — 2012 г. — 280 с. ISBN 978-5-94074-94074-818-2
- Лоусон, Гарольд «Бад». Путешествие по системному ландшафту / Пер. с англ. В. Батоврин. — М.: ДМК Пресс — 2013. ISBN 978-5-94074-923-3
- Косяков А., Свит У., Сеймур С., Бимер С. Системная инженерия. Принципы и практика / Пер. с англ. В. Батоврин. — М.: ДМК Пресс, 2014. — 636 с.
- Шамие Кетлин. Системная инженерия для «чайников»: ограниченная серия от IBM. — John Wiley & Sons, Inc., 2014. — 69 с. (NB! Скачивается официально)

Интернет ресурсы

- На английском
 - INCOSE (International Council on Systems Engineering) <http://www.incose.org>
 - The Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK) <http://www.sebokwiki.org>
- На русском языке
 - Systems Engineering Thinking Wiki <http://sewiki.ru>
 - Российское отделение INCOSE <http://incose-ru.livejournal.com>
 - А. И. Левенчук , президент/директор по исследованиям Российского отделения INCOSE <http://ailev.livejournal.com>
 - А. И. Левенчук . Системноинженерное мышление http://techinvestlab.ru/files/systems_engineering_thinking/thinking_2015.pdf
 - В. Мизгулин. Системная инженерия требований <http://urse.ru/wp-content/uploads/2017/02/Системная-инженерия-требований.pdf>