



Системная инженерия

Становление дисциплины и перспективы развития

Батоврин В.К.

Москва - 2019

1. Становление и эволюция системной инженерии за рубежом и в нашей стране
2. Основания системной инженерии – концепции, принципы, метод
3. Системная инженерия и управление
4. Перспективы развития системной инженерии
5. Заключение

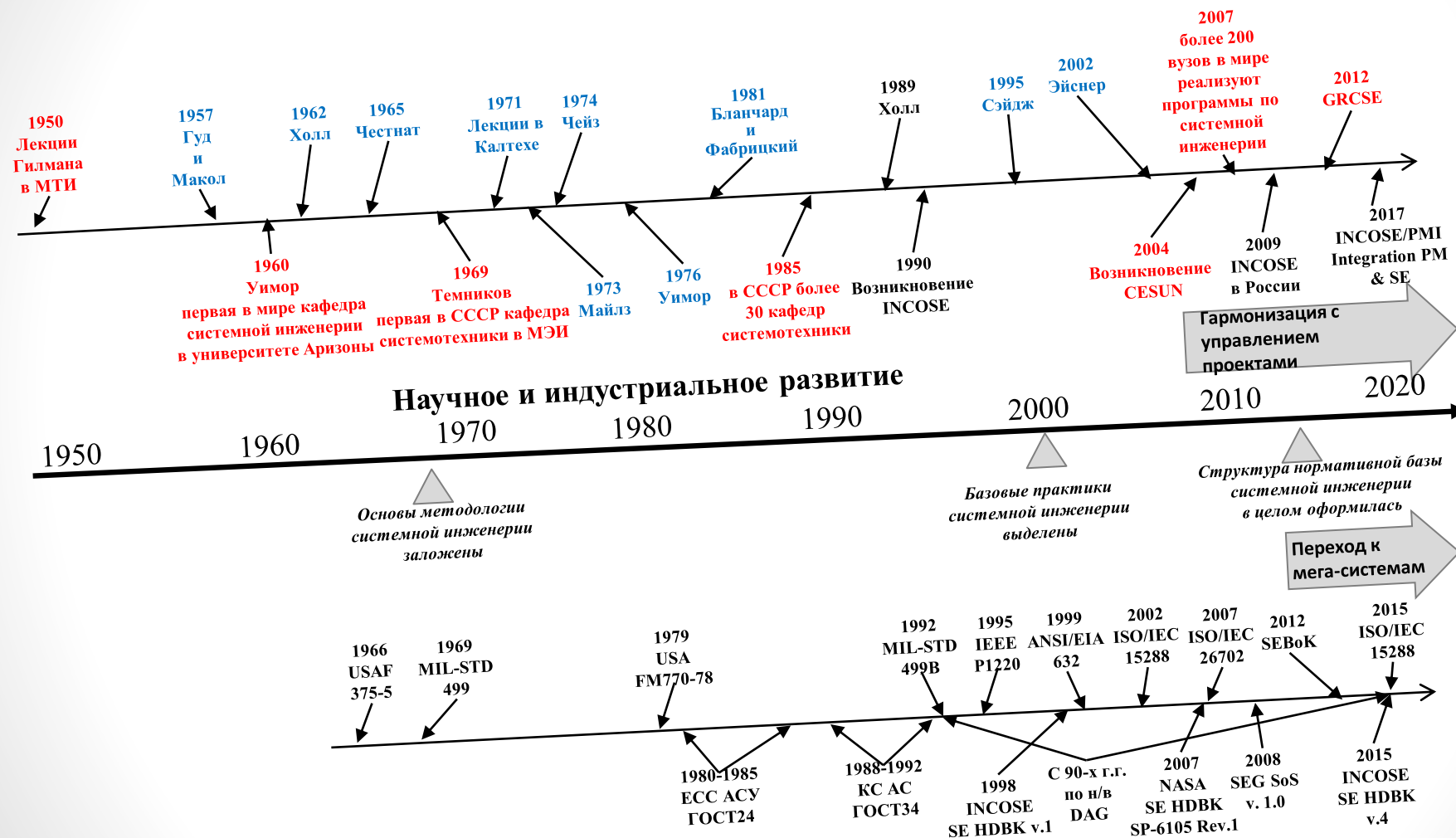
ПЛАН ВЫСТУПЛЕНИЯ

СТАНОВЛЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ ЗА РУБЕЖОМ

Появление системной инженерии

- Рост масштабов и усложнение способов организации человеческой деятельности по созданию инженерных объектов, повышение степени ответственности за её 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**
- Термин системная инженерия (Systems Engineering) стал впервые использоваться в корпорации Bell Labs в 40-х годах XX века (*Booton R., Ramo, S., The Development of Systems Engineering IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol AES-20, No. 4, July 1984*)
- С конца 50-х г.г. XX века системная инженерия развивается в качестве самостоятельной дисциплины

Системная инженерия. Некоторые вехи

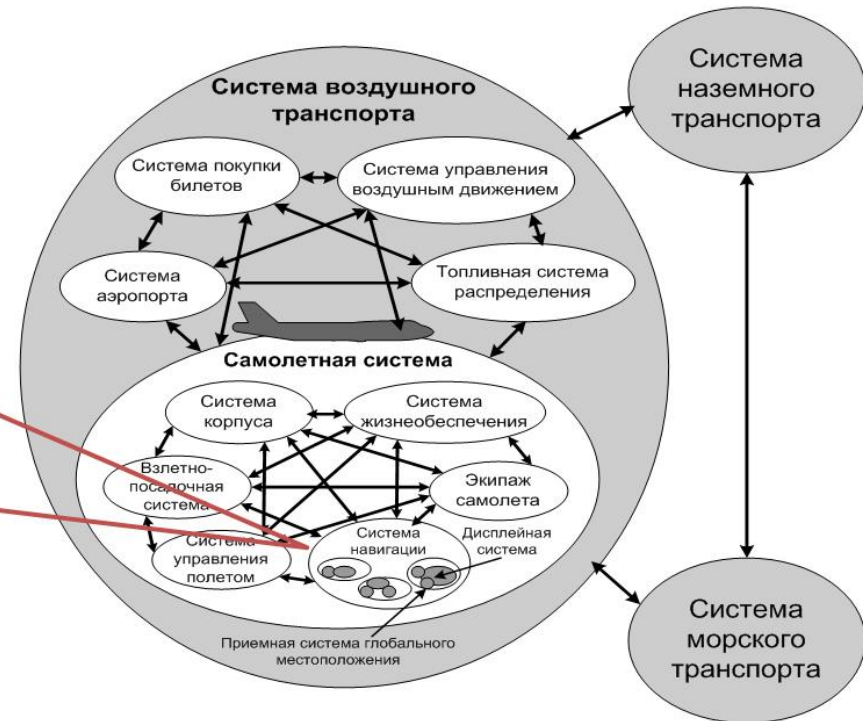
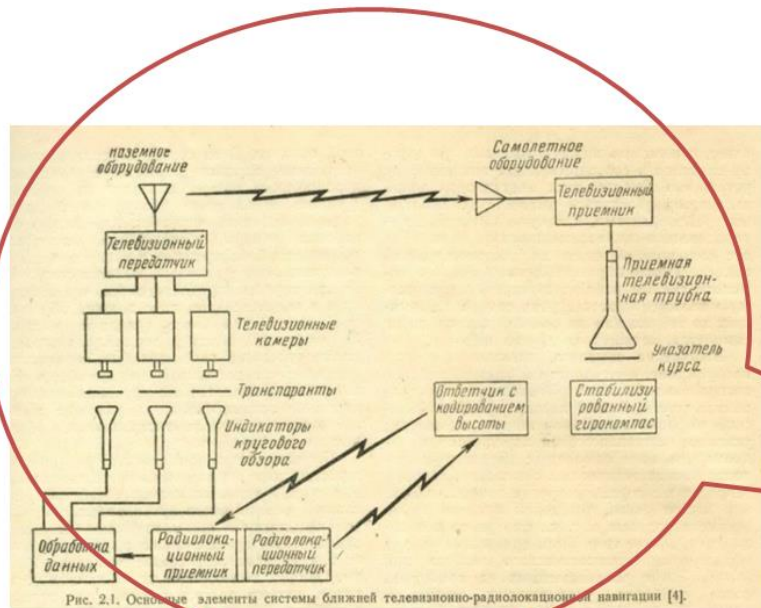


Системная инженерия по Г.Х. Гуду и Р.Э. Маколу

- Авторы одной из первых монографий по системной инженерии «Системотехника. Введение в проектирование больших систем» (Harry H. Good, Robert E. Machol Systems Engineering. An Introduction to the Design of Large-Scale Systems, 1957 г.) понимали под системной инженерией системный метод проектирования технического оборудования
- В качестве основной проблемы, стоящей перед инженерами, называлась сложность создаваемых систем
- В качестве инструментов борьбы со сложностью предлагались:
 - бригадный метод работы;
 - комплексный подход к проектированию с выделением внешнего (рассмотрение системы в целом в её окружении) и внутреннего проектирования (моделирование и проектирование составных частей системы)
 - использование электронных цифровых вычислительных систем



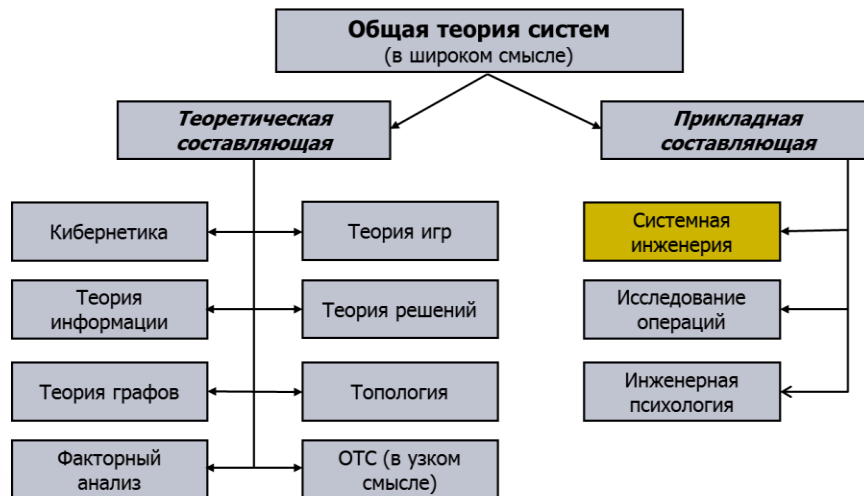
Сравнение сложности систем



Harry H. Good, Robert E. Machol
System Engineering. An introduction to the design of
large-scale systems

ISO/IEC/IEEE 24748-1:2018

Системная инженерия по Л. фон Берталанфи



- Основатель современной науки о системах Л. фон Берталанфи выделил системную инженерию в качестве прикладной составляющей общей теории систем:

- **Системная инженерия** (Systems Engineering), то есть научное планирование, проектирование, оценка и конструирование систем человек – машина
- **Исследование операций** (Operations research), то есть научное управление существующими системами людей, машин, материалов, денег и т. д.
- **Инженерная психология** (Human Engineering), то есть анализ приспособления систем и прежде всего машинных систем, для достижения максимума эффективности при минимуме денежных и иных затрат

Источник: Bertalanffy L. von. General System Theory – A Critical Review // General Systems. Vol. VII. 1962. P. 1–20

Методология системной инженерии

А.Холла

А. Холл (1962 г.)

- Методология системной инженерии есть организованная творческая технология
- Системная инженерия многоаспектна, и это должно быть обязательно отражено при определении её предмета.
- В основе деятельности системного инженера лежит понимание, что целью его деятельности является оптимальное проведение функциональных границ между человеческими интересами, системой и её окружением. В самом же окружении выделяются три главных составных части:
 - *Физическое и техническое окружение*
 - *Деловое и экономическое окружение*
 - *Социальное окружение*
- Системная инженерия уделяет первостепенное внимание исследованию потребностей, в основе которого лежит использование передовых экономических теорий, учет потребностей рынка и возможность изменения этих потребностей как сейчас, так и в будущем



Ядро методологии системной инженерии

- По мере развития в качестве важнейших составляющих методологии системной инженерии, в частности, выделились :
 - системный подход (1971 г., Калифорнийский технологический институт, Ч. Черчмен, Р. Говард, Р. Макол, Р. Майлс, С. Рамо и другие)
 - интеграционный подход (1976 г., В. Чейз и И. Уимор)
 - подход жизненного цикла, (1981 г., Б. Бланчард и В.Фабрицкий)
 - управленческий подход – (1992-1995 г.г., А. Сэйдж)

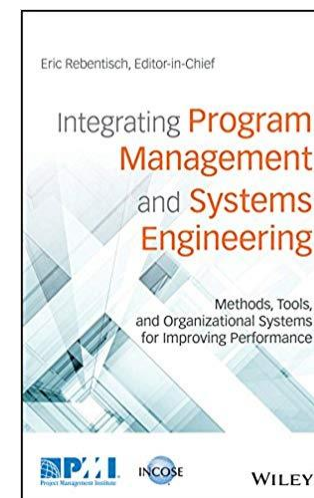
Системный подход как первооснова инженерной деятельности

- Весной 1971 года в Калтехе была прочитана серия лекций под общим названием системные концепции для частного и государственного секторов. Для чтения этих лекций были привлечены выдающиеся специалисты того времени - Ч. Черчмен, Р. Макол, Ф. Морс, С. Рамо и ряд других видных ученых
- В своей лекции С. Рамо указывал, что системный подход:
 - Является способом применения научного подхода к решению комплексных проблем в сфере инженерной деятельности
 - Держит в центре внимания оказываются анализ и проектирование системы в целом, а не её компонентов или частей
 - Предполагает рассмотрение проблемы в целом, при этом во внимание принимаются все её стороны и все имеющиеся возможности как в отношении социальных, так и технических аспектов
- В целом специалисты согласились тогда с тем, что системный подход в инженерной деятельности включает шесть основных элементов:
 1. Определение цели или описание проблем
 2. Разработка требований и критериев
 3. Синтез системы
 4. Анализ системы
 5. Выбор системы
 6. Реализация системы

Источники: Miles R. F., Systems Concepts. – Wiley, New York, 1973.
S. Ramo, R. St. Clair The Systems Approach: Fresh Solutions to Complex Civil Problems Through Combining Science and Practical Common Sense
Hardcover – KNI, Incorporated, Anaheim, California, 1998

Интеграционный подход

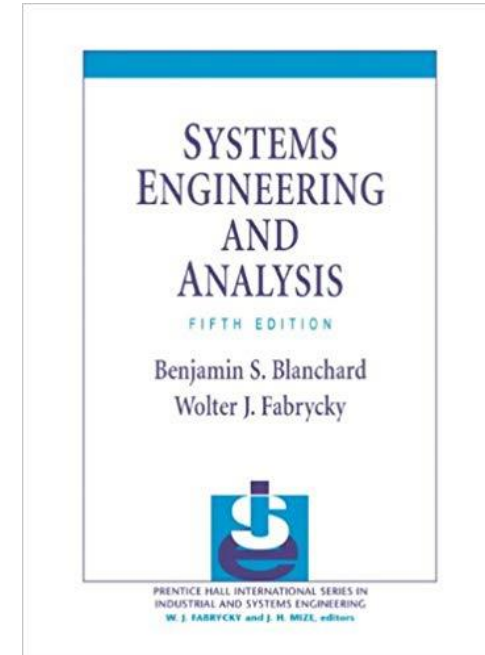
- Интеграционный подход предполагает рассмотрение системной инженерии, включая методы и инструменты, в качестве базового единого языка, способного сыграть роль основы при организации деятельности междисциплинарных команд, занятых разработкой, анализом и проектированием крупномасштабных, комплексных человеко-машинных систем
- Одним из первых проблему формирования единого языка для преодоления трудностей, возникающих при организации эффективного информационного обмена в процессе использования системных концепций и системного подхода, поставил **У. Чейз** (Wilton P. Chase)
- Развитие идей интеграционного подхода, когда методы и инструменты системной инженерии рассматриваются в качестве интеграционной основы командной инженерной деятельности, а междисциплинарная команда является ядром при осуществлении работ, связано с трудами **У. Уимора** (Wayne Wymore)
- Источники:
 - Chase W. P. Management of Systems Engineering. — Robert Krieger, Malabar, FL, 1974;
 - Wymore W. Systems Engineering Methodology for Interdisciplinary Teams. — Wiley, New York, 1976



Современное воплощение интеграционного подхода в изложении PMI и INCOSE

Подход жизненного цикла

- Подход ЖЦ ориентирован на использование парадигмы ЖЦ в качестве организационного ядра инженерной деятельности, что помогает при создании сложных инженерных объектов рассматривать все системные аспекты в их полноте и взаимосвязи
- Подход ЖЦ был определен в качестве фундаментальной основы практики системной инженерии Б. Бланчардом (B. Blanchard) и У. Фабрицким (W. Fabrycky) в 1981 году

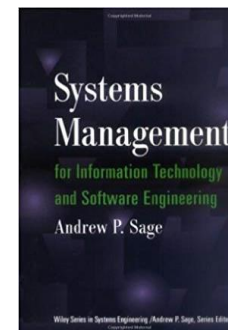


Управленческий подход

- Системная инженерия является технологией управления, сосредоточенной на контроле процессов полного ЖЦ с целью определения, разработки и применения экономически эффективных, высококачественных, надежных систем, отвечающих потребностям потребителя
- Источник:
 - A. Sage Systems Management for Information Technology and Software Engineering. — Wiley, New York, 1995



А. Сэйдж (Andrew Patrick Sage),
August 27, 1933- October 31, 2014 -
крупнейший мировой специалист в
области системной инженерии



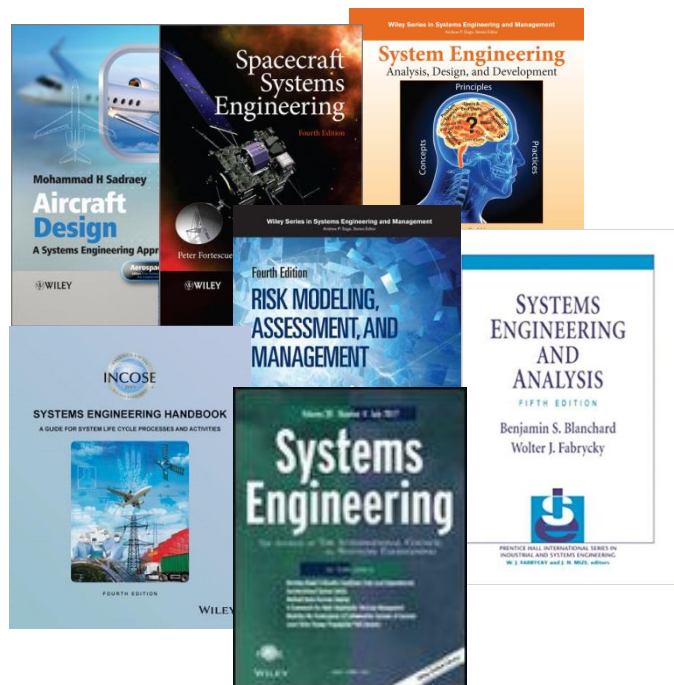
Международный совет по системной инженерии



- В начале 90-х г.г. был создан **Международный совет по системной инженерии** (International Council on Systems Engineering – INCOSE) - <https://www.incose.org>
- Сегодня в составе INCOSE около 11000 индивидуальных членов, 60 коллективных членов из различных стран, 30 рабочих групп (управление требованиями, управление рисками, управление затратами, архитектура систем, технологии жизненного цикла, верификация и валидация, стандарты и т.п.), а также 50 отделений, действующих по всему миру
- Среди ключевых партнеров INCOSE по профессиональной деятельности:
 - **Институт инженеров электротехники и электроники** (The Institute of Electrical and Electronics Engineer – IEEE)
 - **Группа по управлению объектами** (Object Management Group – OMG)
 - **Американский институт авионавтики и астронавтики** (American Institute of Aeronautics and Astronautics – AIAA)
 - **Национальная ассоциация оборонной промышленности США** (National Defense Industrial Association – NDIA)
- INCOSE поддерживает профессиональную деятельность и развитие в области системной инженерии, включая сеть обучения, повышения квалификации и сертификации специалистов
- С 2009 года в нашей стране функционирует Русское отделение INCOSE

Публикации по системной инженерии

- Ежегодно по тематике публикуются сотни книг, статей, отчетов и другой научно-технической литературы
- Одним из основных издателей литературы по системной инженерии сегодня является издательство Wiley, издающее серию книг «Systems Engineering & Management», а также журнал Systems Engineering
- Регулярно проводятся научные конференции по тематике системной инженерии или включающие эту тематику в качестве основного раздела



13th Annual System of Systems Engineering Conference

June, 19th-22nd, 2018
Sorbonne Universités
Paris, France

<http://sosengineering.org/2018>



The 12th Annual IEEE
Systems Co

Vancouver, Canada JW Marriott Parq Vancouver | April 23-26



Conference Theme:
"Systems of systems Management and Control:
Frontiers between cyber, physical and social systems"



2018
Annual **INCOSE**
International workshop
Jacksonville, FL, USA
January 20 - 23, 2018



Нормативное обеспечение системной инженерии

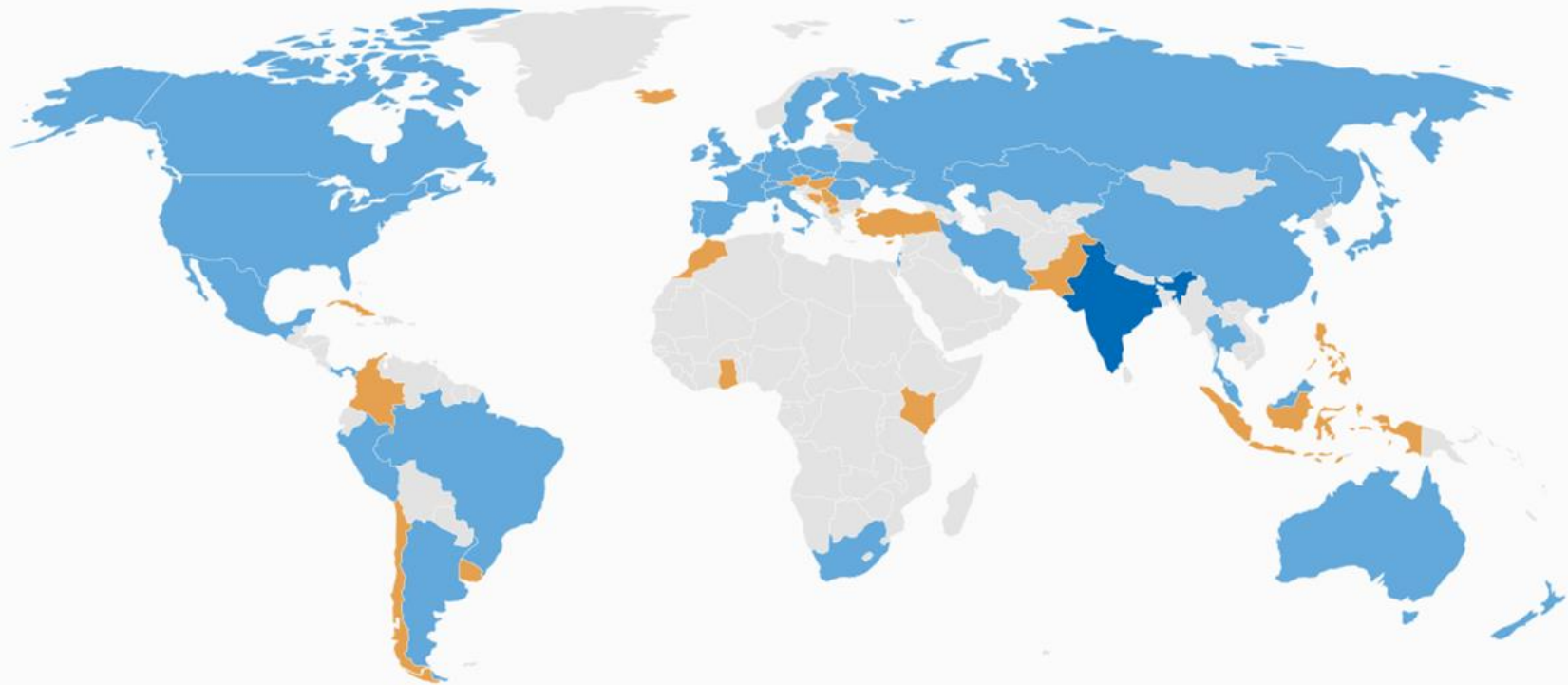


- Системная инженерия сформировала развитие нормативное обеспечение, включающее:
 - Официальные международные стандарты (JTC1 ISO/IEC);
 - Профессиональные стандарты и стандарты консорциумов (IEEE, EIA, ECSS, SAE)
 - Стандарты предприятий (NASA, FAA, Airbus, DoD)
- Общее количество актуальных нормативных документов в области системной инженерии приближается к 100
- Отечественная нормативная база в этой области только складывается

Деятельность ISO/IEC JTC1/SC7

ISO/IEC JTC 1/SC 7

Software and systems engineering



Secretariat ■

India - Bureau of Indian Standards (BIS)

Participating Members (38) ■

Observing Members (21) ■

Руководство к своду знаний



<http://www.bkcase.org>

- Начиная с 2009 года при поддержке [INCOS, IEEE Computer Society, Stevens Institute of Technology и Systems Engineering Research Center \(SERC\)](#) развивается проект по созданию Руководства к своду знаний по системной инженерии (Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK)) и Типового учебного плана по системной инженерии (Graduate Reference Curriculum for Systems Engineering (GRCSE®))
- Проект направлен на создание пригодного для практических нужд, общедоступного и авторитетного руководства, полностью охватывающего знания в области системной инженерии. По замыслу руководителей проекта это руководство должно стать основным источником информации как при подготовке кадров, так и для практики системной инженерии во всем мире
- В июне 2019 года опубликована версия SEBoK v.2.0



Guide to the
Systems Engineering Body of
Knowledge (SEBoK), version 1.3

Released May 30, 2014

Please note that this is a PDF extraction of the content from www.sebokonline.org



Graduate Reference Curriculum for
Systems Engineering (GRCSE™)

A product of the Body of Knowledge and Curriculum to Advance Systems
Engineering (BKCASE™) project



GRCSE™ version 1.1 November 2015

Copyright © 2015 The Systems of Systems Institute of Technology on behalf of the BKCASE
Board of Governors

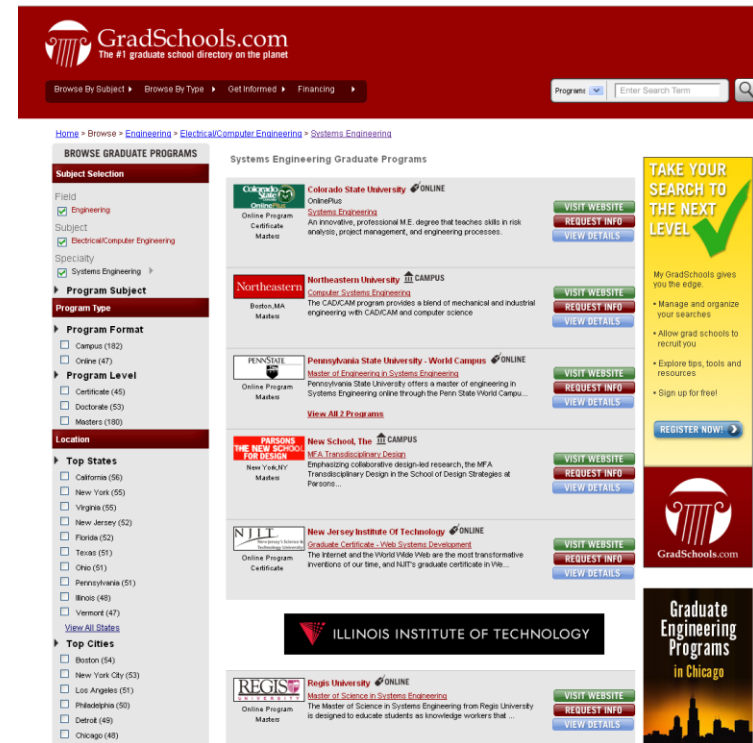
Совет университетов инженерных систем



- Повышение значимости системной инженерии, включая системный подход и системное мышление для инженеров, вызвало необходимость формирования новой академической среды, сосредоточенной на подготовке специалистов, способных создавать инженерные системы будущего
- Одним из шагов стало создание в 2004 году по инициативе Массачусетского технологического института Совета университетов инженерных систем (Council of Engineering Systems Universities – CESUN) - <http://cesun.mit.edu>
- Совет объединяет сегодня более 50 университетов из Северной Америки, Европы, Азии и Австралии, реализующих образовательные программы по инженерии систем и проводящих научные исследования в этой области

Подготовка кадров по системной инженерии

- Впервые курс системной инженерии был, вероятно, прочитан в Массачусетском технологическом институте в 1950 году тогдашним руководителем департамента системной инженерии корпорации Bell Labs Д. Гилменом (G. W. Gilman)
- В 1960 году проф. У. Уимор (W. Wymore) основал в университете Аризоны первую в мире кафедру системной инженерии, которая успешно работает до сегодняшнего дня
- В 1969 год проф. Ф.Е. Темников создал в МЭИ первую в СССР кафедру системотехники
- Программы подготовки по системной инженерии для дипломированных специалистов (Systems Engineering Graduate Programs) сегодня реализуются более чем в двухстах зарубежных вузах



<http://www.gradschools.com/search-programs/systems-engineering>

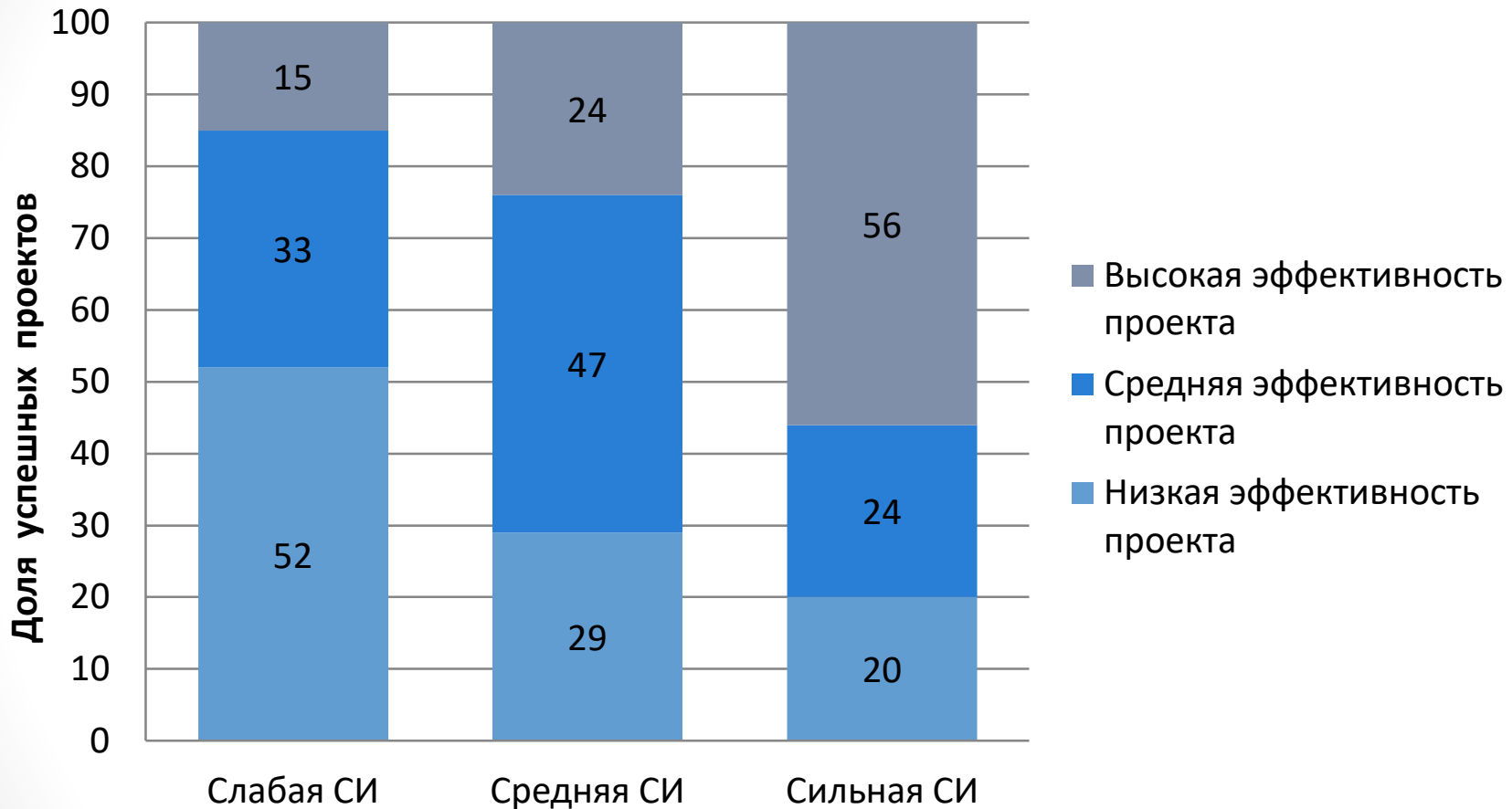
Некоторые партнеры MIT в реализации программ дополнительного образования по системной инженерии



Практика СИ в Hi-Tech компаниях

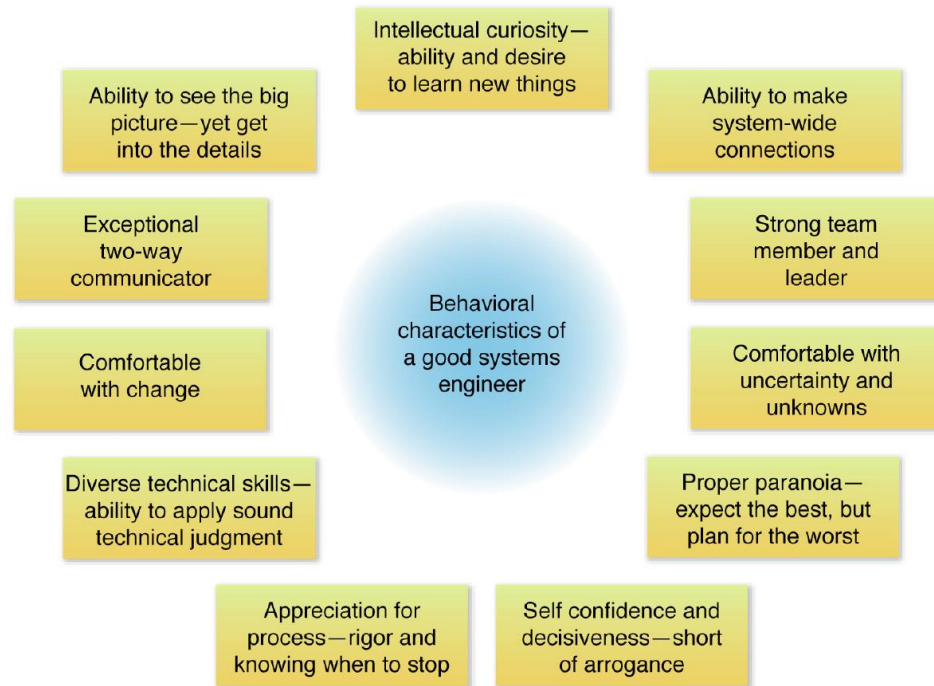
Программа	Характеристика	Уроки СИ
Инфракрасная система космического базирования Space Based Infrared Systems (SBIRS)	Комплексная космическая система раннего обнаружения пусков баллистических ракет для обнаружения запусков ракет противника, определения траектории их полёта, идентификации боевых частей и ложных целей, выдачи целеуказания для перехвата, а также ведения разведки над территорией военных действий в инфракрасном диапазоне. <u>Заказчик:</u> BVC США <u>Подрядчик:</u> Lockheed Martin	Удалось построить работоспособную космическую систему отличающуюся тем, что: • сложность космического аппарата, включая сложность фокальной плоскости антенных решеток и алгоритмов обработки сигналов сопровождения, оказалась гораздо выше, чем у аппарата предыдущего поколения DSP • внешние интерфейсы SBIRS гораздо сложнее тех, что использовались ранее на аппарате DSP • имела место высокая нестабильность требований особенно при переходе от разработки технологий к разработке системных решений и демонстрации их практической осуществимости. Главный источник нестабильности - изменение стратегии ПРО и соответствующие изменения тактико-технических требований • полномасштабная разработка была начата несмотря на то, что планировавшиеся к использованию технологии создания датчиков не были зрелыми • требовалось гарантировать высокое качество нового ПО полетов • имелись сложности в организации надзора и учета, как со стороны заказчика, так и со стороны подрядчика
Система высокоточного бомбометания Joint Direct Attack Munition (JDAM)	Повышение точности бомбометания, включая условия сильного ветра, плохой видимости, грозы и темного времени суток, путем использования «умных» бомб и системы глобального позиционирования GPS. <u>Заказчик:</u> BVC США и BMC США <u>Подрядчик:</u> Boeing	В основе успеха программы JDAM эффективная СИ и использование принципов управления программами. Основные результаты: (1) требования были хорошо определены до начала проектирования и оставались стабильными на протяжении всего этапа проектирования; (2) были использованы зрелые технологии; (3) было хорошо организовано управление сложностью внешних интерфейсов
Многофункциональный лёгкий истребитель четвёртого поколения F-16 Fighting Falcon	Улучшение возможностей по модернизации и продлению ЖЦ самолета <u>Заказчик:</u> BVC США <u>Подрядчик:</u> General Dynamics, позднее Lockheed Martin	Основной урок в том, что программа F-16 открыто, целенаправленно и непрерывно использует СИ для постепенного совершенствования системы вооружений.. В результате исходной, базовой системе вооружений воздух-воздух удалось придать дополнительные возможности и получить одну из самых сложных и совершенных комплексных систем вооружений воздух-воздух и воздух-земля. Этот пример подтверждает, что СИ должна использоваться на протяжении ЖЦ, включая планирование, включение в программы и собственно реализацию
Военная система спутниковой связи Military Satellite Communications (MILSATCOM)	Система систем, обеспечивающая защищенную узкополосную и широкополосную связь, а также сетевые коммуникационные возможности для широкого круга военных пользователей <u>Заказчик:</u> BVC США <u>Подрядчики:</u> The Aerospace Corporation, MITRE, MIT Lincoln Laboratory, Systems Engineering and Technical Assistance (SETA), National Security Agency (NSA)	Для того, чтобы вклад СИ в программу MILSATCOM был значимым и проявил себя как можно раньше, каждый из компонентов системы конструировался с учетом требований, согласованных и скоординированных коллективом организаций-пользователей. Эти требования утверждались и обеспечивались ресурсами этих организаций, а приобретение и испытания проводились на скоординированной основе при поддержке единого, интегрированного офиса управления программой

Системная инженерия и успех проектов



Источник: Elm J. et al. Business Case for SE Study: Results of the SE Effectiveness Survey. - Carnegie Mellon University. - Special Report CMU/SEI-2012-SR-009. - November 2012

Представление НАСА о системных инженерах



1. Интеллектуальная любознательность—способность и желание учиться новому
2. Способность к выделению общесистемных связей и закономерностей
3. Выраженная готовность к лидерству и к работе в команде
4. Приспособленность к работе в условиях неопределенности и недостаточности информации
5. Специфическая убежденность в том, что следует надеяться на лучшее, но планировать худшее.
6. Уверенность в себе и решительность, но не высокомерие
7. Способность строго выполнять предписания по реализации процесса при понимании того, когда надо остановиться и внести изменения.
8. Наличие разнообразных технических навыков – способность применять обоснованные технические решения
9. Готовность к изменениям
10. Высокая коммуникабельность – способность слушать, писать и говорить
11. Способность видеть целое даже при наличии множества мелких деталей

Искусство и наука системной инженерии

- Специалисты отмечают, что СИ, сосредотачивая внимание на целостном и универсальном, а не на частном и специальном, может рассматриваться как связующее звено между искусством и наукой инженерной деятельности [Bay M. et al. The Art and Science of Systems Engineering. <http://www.nasa.gov>] и выделяют в составе СИ две составляющие:
 - Инженерно-техническое руководство (Technical leadership), сконцентрированное на протяжении полного ЖЦ системы на продуктивных инженерно-технических проектных решениях и технической целостности
 - Управление системами (Systems management), сосредоточенное на решении проблем, использования множества различных технологий, участия в работе нескольких организаций, а также вовлечения сотен и тысяч людей в комплексную техническую деятельность
- Инженерно-техническое руководство можно охарактеризовать как искусство СИ, т.е. творческую деятельность, направленную на получение новых возможностей и систем на основе гармоничного сочетания технических знаний в определенных областях, инженерного инстинкта, умения решать задачи, креативности, способности к роли лидера и к обмену знаниями и мнениями
- Управление системами можно охарактеризовать как науку СИ, т.е. хорошо формализованную деятельность, направленную на выработку и систематизацию знаний, необходимых для строгого и эффективного управления развитием и функционированием сложных систем (эффективное управление предполагает использование систематизированного, упорядоченного, поддающегося количественному определению подхода, который может использоваться рекурсивно на разных системных уровнях, является воспроизводимым и пригодным для наблюдения и демонстрации)

ЧТО ТАКОЕ СИСТЕМНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ?

Одно из первых определений системной инженерии

Одно из первых официальных определений гласит:

- **Системная инженерия** - применение научных и технических усилий для:
 - преобразования требований, предъявляемых к боевым средствам в описание конфигурации и эксплуатационных характеристик системы посредством использования итеративного процесса, включающего описание, синтез, анализ, проектирование, испытания и аттестацию;
 - согласования и объединения в единое целое соответствующих технических параметров и обеспечения совместимости всех связанных с ними функциональных и программных интерфейсов таким образом, чтобы оптимизировать описание и проект системы;
 - интегрированного учета надежности, ремонтпригодности, безопасности, живучести, человеческого фактора и других подобных характеристик в рамках общих инженерно-технических усилий, направленных на достижение установленных стоимостных и технических показателей при условии соблюдения утвержденного графика работ

Современное определение системной инженерии

- **Системная инженерия** – *междисциплинарный подход, определяющий исчерпывающий набор технических и управленческих усилий, необходимых для преобразования совокупности потребностей заинтересованной стороны, ожиданий и ограничений в решение и для поддержки этого решения на протяжении его жизни*
 - Системная инженерия это интегральная дисциплина, она используется когда имеется выделенная целевая система. Системная инженерия включает определение технических показателей и характеристик, интеграцию инженерно-технических специалистов в работу по созданию архитектуры, а также определение необходимых процессов ЖЦ, позволяющих сбалансировать требования, обусловленные бюджетом, графиком и необходимыми возможностями
- **Systems engineering** – *interdisciplinary approach governing the total technical and managerial effort required to transform a set of stakeholder needs, expectations, and constraints into a solution and to support that solution throughout its life*
 - System engineering is used when there is a single system-of-interest; systems engineering is for the discipline in general. It includes the definition of technical performance measures; the integration of engineering specialties toward the establishment of an architecture; and the definition of supporting lifecycle processes that balance cost, performance, and schedule objectives

Источники: ISO/IEC/IEEE 24765:2017 Systems and software engineering – Vocabulary;
ISO/IEC/IEEE 15288:2015 Systems and software engineering – System life cycle processes

Состояние дел на 02.06.2019

The definition of systems engineering has evolved over time. The current accepted definitions are found below:

1. *Interdisciplinary approach governing the total technical and managerial effort required to transform a set of customer needs, expectations, and constraints into a solution and to support that solution throughout its life. (ISO/IEC/IEEE 2010)*
2. *An interdisciplinary approach and means to enable the realization of successful systems. It focuses on defining customer needs and required functionality early in the development cycle, documenting requirements, then proceeding with design synthesis and system validation while considering the complete problem:*
 - Operations
 - Performance
 - Test
 - Manufacturing
 - Cost & Schedule
 - Training & Support
 - Disposal

Systems engineering integrates all the disciplines and specialty groups into a team effort forming a structured development process that proceeds from concept to production to operation. Systems engineering considers both the business and the technical needs of all customers with the goal of providing a quality product that meets the user needs. (INCOSE 2012)

3. *A transdisciplinary and integrative approach to enable the successful realization, use, and retirement of engineered systems, using systems principles and concepts, and scientific, technological, and management methods*

The Fellows Initiative on System and Systems Engineering Definitions was established in 2016, to review current INCOSE definitions of SYSTEM and SYSTEMS ENGINEERING and to recommend any changes necessary to align the definitions to a) current practice, and b) the aspirations of INCOSE's 2025 Vision. At the January 2019 INCOSE Board of Directors meeting, a new INCOSE definition for "Systems Engineering" was approved

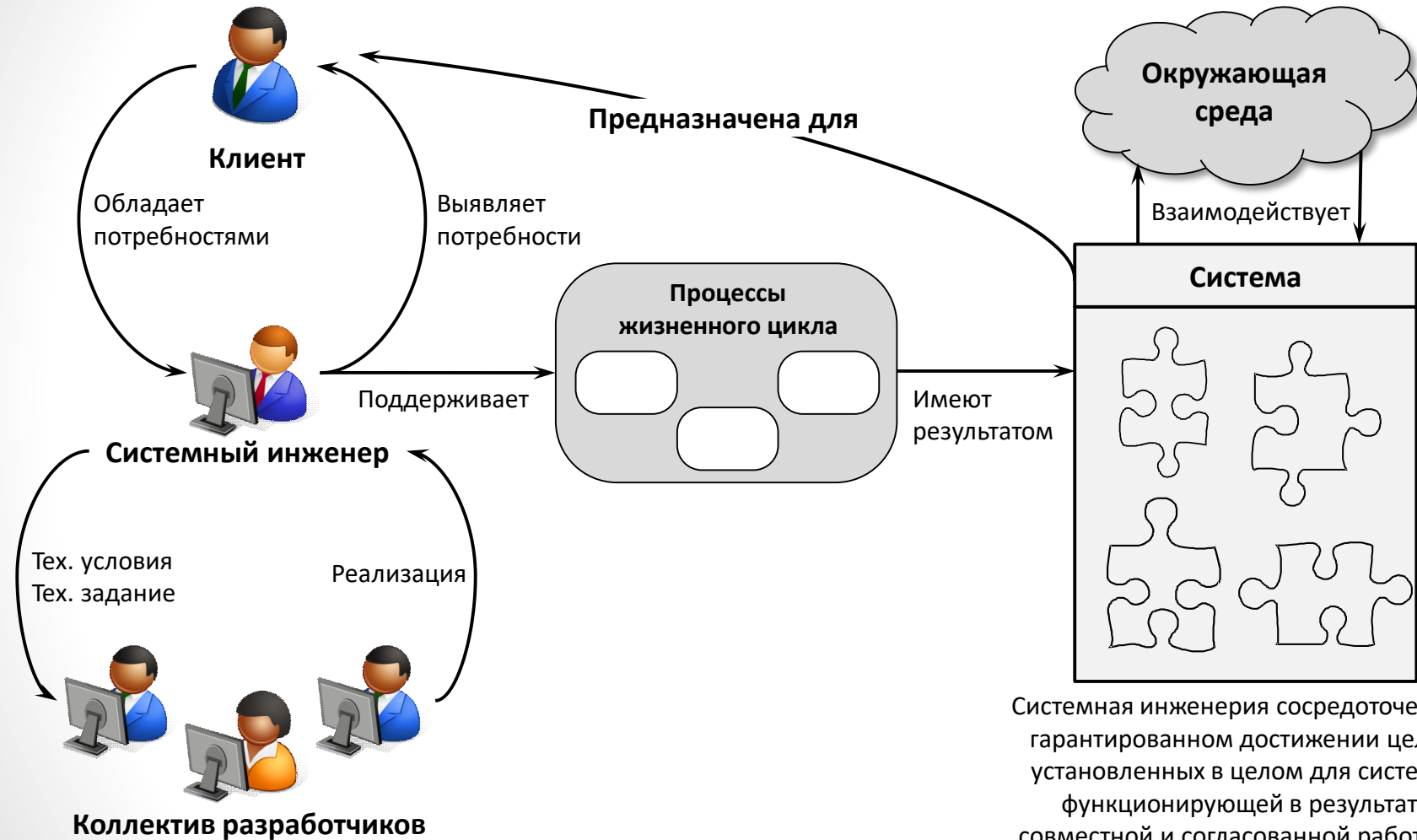
Источник: [https://www.sebokwiki.org/wiki/Systems_Engineering_\(glossary\)](https://www.sebokwiki.org/wiki/Systems_Engineering_(glossary))

Ключевые элементы системной инженерии (1)

Ключевыми элементами системной инженерии по SEBoK v.2.0 являются:

- Принципы и концепции, характеризующие понятие «система», где под системой понимается совокупность взаимодействующих элементов, объединенная для достижения установленной(ых) цели(ей). Система взаимодействует со своим окружением, в состав которого могут входить другие системы, пользователи и природная среда. Среди элементов, входящих в состав системы, могут быть аппаратные средства, программные средства, встроенное программное обеспечение, персонал, информация, техническое оснащение и технологии, производственные мощности и оборудование, услуги и другие элементы обеспечения
- Системный инженер, понимаемый как персона или роль, необходимая для реализации междисциплинарного подхода и методики создания успешных систем. В частности, в обязанности системного инженера входит выявление потребностей клиентов и формирование на этой основе технических условий и требований, которые могут быть реализованы коллективом разработчиков системы

Ключевые элементы системной инженерии (2)



Системная инженерия сосредоточена на гарантированном достижении целей, установленных в целом для системы, функционирующей в результате совместной и согласованной работы её отдельных элементов

Профиль современной системной инженерии



СТАНОВЛЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ В НАШЕЙ СТРАНЕ

Некоторые данные о системном движении в СССР

- В 1962 г. **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 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, Э.М. Мирский**
- В 1973 г. 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**)

Системная инженерия в СССР

- В СССР системная инженерия стала развиваться в начале 60-х г.г. под названием **системотехника**
- Термин системотехника был предложен при переводе на русский язык книги Г. Х. Гуд, Р.Э. Макол «Системотехника. Введение в проектирование больших систем» (*Harry H. Good, Robert E. Machol Systems Engineering. An Introduction to the Design of Large-Scale Systems*), изданной в США в 1957 году, и переведенной в СССР в 1962 году
- В военной среде **системотехника** - фундаментальная концепция, развитая теория и мощный рабочий аппарат для профессионального решения проблем построения сложных систем боевого назначения (Дружинин В.В., Конторов Д.С. Вопросы военной системотехники. – М.: Воениздат, 1976)
- В академической среде **системотехника** - научное направление, изучающее свойства системотехнических комплексов, процессы их создания, совершенствования, использования и ликвидации в целях получения максимального социального эффекта (Николаев В.И., Брук В.М. Системотехника. Методы и приложения. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985)

Гелий Николаевич Поваров

- **Гелий Николаевич Поваров** (2 февраля 1928 – 16 ноября 2004) - русский математик, философ и историк науки, с 1967 года работал на кафедре кибернетики МИФИ (с 1994 г. – профессор кафедры), внес значительный вклад в развитие отечественной кибернетики и в философию науки
- Является автором терминов системотехника, системология (общая теория систем) и дедалогия (системная наука о научно-техническом прогрессе) (Wiki)
- Под редакцией Г.Н. Поварова вышли на русский язык классические книги:
 - Н. Винер «Кибернетика или управление и связь в животном и машине» (1958 г.)
 - Г. Х. Гуд, Р.Э. Макол «Системотехника. Введение в проектирование больших систем» (1962 г.)
 - А.Д. Холл «Опыт методологии для системотехники» (1975 г.)



Федор Евгеньевич Темников

- **Федор Евгеньевич Темников** (сентябрь 1906 - октябрь 1993) – доктор технических наук, профессор, один из основателей российской школы информатики
- В 1969 году в МЭИ Ф.Е. Темников организовал первую в стране кафедру системотехники, которую возглавлял с 1969 по 1972 гг. (первую в стране кафедру, развивавшую направление теории систем в СССР - *Прикладная информатика*. 2007. № 1 (7). С. 98–107)



В.В. Дружинин и Д.С. Конторов



- Дружинин Валентин Васильевич (1918—1997) генерал-полковник, заместитель начальника ГШ ВПВО, доктор военных наук, профессор



- Конторов Давид Соломонович (1920-2001) заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор. Автор более 10 монографий по вопросам проектирования и управления в больших сложных технических системах

Системотехника и инженерные практики

- По мере нарастания зрелости отечественной методологии и практики системотехники, последняя стала рассматриваться 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 (Горохов В.Г., Методологический анализ системотехники. – М.: Радио и связь, 1982)
- **Военная системотехника** - фундаментальная концепция, развитая теория и мощный рабочий аппарат для профессионального решения проблем построения сложных систем боевого назначения (Дружинин В.В., Конторов Д.С. Вопросы военной системотехники. – М.: Воениздат, 1976)
- **Системотехника** - научное направление, изучающее свойства системотехнических комплексов, процессы их создания, совершенствования, использования и ликвидации в целях получения максимального социального эффекта (Николаев В.И., Брук В.М. Системотехника. Методы и приложения. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985)

Объекты системотехники

- К середине 70-х годов отечественные специалисты в качестве основного объекта системотехники стали рассматривать сложные технические комплексы, которые разными авторами именовались по-разному:
 - **Большая система** - управляемая система, рассматриваемая как совокупность взаимосвязанных управляемых подсистем, объединённых общей целью функционирования (Примеры: энергосистема, производственное предприятие, торговая сеть) (*Лернер А. Я.*, БСЭ)
 - **Сложная система** –
 - a) составной объект, части которого можно рассматривать как системы, закономерно объединённые в единое целое в соответствии с определенными принципами или связанные между собой заданными отношениями (*Бусленко Н.П.*, БСЭ)
 - b) 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 качестве основного метода системотехники был выделен системный подход и его конкретные способы реализации:
 - системный анализ
 - исследование операций
 - кибернетика

Отечественная и западная школы создания сложных инженерных объектов

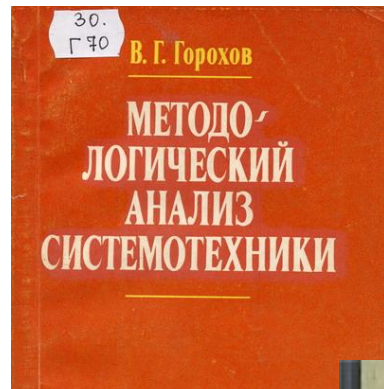
- **Отечественная школа:**

- жесткое управление, не приспособленное к рыночным условиям;
- недорогие ресурсы, включая персонал;
- меньше внимания типовым приемам эффективной организации и управления, больше представлению результатов работ

- **Западная школа:**

- гибкое управление, адаптируемое к требованиям рынка;
- дорогие ресурсы, включая персонал;
- повышенное внимание к выявлению и практике использования приемов эффективной организации работ

Некоторые отечественные публикации



Комплексы стандартов ГОСТ 24 и ГОСТ 34

- В 70-х - 80-х г.г. быстро развиваются национальные стандарты создания систем
- Начало этой работе было положено созданием Единой системы стандартов автоматизированных систем управления ГОСТ 24, которая 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 ЖЦ АСУ, типовые проектные решения, способы оценки важнейших характеристик АСУ
- 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
- 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 информационных технологий

Подготовка инженеров-системотехников

- К 1985 г. Кафедры системотехники функционировали примерно в 30 ВУЗах, расположенных по всей территории СССР
- Всего в СССР было подготовлено порядка десяти тысяч инженеров-системотехников
- Отечественные инженеры-системотехники в своей основе не были специалистами, способными создавать системы, конкурентоспособные на мировом рынке, специалистами, умеющими организовать и определить содержание всего комплекса работ по созданию сложной системы, обеспечить эффективное управление полным ЖЦ такой системы, они хорошо разбирались в инженерных проблемах создания и функционирования АСУ и владели технологиями создания отдельных элементов АСУ

Системотехника как научная дисциплина

- Основным результатом развития системотехники в СССР можно считать приобретение ею к середине 80-х годов важнейших признаков самостоятельной **научной дисциплины**, включая наличие:
 - особой профессиональной организации (лаборатории, отделы, кафедры, научно-исследовательские институты, ученые советы и т. д.),
 - налаженной системы научной коммуникации (журнальные публикации, наличие учебников и монографий, проведение регулярных семинаров, конференций и т.д.),
 - собственной системы подготовки кадров (курсы и кафедры в высших учебных заведениях)

С учетом выводов Горохова В. Г. В кн. Методологический анализ системотехники. М.: Радио и связь, 1982

Сообщество системотехников

- К началу 80-х годов в СССР по существу сформировалось отечественное сообщество инженеров-системотехников - проводились регулярные Всесоюзные симпозиумы по системотехнике, регулярно издавались книги и печатались статьи по этой тематике
- Большой вклад в организацию этих симпозиумов внес профессор В.И. Николаев
- Секции Всесоюзного симпозиума по проблемам системотехники (Ленинград, 25-27 января 1978 г.):
 1. Общие вопросы системотехники
 2. Автоматизация организационного управления
 3. Автоматизация проектирования и конструирования
 4. Принятие решений

Отечественные проблемы использования рекомендаций системной инженерии

- Отечественная традиция в заметной степени бюрократическая, а не инженерно-техническая. Современная СИ – адаптация рекомендаций к условиям предприятия или проекта. Отечественная традиция – адаптация любого проекта к единым нормам и правилам, пример ГОСТ 34
- ГОСТ34 предлагает единый подход на базе одной модели ЖЦ, в СИ стандарт ISO/IEC/IEEE15288 исходит из того, что модель ЖЦ не стандартизируется.
- Отечественная традиция создания систем является документо-ориентированной и в значительной мере опирается на нормы, содержащие требования к правилам выдачи задания и приемки результатов работы
- Основные нормативные документы системной инженерии содержат рекомендации и положения относительно того, ЧТО следует делать, оставляя решение о том, КАК это следует делать на усмотрение сторон, создающих систему и управляющих проектом
- Во многом из-за разницы подходов отечественные специалисты и организации не только оказались в роли сторонних наблюдателей, но и не научились должным образом применять готовые, признанные международным экспертным и индустриальным сообществом нормативные документы по созданию систем и управлению их ЖЦ

Некоторые российские корпорации, проявляющие интерес к системной инженерии



РОСАТОМ



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ



ОБЪЕДИНЕННАЯ
АВИАСТРОИТЕЛЬНАЯ
КОРПОРАЦИЯ



ОБЪЕДИНЕННАЯ ПРОМЫШЛЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ
ОБОРОНПРОМ



ФЦЯРБ



«УПРАВЛЯЮЩАЯ КОМПАНИЯ
«ОБЪЕДИНЕННАЯ ДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНАЯ
КОРПОРАЦИЯ»

САТУРН
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ



ВЕРТОЛЕТЫ
РОССИИ

НИАЭП



им. Н.А.Доллежала



ВНИИАЗС



РусГидро



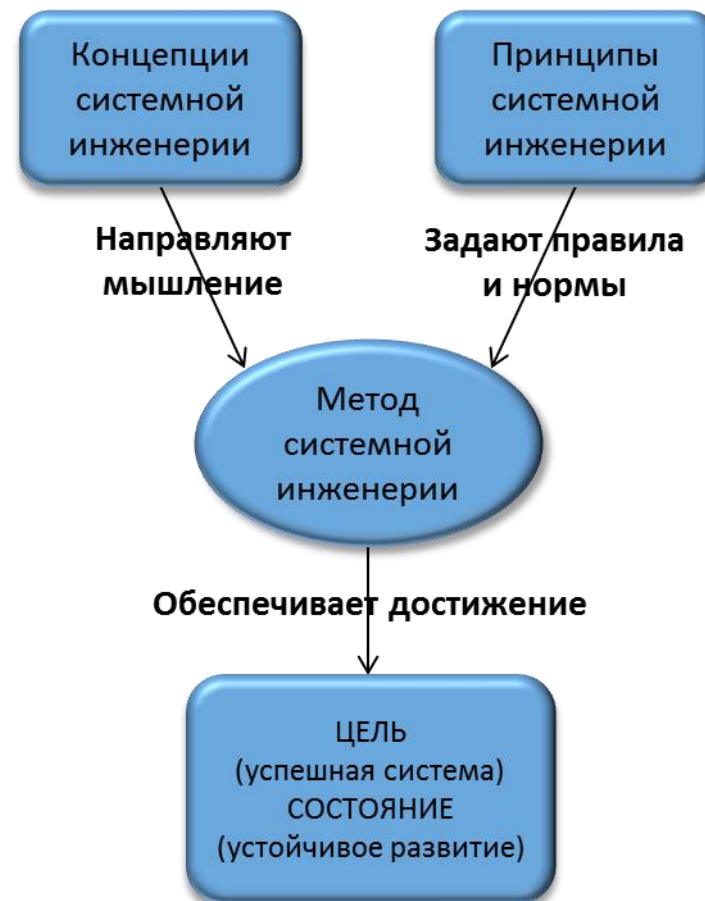
ФГУП "Судоэкспорт"

GVP "Sudoexport"

ОСНОВАНИЯ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

Концепции, принципы и метод системной инженерии

- В основании СИ лежит ряд концепций - общих абстрактных представлений, связанных с пониманием предмета СИ, а также совокупность принципов, т.е. исходных, принимаемых за истину правил, которые используются в качестве основы для рассуждений и/или для принятия решений
- Концепции направляют мышление системного инженера, а принципы предоставляют необходимые для этого правила и нормы
- Концепции и принципы обеспечивают знания и навыки, необходимые для развития совокупности приемов и операций практической деятельности системного инженера, т.е. для обоснования метода системной инженерии
- Метод СИ является руководством и практическим инструментом для достижения цели, т.е. для создания успешной системы, а также для достижения состояния стабильного, устойчивого развития решения посредством принятия непротиворечивых решений на протяжении жизненного цикла



Важные концепции СИ

- К важнейшим концепциям системной инженерии можно отнести следующие представления:
 - *Система*
 - *Жизненный цикл*
 - *Заинтересованная сторона*
 - *Успешность системы*

Системы в системной инженерии

- **Система** – совокупность взаимодействующих элементов, упорядоченная для достижения одной или нескольких установленных целей (ISO/IEC/IEEE 15288)
- Системы, которые находятся в поле зрения СИ:
 1. являются результатом реализации замысла в виде получаемой продукции или предоставляемых услуг, а также активов
 2. являются искусственными, созданными и используемыми людьми для предоставления функциональных возможностей в заданных условиях в интересах удовлетворения потребностей пользователей и иных заинтересованных сторон
 3. состоят из элементов: технические средства, программные средства, люди, процессы (например, процесс оценки), процедуры (например, инструкции для оператора), оборудование и природные объекты (например, вода, организмы, минералы)
- Восприятие и определение конкретной системы, ее устройства и системных элементов зависит от интересов и обязанностей наблюдателя
- Система, которая представляет интерес для одного лица, может рассматриваться другим лицом, как элемент рассматриваемой им системы. И наоборот, она может рассматриваться как часть внешней среды системы, представляющей интерес для третьего лица

Инженерно-насыщенные системы

- **Инженерно-насыщенная система** (Engineered system) – это открытая система, состоящая из технических и социо-технических элементов и предназначенная для практических нужд (SEBoK)
- Характеристики инженерно-насыщенной системы устанавливаются людьми и в интересах людей, а ее жизненный цикл находится в центре внимания системной инженерии. Инженерно-насыщенные системы создаются в целях обеспечения выгод для заинтересованных сторон, если их рассматривать как часть более широкого системного контекста
- Таким образом, инженерно-насыщенные системы разрабатываются или адаптируются для взаимодействия с предполагаемым окружением и для достижения одной или нескольких предполагаемых целей в условиях определённых ограничений
- Важно отметить, что инженерно-насыщенные системы не всегда являются техническими системами, но для их успешного применения по назначению в процессе разработки должен участвовать системный инженер

Целевая система и система обеспечения

- **Целевая система** (system-of-interest) это система, жизненный цикл которой подлежит рассмотрению
- Целевая система может быть как функциональной (operational system), так и системой обеспечения (enabling system)
- Функциональные системы предназначены для предоставления функциональных возможностей в заданных условиях (условиях эксплуатации) в интересах удовлетворения потребностей пользователей и иных заинтересованных сторон
- **Система обеспечения** – система, которая служит дополнением к целевой системе на протяжении её ЖЦ, но не обязательно вносит непосредственный вклад в её функционирование

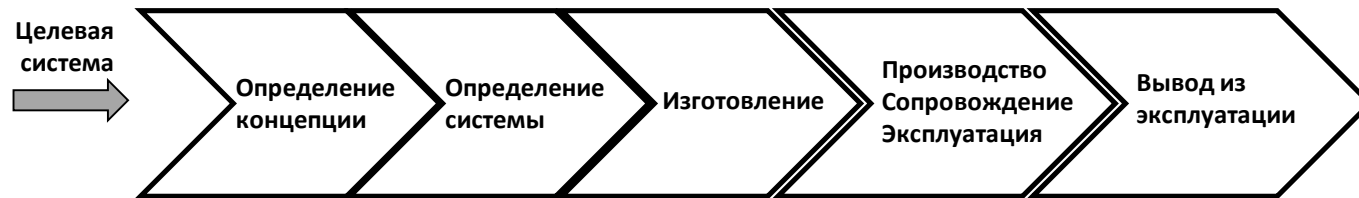
Целевые системы в своем окружении



Жизненный цикл системы

- **Жизненный цикл** – развитие системы, продукции, услуги, проекта или другой созданной человеком сущности от концепции вплоть до прекращения использования (ISO/IEC/IEEE 15288)
- Развитие целевой системы связывается в СИ с прохождением последовательности состояний или стадий, увязанных с совокупностью управленческих решений, для обоснования которых используются объективные свидетельства того, что система на принятом уровне материализации является достаточно зрелой для перехода из одного состояния в другое

Базовая модель жизненного цикла



- Базовая модель ЖЦ SEBOK представляет собой совокупность стадий, в рамках которых выполняется определенная техническая деятельность и деятельность по руководству работами (менеджмент)
- Стадии отделены друг от друга контрольными точками (точками принятия решений)
- В этих точках ключевые заинтересованные стороны принимают решение о сценарии поведения, который следует реализовать
- Типовые сценарии:
 - Перейти к следующей стадии
 - Продолжить данную стадию
 - Вернуться к предыдущей стадии
 - Приостановить проект
 - Завершить проект

Трансформации на протяжении жизненного цикла



Заинтересованные стороны

- **Заинтересованная сторона** это лицо или организация, имеющие права, долю, требования или интересы к системе или к использованию её свойств, отвечающих их потребностям и ожиданиям (ISO/IEC/IEEE 15288: 2015)
- По существу в качестве заинтересованной стороны может рассматриваться любая организация или персона, имеющие обоснованный интерес к системе

Ключевые ЗС в проектах Минэнерго США

Ключевая заинтересованная сторона	Природа влияния на основные показатели результатов деятельности
Конгресс	Основные показатели результатов деятельности Минэнерго США должны отвечать обязательствам по своевременной поставке в рамках выделенного бюджета и по обоснованию необходимости инвестиции средств налогоплательщиков
Административно-бюджетное управление при президенте США (Office of Management and Budget)	Основные показатели результатов деятельности Минэнерго США должны быть результатом реалистического установления приоритетов, хорошей координации между планами по управлению ЖЦ и бюджетом, а также выделения измеримых преимуществ
Исполнительный секретариат по закупкам Минэнерго США (Secretarial Acquisition Executive)	Характеристики проекта, цели и задачи проекта, календарный план и затраты должны быть адекватно определены, хорошо обоснованы и достижимы
Программа Минэнерго США (DOE Program)	Содержит описание целей и показателей, которые должны быть достигнуты
Органы инспекции и надзора и сообщества потребителей	Состояние, которое достигается в конечном итоге, должно отвечать потребностям пользователей и понесенным затратам

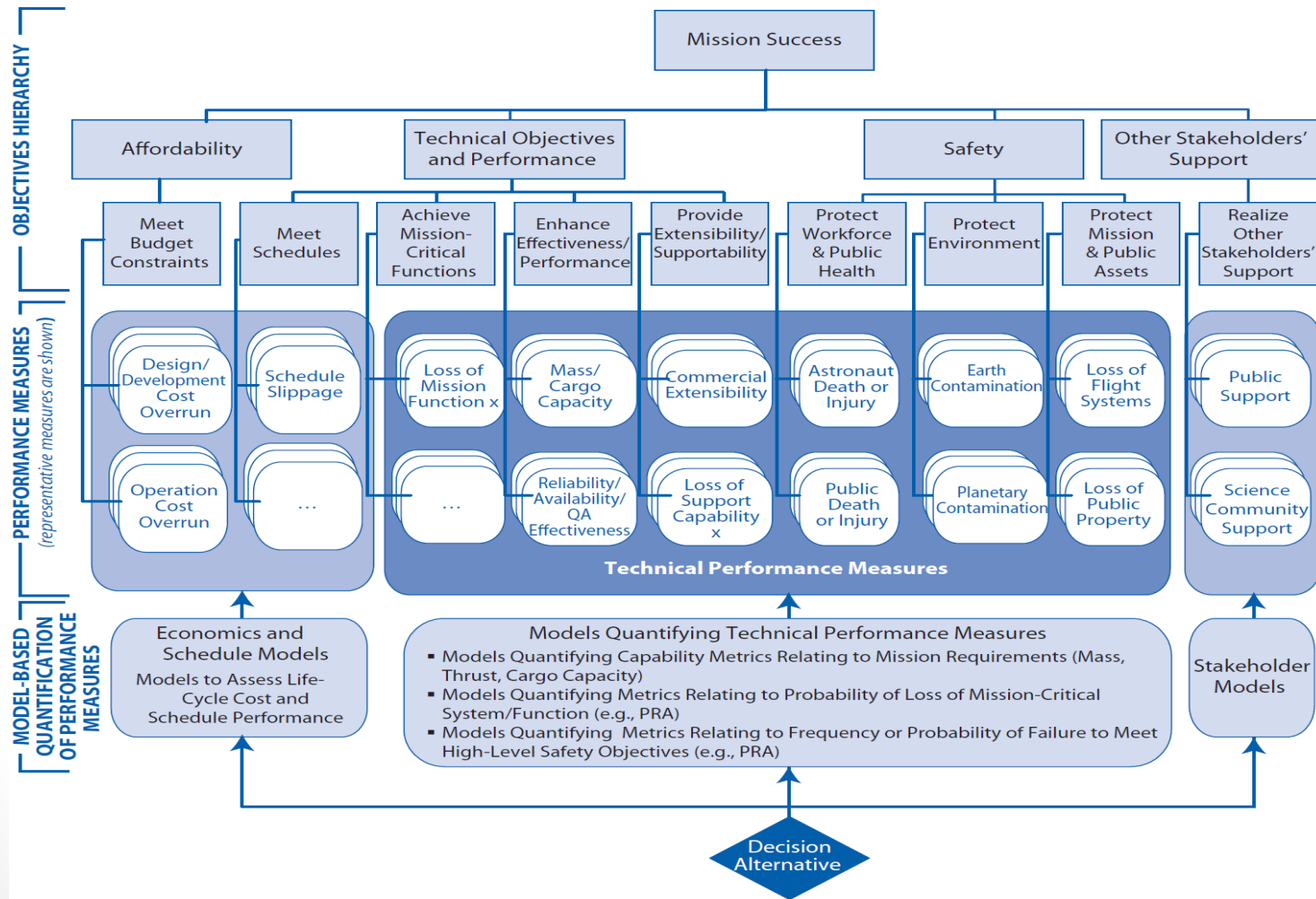
Успешность системы

- Важнейший принцип состоит в том, что системный инженер должен предложить и обеспечить реализацию такого решения, которое в рамках общепризнанного компромисса, обеспечит удовлетворение нужд и потребностей заинтересованных сторон
- Мы будем говорить, что система успешна, тогда и только тогда, когда получены объективные свидетельства того, что интересы заинтересованных сторон удовлетворены в рамках заранее согласованного компромисса

Показатели, рекомендованные INCOSE

- Согласно INCOSE SE Guide измерению подлежат следующие показатели:
 - **Показатели эффективности** (Measures of Effectiveness - MOE), которые в INCOSE-TP-2003-020-01, Technical Measurement Guide определяются как показатели успеха практической деятельности, которые непосредственно связаны с достижением показателей назначения, принятых для определенных условий эксплуатации, т.е. насколько хорошо решение позволяет достичь намеченной цели (*Adapted from DoD 5000.2, DAU, and INCOSE*)
 - **Показатели функционирования** (Measures of Performance - MOP), под которыми понимаются физические или функциональные признаки, имеющие отношение к функционированию системы и пригодные к измерению или оценке в установленных условиях испытаний и/или функционирования (*Adapted from DoD 5000.2, DAU, INCOSE, and EPI 280-04, LM Integrated Measurement Guidebook*)
 - **Технические показатели** (Technical Performance Measures - TPM), которые, согласно INCOSE-TP-2003-020-01, Technical Measurement Guide, представляют собой измеримые показатели элементов системы, необходимые для определения того, насколько система или элементы системы удовлетворяют или смогут удовлетворять техническим требованиям или целям
 - **Показатели выполнения проекта** (Project Performance Measures – PPM), которые служат для обнаружения отклонений от планов или технических показателей производства с целью принятия решений в отношении будущей работы или технических вариантов
 - **Показатели выполнения процесса в организации** (Organizational Process Performance Measures - OPP), которые представляют собой измеримые характеристики, показывающие степень, в которой отслеживаются процессы ЖЦ системы
- В результате выполнения измерений (оценок) получается следующая информация: MOE-, MOP-, TPMs, PPM-, OPP – Data, которая используется для принятия решений

Пример из практики NASA



В чем состоят принципы системной инженерии ?

- Ответ на вопрос: «В чем состоят принципы СИ?» зависит от того, что понимается под системой и СИ, т.е. рассматривается СИ как дисциплина, в центре внимания которой находятся системы, инженерная деятельность и управление или она представляет собой, например, уникальную метадисциплину, как представлялось одному из основоположников СИ А. Холлу (Hall A. *Methodology for System Engineering*. – D. van Nostrand Company, 1962; Hall A. *Metasystems Methodology; A New Synthesis and Unification*. - Pergamon Press, NY, 1989)
- Один из крупнейших современных специалистов по СИ проф. Д. Хитчинс, рассмотрел правила, базовые предположения и рекомендации, часто упоминаемые в литературе по системам и СИ, и пришел к выводу, что принципы СИ напрямую связаны с концепциями системы, инженерной деятельности и управления, причем, имеется четыре фундаментальных и три дополнительных, руководящих принципа, которые лежат в основе СИ по существу с момента ее создания (Hitchins D. What are the General Principles Applicable to Systems? // INCOSE INSIGHT. – V.12, Issue 4. – December 2009. – p.p. 59-64)
- При выделении принципов СИ Д. Хитчинс ориентировался на системные концепции, типичные для инженерно-технических и социо-технических систем

Базовые принципы СИ по Д. Хитчинсу

1. **Системный подход (The Systems Approach)** - целевая система рассматривается как открытая и в контексте её взаимодействия и приспособления к другим системам, находящимся в среде функционирования, как имеющая в своем составе открытые, взаимодействующие между собой подсистемы и как представляющая собой часть системы в более широком смысле или объемлющей системы
2. **Синтез (Synthesis)** - для получения решения части или подсистемы соединяются между собой, чтобы функционировать и взаимодействовать как единое целое, демонстрируя повышение эффективности работы в результате соединения, интеграции, слияния отдельных частей в единую систему (синергический эффект). При этом основная задача СИ состоит в выборе (описании, проектировании, селекции) «правильных» составных частей, их соединении между собой так, чтобы достигалось «правильное» взаимодействие и в оркестровке этих взаимодействий таким образом, чтобы достигались необходимые свойства целого.
3. **Холизм (Holism)** - при принятии решений проблема, ее решение и система рассматриваются в целом.
4. **Организмизм (Аналогия с организменным уровнем организации биосистем) (Organismic Analogy (Organicism))** - свойства и поведение систем рассматриваются в динамике, причем, в основе деятельности системного инженера лежат скорее представления о развитии биологического организма, нежели механистическая метафора классического инженерного дела

Дополнительные принципы Д. Хитчинса

- **Адаптивная оптимизация (Adaptive Optimizing)** - проблемы следует решать постепенно во времени, т.е. так, чтобы адаптировать характеристики сложной системы к новым ситуациям и изменениям, происходящим в состоянии системы, во внешней среде и в других системах, взаимодействующих с целевой, а также учесть возникающие дополнительные факторы. Важнейший аспект адаптивной оптимизации - обеспечение возможности непрерывного улучшения характеристик системы для сохранения оптимальной эффективности в условиях изменений в среде функционирования
- **Постепенное уменьшение энтропии (Progressive Entropy Reduction)** - процесс СИ продолжается на протяжении всего ЖЦ системы, в результате чего энтропия, характеризующая целевую систему, постепенно уменьшается с переходом от состояния беспорядка (высокая энтропия) к состоянию порядка (низкая энтропия) в конце цикла
- **Разумная достаточность (Adaptive Satisfying)** - успешная СИ включает процесс непрерывной адаптации требований к системе и решений для получения результатов, которые в данных условиях позволяют в наибольшей степени удовлетворить критически важные ЗС. Это включает две составляющих:
 - система успешна тогда и только тогда, когда с ее помощью добиваются успеха все ключевые ЗС
 - для того, чтобы система позволяла ключевым ЗС добиться успеха требуется:
 - идентифицировать все критически важные ЗС;
 - определить, в чем видят успех ЗС;
 - договориться с ЗС о взаимовыгодном наборе планов создания и производства системы, а также реализации процессов;
 - контролировать, с учетом баланса интересов ЗС, реализацию планов, включая адаптацию к происходящим изменениям

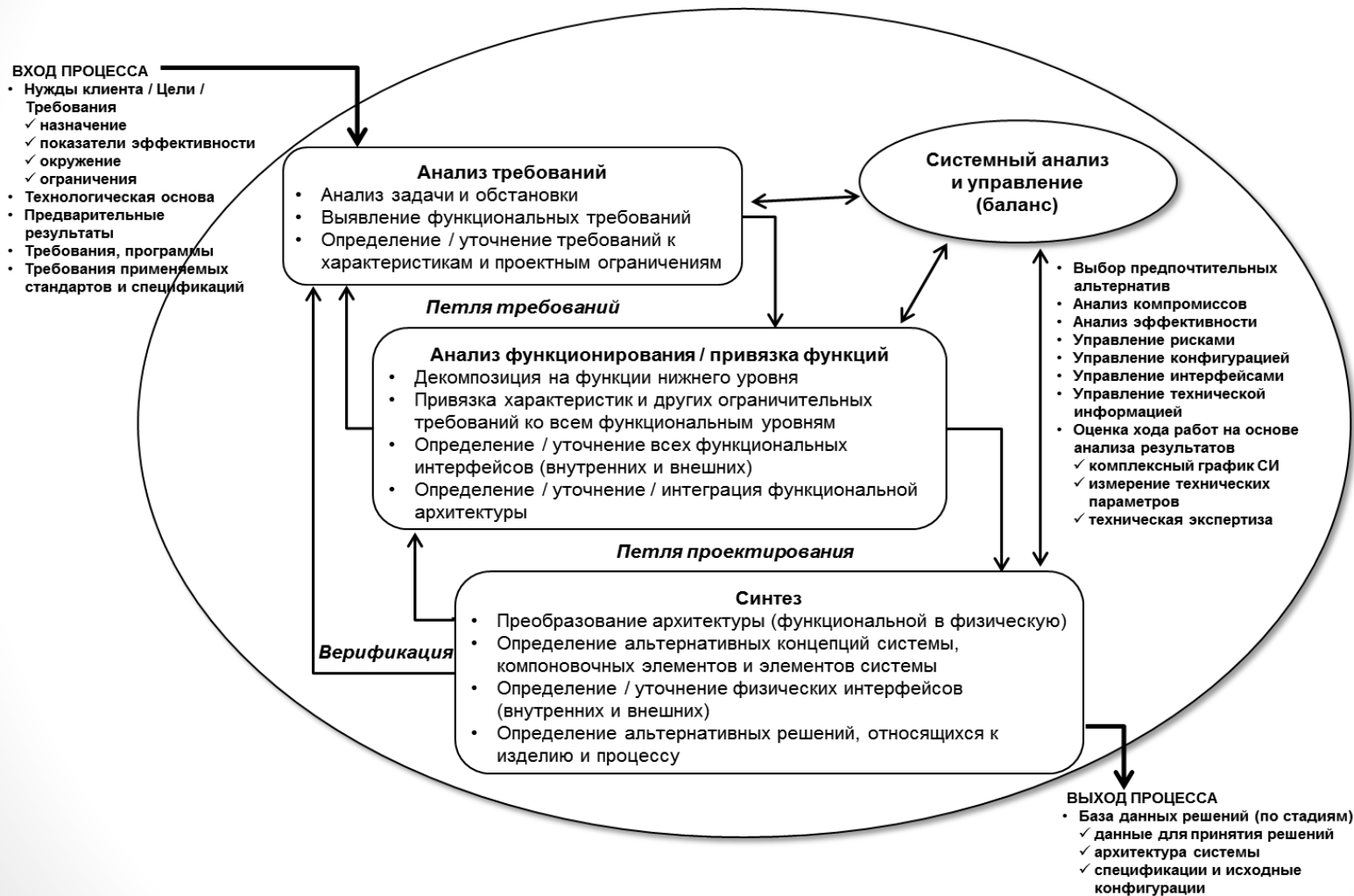
Сравнение принципов Б. Боэма и Д. Хитчинса

ICSM принципы Б. Боэма	Принципы СИ Д. Хитчинса
Первый принцип: <i>Описание и развитие системы в разрезе ценности для ЗС</i>	Холизм: Рассмотрение системы в целом при принятии решений Системный подход: Рассмотрение системы в контексте её существования во внешней среде, с учетом взаимосвязей, возможности адаптации и возможности рассмотрения в качестве составной части объемлющей системы Разумная достаточность: система успешна тогда и только тогда, когда она представляет ценность для ЗС
Второй принцип: <i>Поэтапный рост ответственности и обязательств</i>	Организмизм: Поведение систем рассматривается в динамике, в основе СИ лежат представления о развитии биологического организма, а не механистическая метафора Адаптивная оптимизация: Проблемы решают постепенно с течением времени, чтобы адаптировать характеристики системы к возникающим проблемам и изменениям Постепенное уменьшение энтропии: На протяжении ЖЦ процесс СИ обеспечивает постепенное уменьшение энтропии
Третий принцип: <i>Согласованное мультидисциплинарное описание и разработка системы</i>	Синтез: Соединение частей для получения решения Адаптивная оптимизация: Проблемы решают постепенно с течением времени, чтобы адаптировать характеристики системы к возникающим проблемам и изменениям
Четвертый принцип: <i>Принятие решений на основе фактов и с учетом риска</i>	Холизм: Рассмотрение системы в целом при принятии решений Постепенное уменьшение энтропии: На протяжении всего ЖЦ процесс СИ обеспечивает постепенное уменьшение энтропии

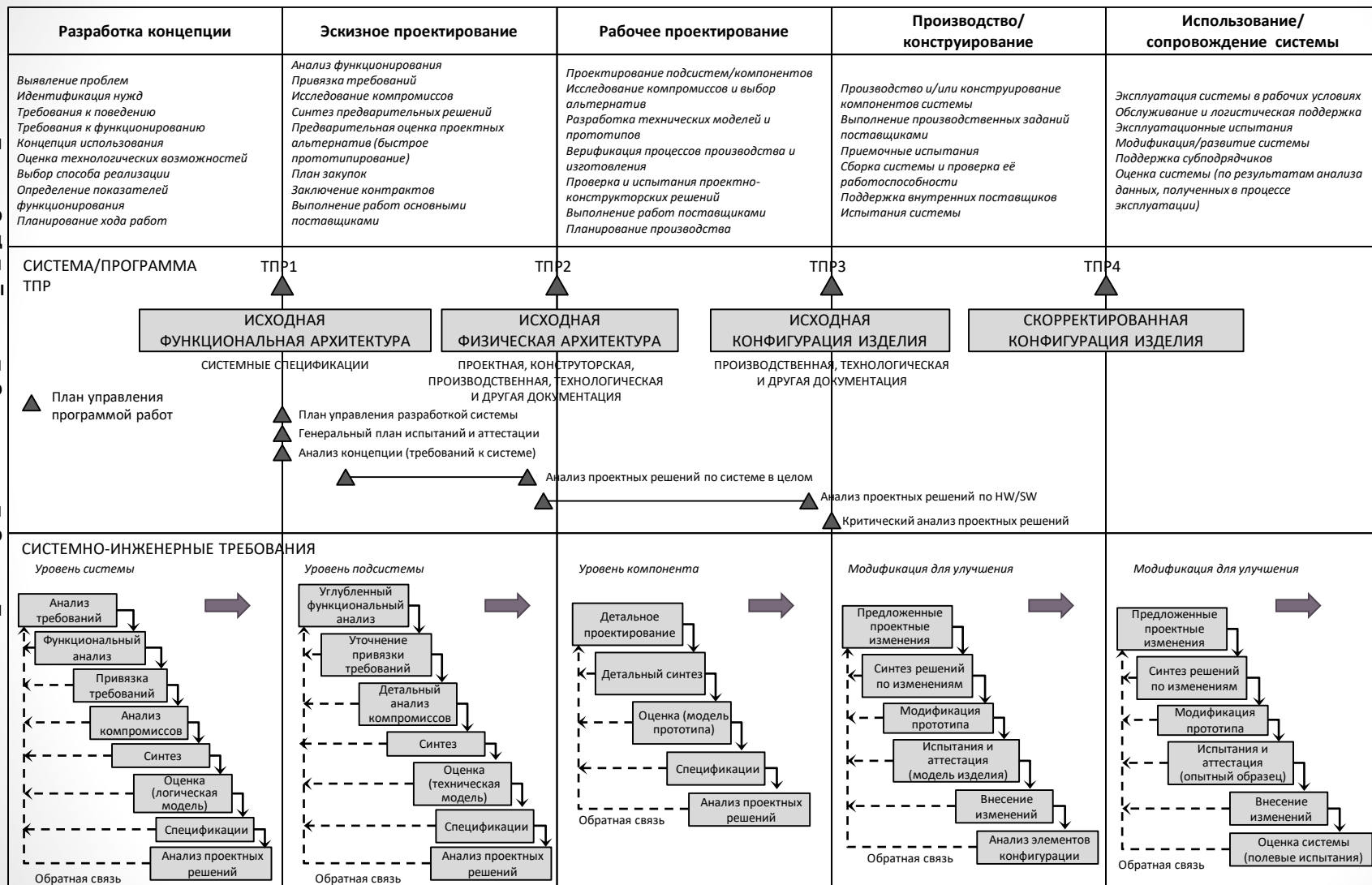
Метод системной инженерии

- Опыт многих разработок показывает, что несмотря на отличия в целевых системах, совокупность действий, повторяющихся по мере прохождения стадий и этапов ЖЦ в своей основе остается постоянной, т.е. концепции и принципы СИ задают крепкую основу практической деятельности системного инженера
- Совокупность подобных типовых, повторяющихся действий получила особое наименование – ее называют:
 - процессом системной инженерии (Systems Engineering Process) [Blanchard B., Fabrycky W. Systems Engineering and Analysis - Prentice Hall International Series in Industrial & Systems Engineering, 5th Edition, 2010;
 - подходом системной инженерии (Systems Engineering Approach) [Sadraey M. Aircraft Design: A Systems Engineering Approach - Wiley, 2012]
 - методом системной инженерии (Systems Engineering Method) [Kossiakoff A. et al. Systems Engineering Principles and Practice - Wiley, 2011]

Первый результат. Процесс системной инженерии в стандарте MIL-STD-499B (1993 г.)



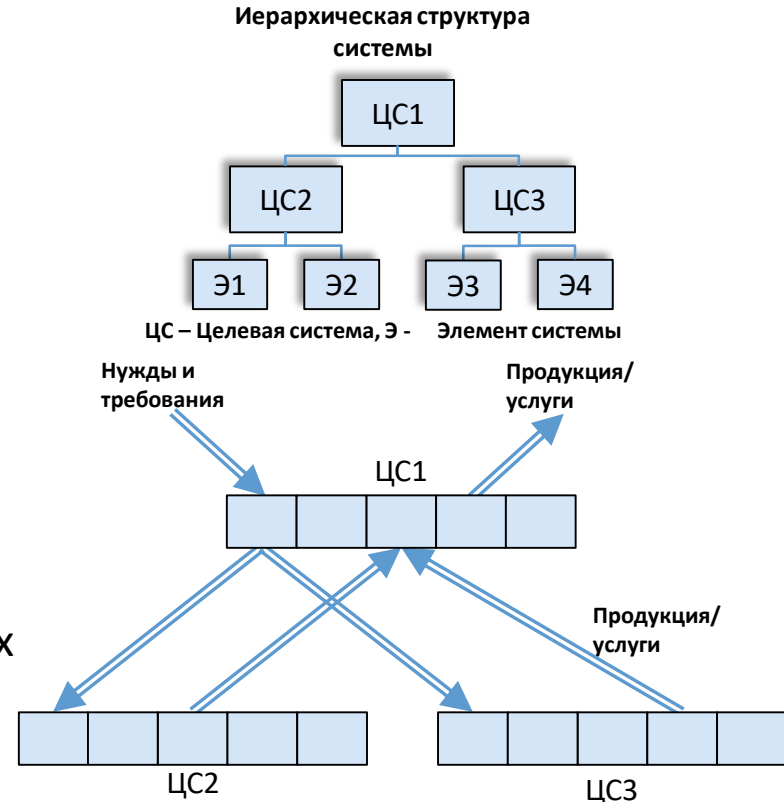
Метод СИ по Б. Бланчарду и У. Фабрицки



СИСТЕМНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И УПРАВЛЕНИЕ

Основная концепция системной инженерии

- Основные цели системного инженера состоят в :
 - выявлении того, что представляет ценность для ЗС;
 - Выявлении конкретных потребностей которые подлежат удовлетворению;
 - трансформации представления об этих потребностях в представление о системе (продукции или услуге, которая позволит удовлетворить потребности);
 - налаживании использования этой продукции или услуги для получения выгоды заинтересованными сторонами
- Для достижения этих целей используются принципы системного подхода
- ЦС ставится в соответствие иерархическая структура
- Каждая ЦС имеет свою модель ЖЦ, которая состоит из стадий, населенных процессами ЖЦ
- Задача этих процессов состоит в определении:
 - направления и содержания работ, которые следует выполнить
 - продукции, которая связана с этими работами и которую следует произвести



Источник: SEBoK. Introduction to Life Cycle Processes

Системная инженерия и управление проектами



Источник: Kossiakoff A. et al. Systems Engineering Principles and Practice – Wiley, 2011

- Важная тенденция развития современной системной инженерии - сближение с дисциплиной **управление проектами**, которую в нашей стране принято рассматривать в качестве независимой
- Одним из первых на взаимосвязь и взаимопроникновение системной инженерии и управления проектами указал Г. Эйснер (*Eisner Howard*, *Essentials of Project and Systems Engineering Management*, 3rd edition. - NY, USA: John Wiley & Sons. – 2008), который указал на необходимость налаживания связи между системной инженерией и управлением проектами с выделением двух ключевых аспектов:
 - руководитель проекта должен держать в центре внимания описание системы и её ключевых подсистем, т.е. набор архитектурных представлений
 - за формирование этих представлений отвечает главный системный инженер, который при выборе и реализации инженерных решений должен учитывать ограничения, зафиксированные в плане управления проектом

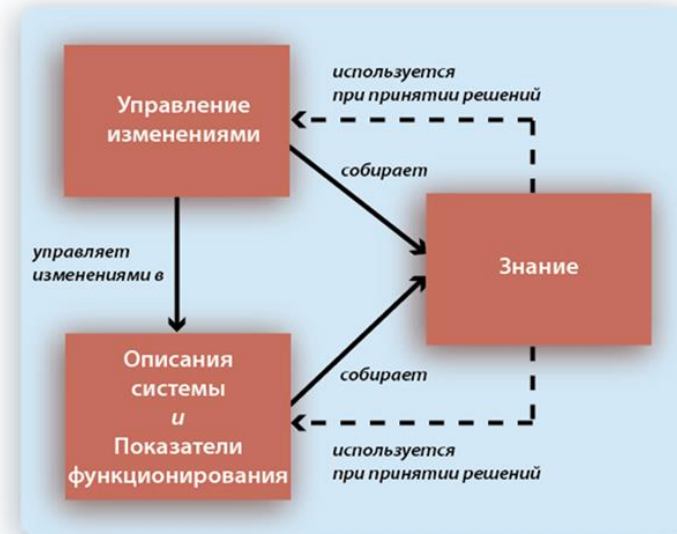
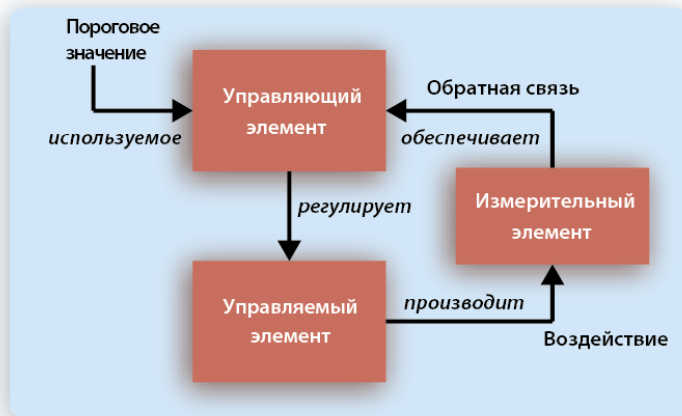
Проекты в полном ЖЦ целевой системы



Управление жизненным циклом

- В СИ управление ЖЦ представляет собой управление развитием целевой системы, т.е. функциональными и структурными изменениями в привязке к точкам принятия решений на протяжении ЖЦ целевой системы
- В свою очередь управление изменениями подразумевает выявление общих правил, в соответствии с которыми удовлетворение потребностей заинтересованных сторон на протяжении развития системы достигается на эффективной, надлежащим образом выстроенной методической основе

Кибернетическая система и модель изменений



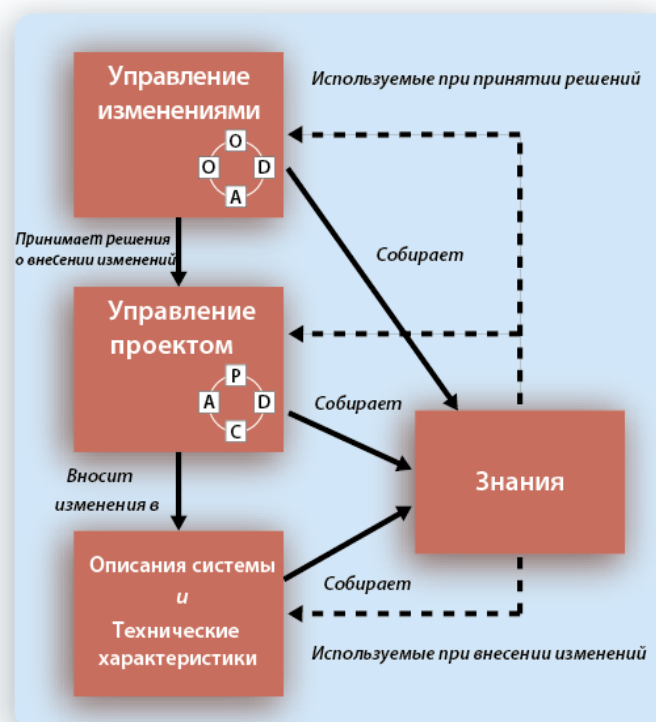
Интеграция циклов OODA и PDCA

- Для моделирования связи между предприятием и проектом, которое оно реализует для управления изменениями полезно использовать объединение циклов OODA и PDCA
- Объединение двух циклов осуществляется посредством связывания действия «Действуй» цикла OODA с действием «Планируй» цикла PDCA
- Действие, которое должно быть совершено в OODA, включает в себя формирование проекта, первым действием которого является «Планируй»



Модифицированная модель изменений

- Принятие решений, касающихся необходимости изменений в системах, на предприятии занимается подразделение, ответственное за управление изменениями, используя для этого цикл OODA
- Для внесения изменений определяется, запускается и отслеживается проект, направляемый PDCA
- Управление проектом разворачивает технические процессы, подходящие для внесения изменений
- В процессе управления изменениями накапливаются знания, позволяющие улучшить принятие решений в будущем



ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

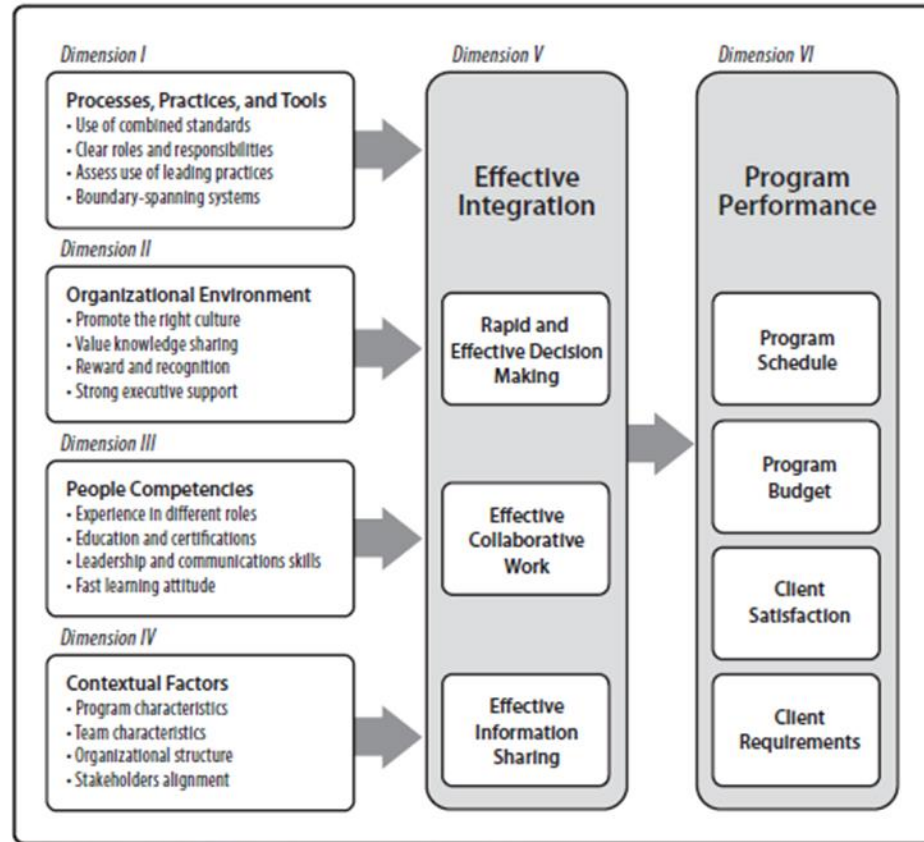
Три направления развития системной инженерии

- Можно выделить три основных элемента развития системной инженерии:
 - Усиление внимания к гибридным методологиям
 - Формирование методологии системы систем
 - Широкое внедрение модели-ориентированной системной инженерии

Гибридные методологии

- Гибридная методология (Hybrid Methodologies) представляет собой сочетание принципов, практик, приемов и инструментов, развитых в рамках различных управленческих подходов, и направленное на разработку систематического процесса, пригодного для адаптации управленческих возможностей к деловому контексту, а также к нуждам и специфике конкретных видов программ
- Цель заключается в достижении максимальных показателей эффективности исполнения программы и выпуска продукции, а также в создании условий для того, чтобы команда программы смогла сбалансировать предсказуемость с гибкостью, снизить риски и увеличить долю инноваций в интересах достижения более высоких результатов в деловой сфере, а также повышения их ценности для всех заинтересованных сторон

Концептуальная модель интеграции управления программами и системной инженерии



Источник: Integrating Program Management and Systems Engineering: Methods, Tools, and Organizational Systems for Improving Performance – Wiley, 2017

Система систем

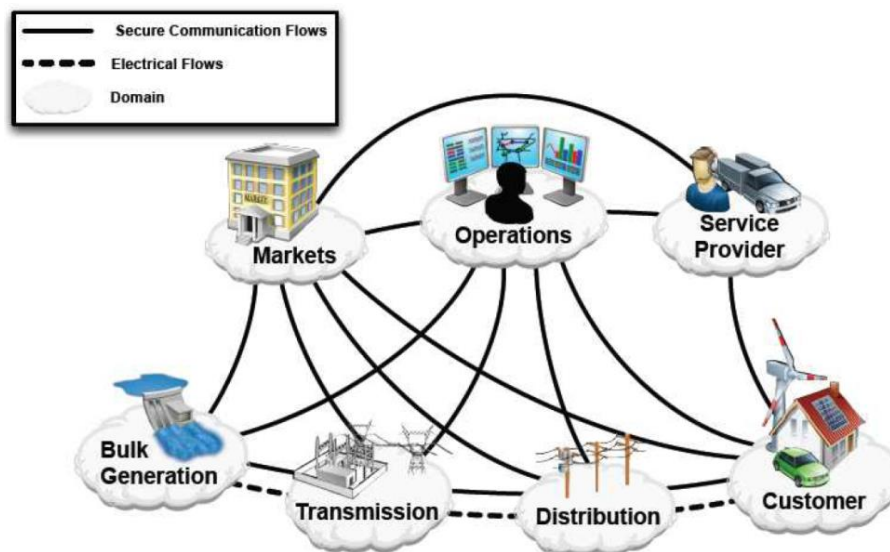
- **Система систем** (System of Systems – SoS) - набор или упорядоченная совокупность систем, возникающая в результате комплексирования независимых и пригодных к работе систем в более крупную систему, обладающую новыми возможностями (ISO/IEC/IEEE 15288:2015)
- Категории SoS:
 - **Виртуальная.** Виртуальная SoS не имеет центрального пункта управления, а также единой согласованной цели. Поведение, характерное для крупномасштабных систем, вероятно, возможно и даже желательно, но SoS такого типа для его поддержания используют слабо выраженные механизмы
 - **Коллаборативная.** Для достижения согласованных общих целей отдельные системы, входящие в состав коллаборативной SoS, взаимодействуют на добровольной основе. Стандарты применяются, но нет никакого центрального органа, который контролировал бы их соблюдение. Основные игроки сообща решают, нужно ли предоставлять (и если нужно, то как предоставлять) услуги, обеспечивая тем самым некоторую степень следования стандартам предоставления услуг
 - **Общепризнанная.** Общепризнанная SoS имеет осознанные цели, назначенного руководителя и выделенные ресурсы. Однако у составляющих ее систем по-прежнему есть независимые владельцы, цели, финансирование, подходы к разработке и обеспечению функционирования. Для внесения изменений в каждую отдельную систему необходимо добровольное сотрудничество между ней и SoS
 - **Целевая.** Целевыми называются интегрированные SoS, которые создаются и управляются для достижения конкретных целей. Они централизованно управляются на протяжении длительного срока службы для выполнения как ранее поставленных, так и новых задач, которые могут представлять интерес для владельцев SoS. Входящие в SoS системы сохраняют возможность работать независимо, но в нормальном режиме их работа подчинена общей цели

Категории SoS

- **Виртуальная.** Виртуальная SoS не имеет центрального пункта управления, а также единой согласованной цели. Поведение, характерное для крупномасштабных систем, вероятно, возможно и даже желательно, но SoS такого типа для его поддержания используют слабо выраженные механизмы
- **Коллаборативная.** Для достижения согласованных общих целей отдельные системы, входящие в состав коллаборативной SoS, взаимодействуют на добровольной основе. Стандарты применяются, но нет никакого центрального органа, который контролировал бы их соблюдение. Основные игроки сообщества решают, нужно ли предоставлять (и если нужно, то как предоставлять) услуги, обеспечивая тем самым некоторую степень следования стандартам предоставления услуг
- **Общепризнанная.** Общепризнанная SoS имеет осознанные цели, назначенного руководителя и выделенные ресурсы. Однако у составляющих ее систем по-прежнему есть независимые владельцы, цели, финансирование, подходы к разработке и обеспечению функционирования. Для внесения изменений в каждую отдельную систему необходимо добровольное сотрудничество между ней и SoS
- **Целевая.** Целевыми называются интегрированные SoS, которые создаются и управляются для достижения конкретных целей. Они централизованно управляются на протяжении длительного срока службы для выполнения как ранее поставленных, так и новых задач, которые могут представлять интерес для владельцев SoS. Входящие в SoS системы сохраняют возможность работать независимо, но в нормальном режиме их работа подчинена общей цели

Smart Grid - пример системы систем

	Домен	Факторы, подлежащие учету
1	Потребители	Конечные пользователи электроэнергии. Могут также генерировать, сохранять и управлять использованием электроэнергии. Выделяется три основных типа потребителей: домохозяйства (резиденты), коммерческие потребители, индустрия
2	Рынки	Операторы и участники рынка электроэнергии
3	Поставщики услуг	Организации, предоставляющие услуги потребителям электроэнергии и коммунальным службам
4	Операторы	Стороны, управляющие предоставлением и поставкой электроэнергии
5	Крупные электростанции	Промышленные установки, генерирующие электроэнергию в больших количествах. Могут также накапливать энергию для дальнейшего распределения
6	Сети	Средства передачи электроэнергии на большие расстояния. Могут также накапливать и производить электроэнергию
7	Распределение	Распределение электроэнергии между потребителями и от потребителей. Могут также накапливать и производить электроэнергию



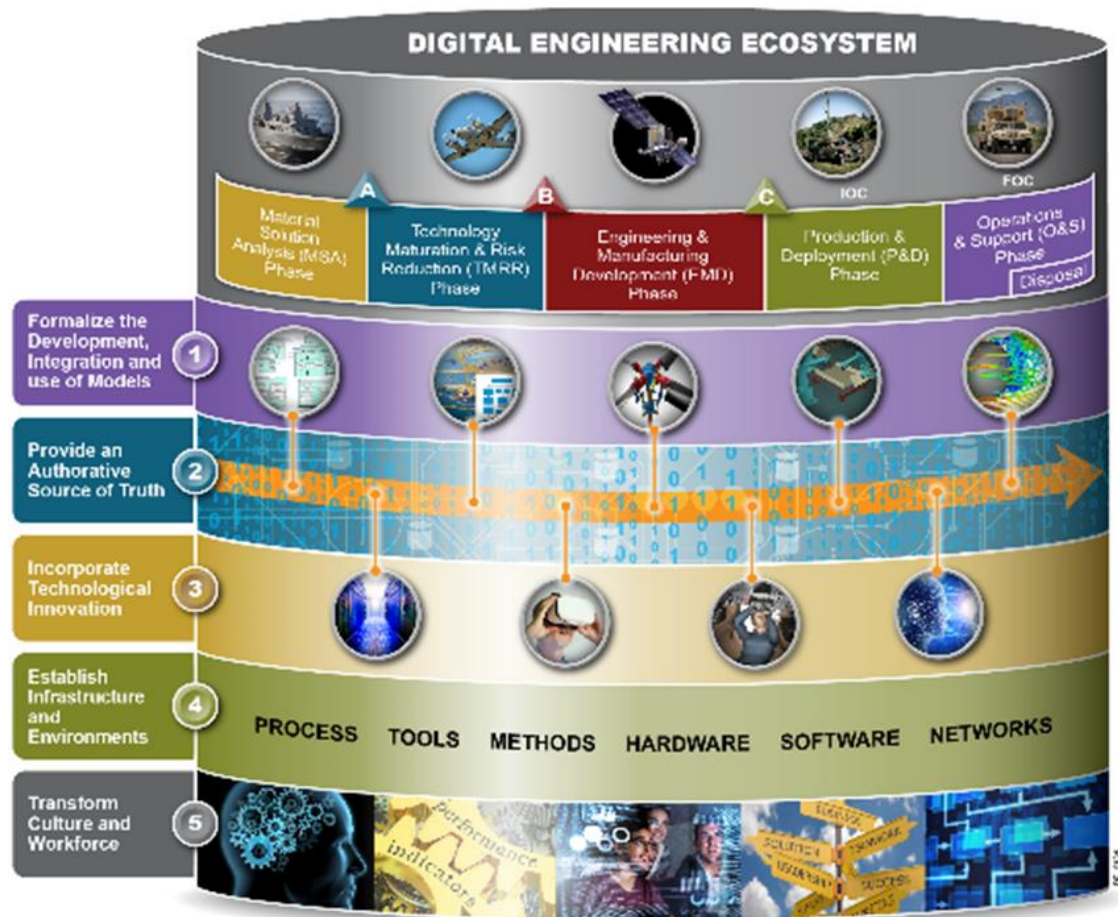
Особенности системы систем (по А. Сэйджу)

Свойство	Характеристика
Функциональная независимость отдельных систем	SoS состоит из систем, которые независимы и пригодны к работе по отдельности. Если SoS разделить на составляющие системы, то каждая сможет выполнять полезные функции независимо от остальных
Административная независимость отдельных систем	Системы, составляющие SoS, не только способны функционировать независимо, но, вообще говоря, так и работают ради достижения поставленной цели. Часто они приобретаются и комплексируются по отдельности и продолжают непрерывно поддерживать свое существование и выполнять свои функции, которые могут отличаться от функций, установленных для SoS
Территориальная распределенность	Системы, входящие в состав SoS, могут находиться далеко друг от друга и могут обмениваться между собой только информацией и знаниями
Эмерджентное поведение	SoS выполняет функции и преследует цели, не обязательно свойственные какой-либо из входящих в ее состав систем. Подобное эмерджентное поведение, свойственно SoS в целом и не характерно ни для одной из входящих в неё отдельных систем
Эволюционное развитие	Разработка SoS обычно ведется эволюционно. Компоненты структуры, функции и цели добавляются, удаляются и изменяются по мере накопления опыта работы с системой. Таким образом, создание типичной SoS никогда не оказывается полностью завершенным
Способность к самоорганизации	SoS имеет динамическую организационную структуру, способную реагировать на изменения в окружении и изменения поставленных целей и задач
Способность к адаптации	Как и развивающаяся организация, сама структура SoS может быть динамичной и реагировать на внешние изменения и восприятие среды

A Roadmap for Advancing the Practice of Model Based Systems Engineering

	Work to Date	Near Term	Longer Term	End State
Enabling Enterprise Systems Engineering	- DoDAF products built as models in modeling tools, not just pictures - Modeling pilots provide valuable experience in building models and using modeling tools - MBSE initiatives are largely stovepiped, not well coordinated	- Demonstrate & document value in MBSE transition projects - Develop interoperable methods, including common metamodels, to enable model sharing at enterprise and system levels - Improve quality and speed of engineering and technical baseline change processes	- Integrate enterprise architecture with system models to provide multi-level insight - Manage technical baselines entirely from model; documents extracted from model - Enterprise CM is model-centric - Standard metamodel enables improved model interoperability	- Improved enterprise situational awareness through federated enterprise and system models - Decisions made based on holistic assessment of impacts across all interfaces and stakeholder perspectives
Improving System Acquisition and Execution Outcomes	- Contractors deploying MBSE more frequently in Government development programs - Aerospace ATR and Workshop on MBSE Guidance for Government-Acquired Programs	- Demonstrate & document MBSE value to near-term development and acquisition programs - Develop approaches to improve mission assurance via MBSE - Refine leading indicators for proactive application of MBSE - Refine practice of model-based SE reviews and audits	- Models facilitate concurrent engineering analysis throughout life cycle to support trades - Broaden application of MBSE across portfolio of programs - MB RFPs and proposals, and MB source selections - Tight integration with specialty engineering models	- Models used as primary means to capture and communicate knowledge across life cycle - Models serve as requirements and deliverables for acquisitions - Modeling eliminates SE escapes, resulting in better, more affordable systems
Institutionalizing Evolved Systems Engineering	- Growing interest in MBSE pilot and demonstration projects provide experience in using multiple tools and methods - Improving stakeholder awareness of benefits of MBSE	- MBSE training at multiple levels - Disciplined processes for MBSE transition effort planning - Reusable framework for MBSE tool evaluation and selection - Collect metrics on MBSE value - Publicize positive experiences to build community confidence	- Standardized metamodel for improved model interoperability - Tools to facilitate model use & updates by non-modelers - Improved visual appeal of model views for non-technical stakeholders - Update IEEE 15288 to better align with MBSE practice	- SE and MBSE are synonymous - Models are used by all as the Single Source of Truth - Interoperable models enable knowledge synergy across domains and organizations - Models are transparent to users - Update IEEE 15288 to reflect MBSE as standard SE practice
Advancing the State of MBSE Tools	- Community effort largely driven by other industries - Shortfalls of existing tools becoming more apparent - Model and data interoperability between tools is still limited	- Improve federation of models with analytical and simulation tools - Improve interoperability of models between MBSE tools - Address classification, information compartmenting, and IP issues	- Model use and updates mostly done by non-model-experts - Data exchanges are largely automated with consistent semantics	- Tool selection driven more by tradeoffs of features than tradeoffs of limitations - Seamless data exchange via common data standards and collaborative frameworks

A Holistic View of Digital Engineering Ecosystem



DoD is shifting towards a Digital Engineering ecosystem that will transform the culture, people, technology, and environments

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формирование новой культуры разработки систем

- Силами международного инженерного и академического сообщества системная инженерия успешно развивается на протяжении почти 70 лет, особенно быстрый прогресс наблюдается в последние 15-20 лет
- Разработана и успешно апробирована совокупность теоретических и практических рекомендаций по созданию сложных систем и управлению их жизненным циклом
- Близок к завершению процесс формирования интегрированной системы международных стандартов и лучших практик, обеспечивающих поддержку деятельности по созданию эффективных систем
- Активно разрабатывается аналитический и прикладной программный инструментарий для поддержки практической реализации этих правил и положений
- По существу сформирована новая культура разработки систем, которая в стала общепризнанной основой исполнения проектов и программ по созданию систем, принимаемой практически всеми компаниями, конкурентоспособными на мировом рынке

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

ВОПРОСЫ?

Для информации



- Батоврин Виктор Константинович, профессор кафедры «Системная инженерия» Института кибернетики РТУ МИРЭА
- E-mail: batovrin@mirea.ru