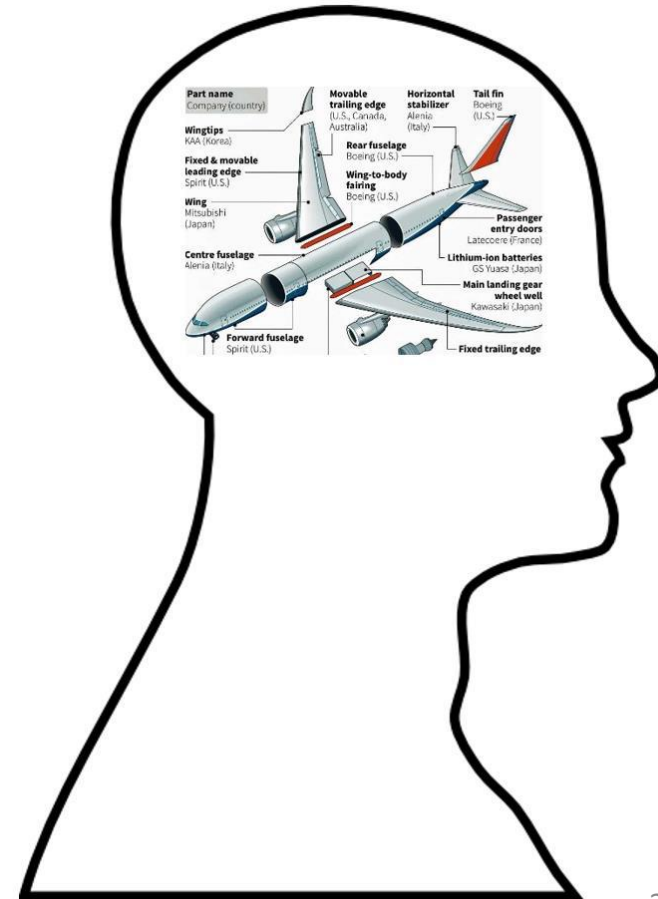


Лекция 6. Методы и стандарты системной инженерии.

ОБЗОР МЕТОДОВ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

Системная инженерия отличается от инженерий по специальности тем, что в ней используются специальные средства мышления о целостности целевой системы: средства **системного мышления**, когда слово “система” обозначает не просто любой объект, а именно систему — и в явном виде используются практики системной инженерии. В инженериях по специальности есть свои способы удержания целостности целевой системы в сборке различных требуемых для её создания деятельности — но эти способы основаны не столько на общих принципах, сколько на глубоком опыте разработки тысяч и тысяч более-менее однотипных систем. Этот опыт достигается специализацией инженерной работы, обучением и воспитанием инженеров-специалистов — в отличие от системных инженеров. Мышление системного инженера междисциплинарно, в отличие от мышления инженеров по специальностям.

Системный инженер (ответственный за успешность системы) также внимательно рассматривает все риски проекта и там, где он считает, что эти риски неоправданно высоки, меняет конструкцию системы (а в части системноинженерного менеджмента ещё и методы проектирования и производства) так, чтобы эти риски не реализовались.



ПОНЯТИЕ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

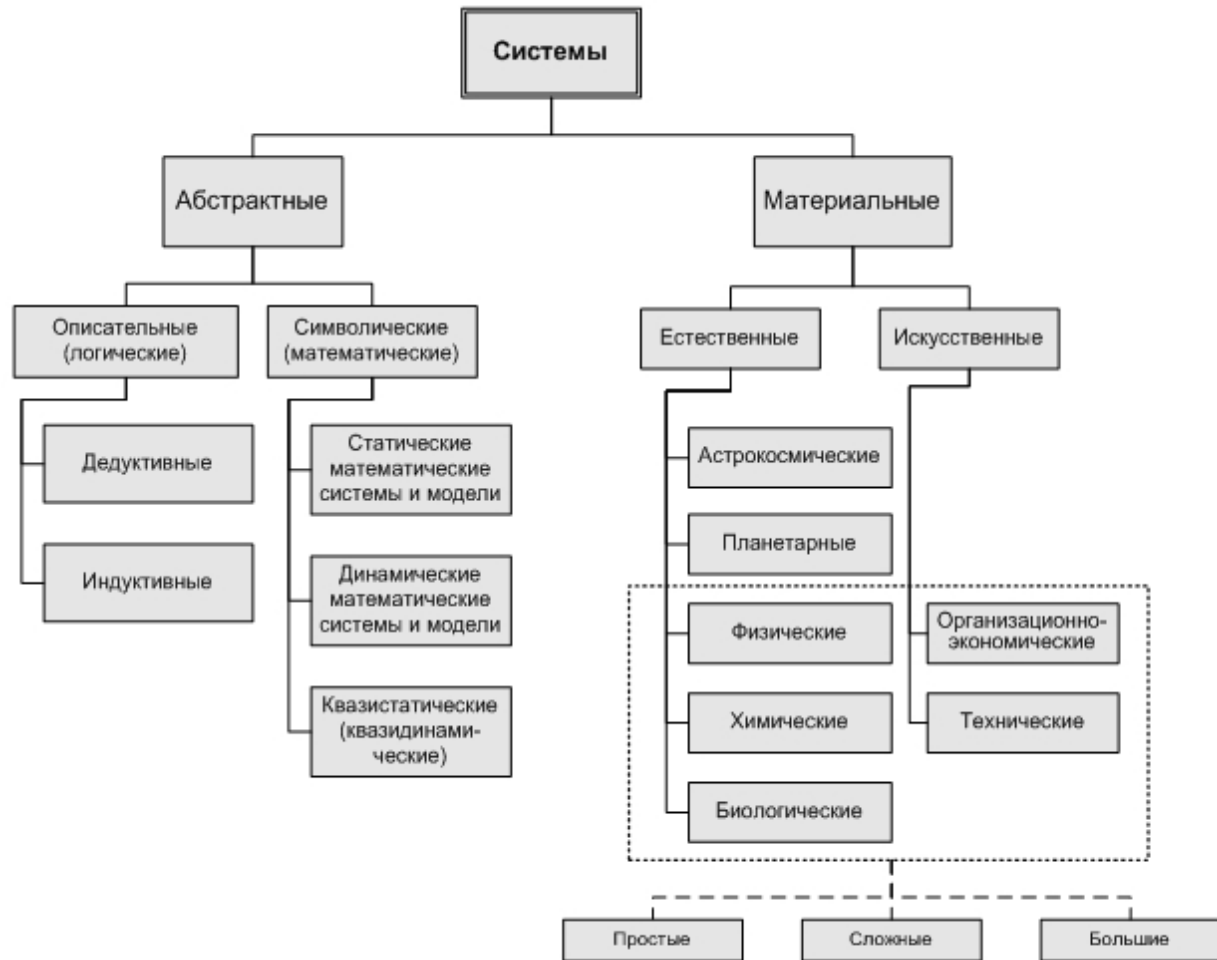
Systems Engineering (SE) is an **interdisciplinary approach** and means to enable the realization of successful systems. It focuses on holistically and concurrently understanding **stakeholder needs**; exploring opportunities; documenting requirements; and synthesizing, verifying, validating, and evolving solutions while considering the complete problem, from system concept exploration through system disposal.

Системная инженерия, или системотехника — это научно-методологическая дисциплина, которая изучает вопросы проектирования, создания и эксплуатации структурно сложных, крупномасштабных, человеко-машинных и социотехнических систем, а также предлагает принципы, методы и средства их разработки.

При разработке и конструировании подобных систем, как правило возникают проблемы, относящиеся не только к свойствам их составных частей (элементов, подсистем и связей), но и к закономерностям функционирования системного объекта в целом и обеспечения его жизненного цикла (общесистемные проблемы), а также широкий круг специфических задач, таких как определение общей структуры системы, организация взаимодействия между подсистемами и элементами, учёт влияния внешней среды, выбор оптимальных режимов функционирования, оптимальное управление системой, связанные технологические процессы и так далее. По мере развития и усложнения инженерно-технических и человеко-машинных систем всё более значительное место в этой области отводится общесистемным вопросам, которые и составляют основное содержание научной (главным образом, математической) системной инженерии. Ответственность за систему как целое и связанная с этим междисциплинарность подхода к другим инженериям отличают системную инженерию от всех других инженерных дисциплин.

ПРИМЕР КЛАССИФИКАЦИИ СИСТЕМ

Система — это совокупность элементов произвольной природы, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которая **образует определённую целостность**. Энергия связей между элементами системы превышает энергию их связей с элементами других систем, тем самым формируя систему в качестве целостного образования. Категория системы задаёт онтологическое ядро системного подхода.



ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

Теоретическую и методологическую основу системной инженерии составляют системный подход и общая теория систем, а также методы исследований с привлечением математической логики, математической статистики, системного анализа, теории алгоритмов, теории игр, теории ситуаций, теории информации, комбинаторики и ряда других.

В системной инженерии тесно переплетены элементы науки и практики. Хотя её основой считают общесистемные теории, системная инженерия, однако, заимствует у них лишь самые общие исходные представления и предпосылки. С одной стороны, системная инженерия располагает методами и процедурами, почерпнутыми из современной науки и созданными специально для неё, что ставит её в ряд с другими прикладными направлениями современной методологии, с другой — в развитии системной инженерии отсутствует тенденция к оформлению его в строгую и законченную теорию. Это связано, прежде всего, с тем, что чрезвычайно высокая сложность и разнообразие крупномасштабных систем существенно затрудняет использование точных формализованных методов при их создании. Поэтому основные концепции, методы и технологии современной системной инженерии формировались, главным образом, в рамках практики успешных разработок.

В настоящее время системная инженерия представляет собой междисциплинарный комплекс исследований, подходов и методологий к построению и эксплуатации сложных систем любого масштаба и назначения в различных областях человеческой деятельности.

ИСТОРИЯ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

Первые разработки в области сложных (преимущественно, инженерно-технических) систем, основанные на системном подходе и системных методах, отмечаются в 1940-х годах в США во время Второй мировой войны.

В послевоенное время значительные успехи науки, техники и технологий наряду с быстро возрастающими потребностями в автоматизации процессов и производств на основе стремительно совершенствовавшихся компьютерных технологий стимулировали начало индустриального создания так называемых крупномасштабных систем высокой сложности. Эти системы отличались как количественными показателями (существенным ростом числа составных частей и выполняемых функций, высокой степенью автоматизации, значительно возросшей стоимостью создаваемых систем и важностью решаемых ими задач и так далее), так и качественными показателями (принципиально иным уровнем организации и управления, высокой сложностью функционирования системы в целом и её составных частей, повышением гетерогенности, необходимостью взаимодействия с другими сложными системами и так далее).

ИСТОРИЯ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ. ПРОДОЛЖЕНИЕ

В основу работ по созданию подобных систем были положены достижения общей теории систем, а также системного анализа, исследования операций, теории информации, вычислительной техники и кибернетики. Эти достижения стали целенаправленно использоваться при комплексном решении инженерных и организационно-управленческих задач, возникающих при создании таких систем, что в итоге привело к появлению нового междисциплинарного методологического подхода, получившего название «**системная инженерия**».

В 1957 году была опубликована одна из первых работ по системной инженерии (*Harry H. Goode, Robert E. Machol. System Engineering: An Introduction to the Design of Large-scale Systems, 1957*). Ее авторы **Г. Х. Гуд** и **Р.-Э. Макол** сформулировали некоторые признаки, которыми должны отличаться создаваемые человеком сложные и крупномасштабные системы.

НЕКОТОРЫЕ ПРИЗНАКИ СЛОЖНЫХ ИСКУССТВЕННЫХ СИСТЕМ

- целостность или единство системы, что подразумевает наличие каких-либо общих целей и общее назначение;
- большие размеры систем, которые, в частности, являются большими и по числу частей, и по числу выполняемых функций, и по числу входов, и по своей стоимости;
- сложность поведения системы, например тем, что изменение одного параметра может повлечь за собой изменение многих других параметров, характеризующих и поведение, и состояние системы;
- высокая степень автоматизации, что позволяет решать не только технические, но и организационно-управленческие задачи;
- нерегулярность поступления внешних возмущений, с вытекающей отсюда невозможностью точного предсказания нагрузки;
- наличие (в большинстве случаев) в составе системы конкурирующих сторон;
- усиление внимания к возможностям и функционированию человека-оператора и существенное повышение роли эффективной организации человеко-машинного взаимодействия;
- повышение требований к использованию адекватных методов, облегчающих принятие решений персоналом;
- появление новых способов организации деятельности по созданию систем с особым акцентом на коллективные методы работы.

ИСТОРИЯ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ. ПРОДОЛЖЕНИЕ

Как самостоятельная дисциплина системная инженерия начала оформляться в конце 1950-х — начале 1960-х годов в рамках общей теории систем, будучи отнесена создателем этой концепции Л. фон Берталанфи к её прикладной (технической) области, наряду с двумя другими методологическими дисциплинами — исследованием операций (Operations Research) и инженерной психологией (Human Engineering) (*Bertalanfy L. von. General System Theory. — A Critical Review. — General Systems. Vol. VII. 1962. P. 1–20*).

В центре внимания системной инженерии оказались вопросы научного планирования, проектирования, оценки, конструирования и эксплуатации систем, создаваемых человеком для удовлетворения установленных потребностей, а также проблемы организации коллективных методов работы при создании таких систем. В качестве первоочерёдного результата системная инженерия предложила комплекс пригодных к адаптации и автоматизации методов разработки систем, сущность которых состояла в применении систематизированного, основанного на системном анализе подходе к принятию решений, обеспечивающих эффективный переход от концепции системы к пригодным для успешной реализации проектным решениям и в конечном счёте к пригодной для использования системной продукции.

Эти методы особенно быстрыми темпами развивались в 1960–1970-х годах в интересах аэрокосмической и оборонной отраслей промышленности в США и ряда связанных с ними крупных государственных проектов.

ИСТОРИЯ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ. МЕТОДОЛОГИЯ ХОЛЛА

В 1965 году А. Д. Холл впервые описал методологию системной инженерии (*Arthur D. Hall. A Methodology for Systems Engineering, 1965*), определив её как организованную творческую технологию и выделив в качестве основы три положения:

1. Системная инженерия **многоаспектна**, и этот факт должен быть обязательно отражён при определении её предмета.
2. В основу деятельности системного инженера должно быть положено понимание, что целью всего процесса системной инженерии является оптимальное проведение функциональных границ между **человеческими интересами, системой** и её **окружением**. В самом же окружении выделяются три главных составных части:
 - 1) физическое и техническое окружение;
 - 2) деловое и экономическое окружение;
 - 3) социальное окружение.
3. Системная инженерия уделяет первостепенное внимание **исследованию потребностей**, в основе которого должно быть положено использование передовых экономических теорий, учёт потребностей рынка и возможность изменения этих потребностей как в настоящем, так и в будущем.

ИСТОРИЯ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ. ПРОДОЛЖЕНИЕ

В течение 1960–1970-х годов системная инженерия на основе объединения достижений различных дисциплин и групп специальностей предоставила методологический базис и средства для успешной реализации согласованных, командных усилий по формированию и реализации деятельности по созданию систем различных классов, отвечающих установленным требованиям, деятельности, которая охватывает **все стадии жизненного цикла системы** — от замысла до изготовления, эксплуатации и прекращения применения. Системная инженерия использовала **достижения других дисциплин** таким образом, чтобы в результате коллективных усилий был сформирован и успешно реализован исчерпывающий набор процессов, необходимых для построения системы в её развитии. На основе сбалансированного рассмотрения и всестороннего учёта как деловых, так и технических потребностей заинтересованных сторон системная инженерия, используя достижения инженерных дисциплин в целях определения технических решений и создания архитектуры систем, оказалась нацелена на формирование таких процессов разработки и жизненного цикла систем, которые позволяют сбалансировать затраты времени и средств в интересах достижения необходимого качества продукции и услуг, обеспечивая тем самым конкурентоспособность создаваемых систем.

СМЕЖНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

- Системный анализ (Systems Analysis).
- Когнитивная системная инженерия (Cognitive Systems Engineering).
- Конфигурационное управление (Configuration Management).
- Автоматическое управление (Control Engineering).
- Промышленная системная инженерия (Industrial Engineering).
- Мехатронная инженерия (Mechatronic Engineering).
- Исследование операций (Operations Research).
- Программная инженерия (Software Engineering).
- Инженерия производительности (Performance Engineering).
- Управление программами и проектами (Program and Project Management).
- Проектирование интерфейсов (Interface Design).
- Системное планирование (Scheduling).
- Инженерная психология (Human Engineering).
- Инженерия безопасности (Safety Engineering).
- Управление рисками (Risk Management).

ИСТОРИЯ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ. ПРОДОЛЖЕНИЕ

К концу XX века развитие науки и технологий, информатизация общества, глобализация экономики, интеграционные процессы вызывают потребность в создании всё более совершенных оборонных, производственных, транспортных, энергетических, коммуникационных и других систем, а также их комплексов. В ответ на требования развития эти системы постоянно усложняются: в составе систем появляется всё больше элементов, границы становятся подвижными, для описания поведения используются всё более трудные для понимания модели.

В современных сложных системах число составляющих их отдельных элементов, которые необходимо согласовать между собой (в проектировании), а часто и создать с нуля (в конструировании) в инженерно-технических системах достигает миллионов, а иногда и миллиардов единиц. Проблема постоянного роста сложности систем существенно обостряется в условиях высокой скорости появления и освоения новых технологий. Помимо указанной проблемы инженерной сложности (которая определяется, главным образом, как число различных элементов, которые включает в себя целевая система), скорость технологических изменений ставит перед создателями систем и другие вызовы (например, заставляет существенно, иногда неоднократно, продлевать жизненный цикл систем, уже введённых в эксплуатацию).

ИСТОРИЯ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ. ПРОДОЛЖЕНИЕ

Усложняются не только системы, но и **деятельность по их созданию**.

В некоторых крупных системных проектах насчитываются тысячи подрядчиков на один проект, причём у каждого подрядчика свой профессиональный язык общения.

Многие системы носят **комплексный и мультидисциплинарный** характер и взаимосвязанным образом включают в себя **технические, информационные и организационные аспекты**.

Требования и спецификации проекта поступают с самых разных сторон и непрерывно меняются.

Создавать такие сложные системы могут только крупные **многодисциплинарные коллективы**, которые требуют соответствующей **междисциплинарной организации в разделении интеллектуального труда**. Вопросы **удержания междисциплинарной целостности** и организации междисциплинарных работ также решает системная инженерия, обеспечивая этот процесс за счёт использования **общего междисциплинарного языка**.

ИСТОРИЯ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ. ПРОДОЛЖЕНИЕ

Учитывая эволюцию, которую в результате технологических изменений и требований глобального развития претерпело понимание системной инженерии, можно констатировать, что с течением времени имело место всё более значительное расширение сферы её применения и содержания её задач.

Сегодня системная инженерия является **методологической основой** организации и осуществления деятельности по созданию систем любого масштаба и назначения. Поэтому и для многих крупных корпораций, занятых на глобальном рынке, и для ведущих мировых технических университетов системная инженерия стала одной наиболее важных дисциплин, овладение которой в целом наряду с углублённым изучением её наиболее важных разделов является обязательным для специалистов, предполагающих заниматься созданием и/или эксплуатацией сложных систем. К настоящему времени силами международного инженерного и академического сообщества 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. Наряду с этим, активно разрабатывается аналитический программный инструментарий для помощи в практической реализации этих правил и положений.

ИСТОРИЯ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ В СССР

Аналогичная системной инженерии дисциплина формировалась в 1960-х годах в СССР под названием «системотехника», после того как в 1962 году вышел перевод указанной выше работы по системной инженерии «*System Engineering: An Introduction to the Design of Large-scale Systems*» Г. Х. Гуда и Р.-Э. Макола. При переводе книги в редакции издательства «Советское радио» было принято решение заменить термин «системная инженерия» вновь изобретённым термином «системотехника» (по неподтверждённым данным его автором является редактор русского перевода книги профессор Г. Н. Поваров, по другим данным профессор Ф. Е. Темников). Поскольку термин «системотехника» в явном виде утверждал узкотехническую направленность данной дисциплины, она довольно быстро получила применение в приложениях системных методов только к техническим направлениям и в итоге утратила первоначальный смысл междисциплинарного подхода и прикладного раздела теории систем, превратившись со временем в узкое научно-техническое понятие из области проектирования инженерно-технических систем и автоматизированных систем управления (АСУ). Активные разработки в области системотехники велись в СССР до середины 1980-х годов. В настоящее время термин «системотехника» не имеет устойчивого применения и относится скорее к области информационных технологий.

ИСТОРИЯ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ В СССР. ПРОДОЛЖЕНИЕ

Некоторые специалисты указывают, что первым крупномасштабным системно-инженерным проектом в СССР можно считать **план ГОЭЛРО**, разработанный в **1920 году** на основе указаний В. И. Ленина. ГОЭЛРО представлял собой **комплексный проект** электрификации России, включавший не только развитие электроэнергетики, но и ряд связанных проектов по индустриализации и развитию инфраструктуры, в свою очередь привязанным к планам развития территорий. Для его реализации была создана Комиссия по разработке плана электрификации под руководством Г.М.Кржижановского, к работе которой было привлечено более 200 учёных и инженеров. Проект был рассчитан на период от 10 до 15 лет с чётким распределением конкретных работ и выдерживанием их сроков, и отличался детальной проработанностью: в нём определялись тенденции, структура и пропорции развития не только для каждой отрасли, но и для каждого региона. В 1935 году, то есть к концу пятнадцатилетнего срока реализации проекта, советская электроэнергетика вышла на уровень мировых стандартов и заняла третье место в мире — после США и Германии. Накопленные при реализации плана ГОЭЛРО методы и опыт были в дальнейшем применены при осуществлении индустриализации СССР, разработке системы планирования экономики и других государственных проектов. Как в теоретическом, так и в практическом аспекте план ГОЭЛРО не имел аналогов в мировой практике, а успешная практическая реализация этого проекта стала обусловила отдельные попытки его копирования в ряде ведущих стран мира. В частности, в период 1923–1931 годов появились аналогичные государственные программы электрификации в США, Англии, Франции, Польше и Японии, однако все они закончились неудачей ещё на стадии планирования и технико-экономических разработок.

ИСТОРИЯ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ В СССР. ПРОДОЛЖЕНИЕ

Начиная с 1960-х годов в СССР активные системно-инженерные разработки велись в области создания автоматизированных систем управления предприятиями (АСУП).

Одной из первых таких систем стала автоматизированная система управления (АСУ) «Кунцево», которая позиционировалась как комплексная или типовая система управления производством Московского радиотехнического завода (20 тысяч сотрудников) на базе использования электронно-вычислительных машин Минск–22 и позднее Минск–32. В результате обобщения накопленного опыта и использования принципов системного подхода в указанных процессах и разработках оборонного значения был издан «Справочник проектировщика систем автоматизации производством», в котором нашли отражение такие понятия как «системный подход», «анализ операций» и «системный анализ».

В 1977–1979-х годах были подготовлены и вступили в силу государственные стандарты (ГОСТ) класса 19 «Единая система программной документации» (ЕСПД). Таким образом, на имеющихся в то время средствах вычислительной техники выделились две системы: АСУ (АСУП) и ЕСПД. Принципы системного подхода, опробованные при создании АСУ «Кунцево», впоследствии широко применялись на предприятиях оборонных министерств.

ИСТОРИЯ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ В СССР. ПРОДОЛЖЕНИЕ

Активное развитие процессов автоматизации производства, совершенствование технической базы и вычислительных машин привело к созданию в 1980–1985-х годах ГОСТ 24 класса «Единая система стандартов автоматизированных систем управления». Система стандартов ГОСТ 24 включала более 20 спецификаций. В ГОСТах этого класса в частности были введены понятия типовых проектных решений в АСУ, способы оценки наиболее важных характеристик АСУ и другие положения. Следует отметить, что стандарты ГОСТ 24, хотя и не обновлялись с конца 1980-х годов, по сей день широко используются на практике.

Обобщение опыта создания систем различного назначения в различных предметных областях привело к созданию и утверждению ГОСТ 34 класса «Информационная технология», изданных в 1989–1995-х годах, который фактически заменил и расширил стадии ГОСТов 19 класса: требования, концепция, техническое задание, эскизный проект, технический проект, рабочая документация, ввод в действие, сопровождение и другие.

Дальнейшее развитие системно-инженерных методов и стандартов в России оставалось в русле информационных технологий и программной инженерии. В середине 2000-х годов в течение короткого периода российские специалисты пытались интегрироваться в мировое сообщество создателей нормативно-технического обеспечения системной инженерии. Они, в частности, приняли участие в разработке стандарта ISO/IEC 15288. Однако в дальнейшем российское участие в работе международного экспертного сообщества, формирующего нормативно-техническое обеспечение системной инженерии, по существу, прекратилось.

ИСТОРИЯ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ В СССР. ПРОДОЛЖЕНИЕ

В целом, в СССР было реализовано большое количество сложных и крупномасштабных системно-инженерных проектов, как гражданских, так и военных. Был накоплен значительный опыт как в области управления проектами и процессами, так и в инженерной области. Однако, поскольку в стране существовал высокий уровень секретности как на ведомственном, так и на общегосударственном уровне, вследствие этого информация об управленческих и инженерных методологиях была и до сих пор остаётся недоступной исследователям, а большинство инженерных руководителей этих проектов уже ушли из жизни.

Всё это привело к тому, что имеющийся советский опыт комплексного создания сложных систем фактически остался вне системы инженерной науки и образования (за исключением отдельных направлений, таких как разработка, создание и внедрение АСУ). В настоящее время немногочисленные примеры российского опыта по комплексному использованию практик системной инженерии можно найти среди отдельных проектов, реализуемых государственными корпорациями «РосАтом» и «РусГидро». По косвенным признакам можно судить об использовании элементов программно насыщенной системной инженерии (программной инженерии) в некоторых крупных российских телекоммуникационных компаниях.

ИСТОРИЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА В СССР

Наряду с практическими разработками, в СССР активно проводились теоретические разработки, основанные на инженерно-методологическом системном подходе, прежде всего в рамках советской школы системного анализа и теории систем, а также школы системо-мыследеятельностной методологии (СМД-методологии).

Предшественником советской школы системного анализа был А. А. Богданов, предложивший в начале XX века концепцию всеобщей организационной науки — тектологии, послужившей предтечей общей теории систем. Первые методики системного анализа в СССР были разработаны Ю. И. Черняком, С. А. Валуевым, Е. П. Голубковым. Затем начался период разработки методик структуризации, основанных на философских концепциях. Для развития этого направления при Всесоюзном научно-техническом обществе радиотехники, электроники и связи в 1973 году был создан семинар «Системный анализ в проектировании и управлении» (Ф. Е. Темников, Ю. И. Черняк, В. Н. Волкова). В дальнейшем отдельные школы системного анализа продолжали системные исследования при высших учебных заведениях.

ИСТОРИЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА В СССР. СМД-МЕТОДОЛОГИЯ

Школа **системо-мыследеятельностной методологии**, которую обычно связывают с именем **Г. П. Щедровицкого**, возникла как методологическое направление в гуманитарном знании, восходящих к идеям Московского методологического кружка (**ММК**), который начал свою работу в 1958 году.

История движения начинается с **1952–1954 годов**, когда образовался Московский логический кружок (А. А. Зиновьев, Г. П. Щедровицкий, Б. А. Грушин, М. К. Мамардашвили и другие). Это был период разработки содержательно-генетической логики, ассимиляции культурно-исторической концепции Л. С. Выготского, запрещённой в те годы в СССР кибернетики и разворачивающихся системных исследований. **В 1950–1970-х годах** участники методологического движения были заняты разработкой теории деятельности и теории мышления, исследованиями в области теории систем и системным проектированием. **С 1979 года** начинается новый этап разработки СМД-методологии, когда возникают исследовательские и проектные группы не только в Москве, но и в других городах. С этого времени основной формой деятельности СМД-методологов становится **организационно-деятельностная игра (ОДИ)**, которая строится по схеме **мыследеятельности**.

ОСНОВАТЕЛЬ ММК Г.П. ЩЕДРОВИЦКИЙ

Георгий Петрович Щедровицкий (1929 — 1994) — советский и российский философ и методолог, общественный и культурный деятель, создатель системо-мыследеятельностной методологии, основатель и лидер Московского методологического кружка, идейный вдохновитель «методологического движения». Кандидат философских наук.

Рассматривал мир как деятельность, разрабатывал методологию мыследеятельности. В результате были разработаны категориальные и операциональные средства для пяти подходов, соответствующих природе мыследеятельности: системомыслительного, системодеятельностного, мыследеятельностного, коммуникативно-мыслительного и системомыследеятельностного.

Эти подходы различаются между собой прежде всего характером основных онтологических схем и характером тех процессов в мыследеятельности, которые они выделяют и фиксируют, но одновременно сходны между собой в том, что они опираются на категорию системы.

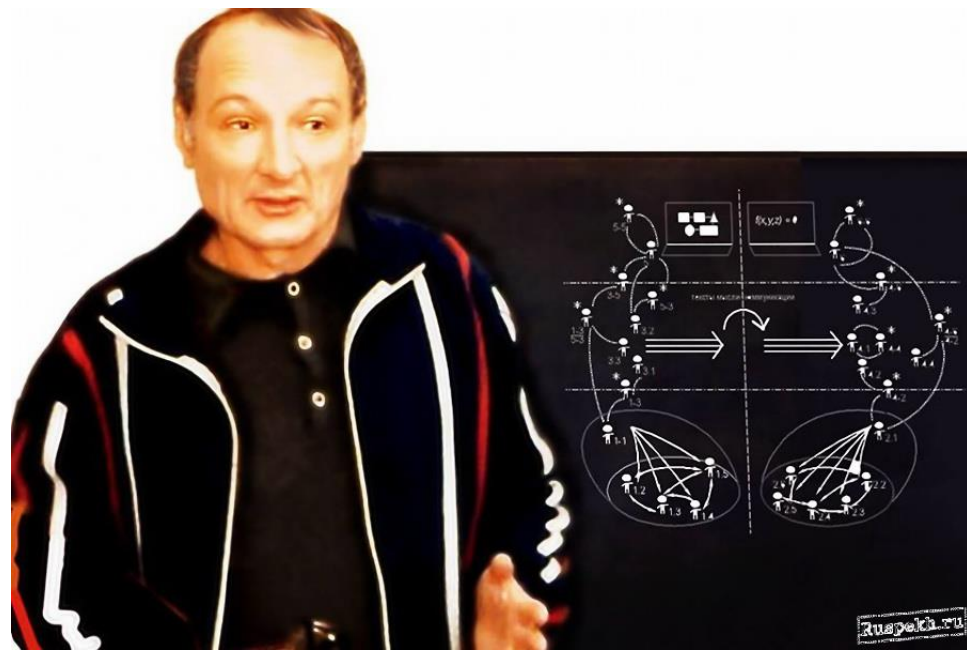
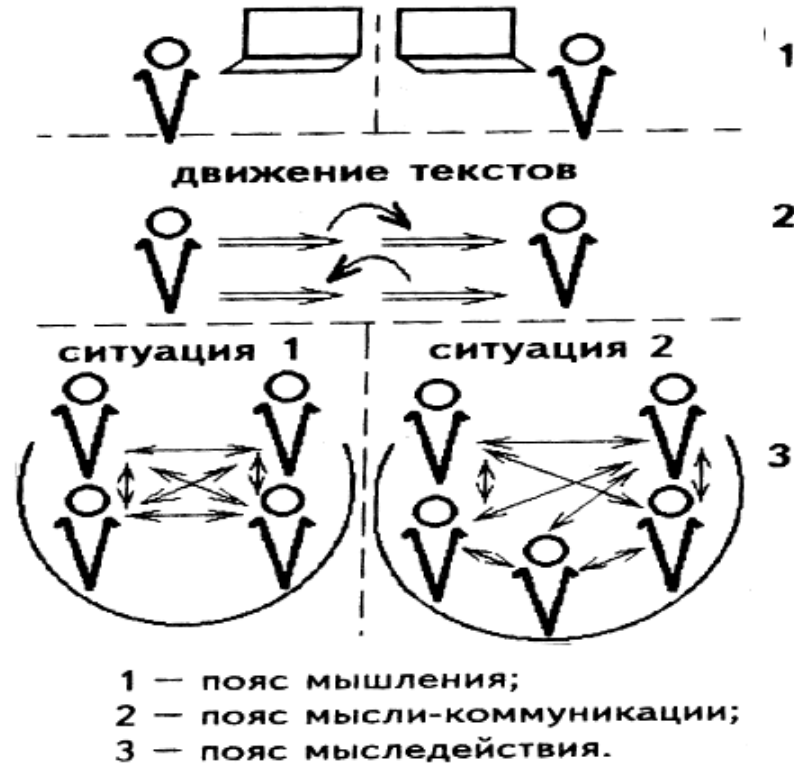


СХЕМА МЫСЛЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Идея мыследеятельности может быть выражена с помощью трёх онтологических положений или принципов, соответствующих «поясам» схемы мыследеятельности.

1. Пояс мыследействия, — существует мыследеятельность, то есть не может быть мышления, отделённого от деятельности, и деятельности, отделённой от мышления.
2. Пояс мысли-коммуникации, — существует мысль-коммуникация, то есть мышление без коммуникации не существует, мышление порождается коммуникацией, проявляется через коммуникацию и реализуется посредством коммуникации.
3. Пояс мышления, — существует чистое мышление, или мыслительная деятельность, осуществляемая посредством невербальных средств (схем, формул, графиков, таблиц, карт, диаграмм и так далее).



СМД-МЕТОДОЛОГИЯ. ИТОГИ

Результаты деятельности СМД-методологов в ряде случаев предвосхитили западные успехи в области системной инженерии. Однако эти результаты с настороженностью принимались советским философским и научным сообществом, учитывая повышенную вовлечённость научных дискуссий и разработок в политические и идеологические процессы в СССР. Немалую роль в этом сыграл сложный и специфический язык, используемый в СМД-методологии, так и достаточно радикальные философские идеи. В результате большая часть работ, сделанных в рамках Московского методологического кружка, осталась неопубликованной, а многие перспективные направления исследований были закрыты после 1968 года. Так, был арестован тираж сборника «Проблемы исследования систем и структур» (1965), монография «Разработка и внедрение автоматизированных систем в проектировании» (1975) вышла в отраслевом издательстве небольшим тиражом и повлекла репрессии против издателей. Ряд участников движения были вынуждены эмигрировать из страны (А. А. Зиновьев, В. Я. Дубровский, В. А. Лефевр и другие). Перспективное системно-инженерное философское направление исследований не получило, таким образом, ни поддержки, ни признания.

НЕКОТОРЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

Определение Карл Людвиг фон Берталанфи, приведённое в книге: Bertalanfy L. von. General System Theory. — A Critical Review. — General Systems. Vol. VII. 1962. P. 1–20.

US Military Standard MIL-STD 499A Systems Engineering. — 1974.

Научное планирование, проектирование, оценка и конструирование систем «человек — машина».

Применение научных и технических усилий для:

1. 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;
2. 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;
3. интегрированного учёта надёжности, 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 утверждённого графика работ.

НЕКОТОРЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ. ПРОДОЛЖЕНИЕ

INCOSE Systems Engineering Handbook.
Version 3.2.2. — October 2011.

Междисциплинарный подход и средства, необходимые для создания успешных систем. Системная инженерия сосредоточена на определении потребностей клиентов и необходимых функциональных возможностей на ранних этапах разработки, на документировании требований и на последующем синтезе проектных решений и валидации системы при условии рассмотрения проблемы в целом: применение системы, затраты и графики работ, характеристики, обучение и сопровождение, испытания, производство, а также прекращение использования и утилизация. Системная инженерия принимает во внимание как деловые, так и технические потребности всех клиентов и заинтересованных сторон с целью предоставления качественной продукции, отвечающей нуждам и потребностям пользователей.

ОСНОВАНИЯ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

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

КОНЦЕПЦИИ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

Основные концепции системной инженерии включают следующие понятия:

1. Система (System).
2. Жизненный цикл (System Life Cycle).
3. Заинтересованные стороны (Stakeholders).

КОНЦЕПЦИИ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ. СИСТЕМА

В системной инженерии рассматриваются не любые, а именно большие (крупномасштабные) и сложные системы.

Общепризнанной границы, разделяющей большие и сложные системы, нет. Однако отмечается, что термин «**большая система**» характеризует **многокомпонентные системы**, включающие значительное число элементов с **однотипными многоуровневыми связями**. **Большие системы** — это пространственно-распределённые системы высокой степени сложности, в которых подсистемы (их составные части) также относятся к категориям сложных.

Дополнительными признаками, характеризующими **большую систему**, являются:

- большие размеры;
- сложная иерархическая структура;
- циркуляция в системе больших информационных, энергетических и материальных потоков;
- высокий уровень **неопределённости в описании системы**.

КОНЦЕПЦИИ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ. СЛОЖНАЯ СИСТЕМА

Термин «**сложная система**» характеризует структурно и функционально сложные многокомпонентные системы с большим числом взаимосвязанных и взаимодействующих элементов различного типа и с многочисленными и разнородными связями между ними. Сложные системы отличаются **многомерностью, разнородностью структуры, многообразием природы элементов и связей, организационной разносопротивляемостью и разночувствительностью к воздействиям, асимметричностью потенциальных возможностей осуществления функциональных и дисфункциональных изменений**. При этом каждый из элементов подобной системы может быть также представлен в виде системы (подсистемы).

К сложной можно отнести систему, обладающую по крайней мере одним из следующих **признаков**:

- система в целом обладает свойствами, которыми не обладает ни один из составляющих её элементов;
- систему можно разделить на подсистемы и изучать каждую из них отдельно;
- система функционирует в условиях **существенной неопределённости** и воздействия среды на неё, что обуславливает **случайный характер изменения её показателей**;
- система осуществляет **целенаправленный выбор своего поведения**.

КОНЦЕПЦИИ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ. ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ

В 1981 году Б. Бланчард и У. Фабрицки описали подход жизненного цикла, который рекомендовали в качестве фундаментальной основы практики системной инженерии (*Blanchard B., Fabrycky W. Systems Engineering and Analysis. — Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1981*). Данный подход предполагает использование системными инженерами понятия жизненного цикла системы в качестве рамочной, организационной основы инженерного мышления, что при создании сложных инженерных объектов позволяет рассматривать все системные аспекты в их полноте и взаимосвязи. *Системный подход в сочетании с подходом жизненного цикла дают системному инженеру надёжную основу для мышления и деятельности на языке систем.*

В системной инженерии **жизненный цикл системы** понимается как **эволюция во времени** системы, продукта, проекта или другой созданной человеком сущности — от концепции, создания и использования до прекращения функционирования или применения (ISO/IEC 15288:2008). Эволюция целевой системы связывается в системной инженерии с прохождением последовательности определённых стадий, увязанных с совокупностью управленческих решений, для обоснования которых используются объективные свидетельства того, что система на принятом уровне материализации является достаточно зрелой для перехода от одной стадии жизненного цикла к другой. При этом, на каждом этапе жизненного цикла система имеет относительно стабильный набор характеристик.

При **моделировании жизненного цикла** используются совокупности процессов жизненного цикла. Для этого имеется ряд нормативно-технических документов, содержащих описание полной совокупности процессов, необходимых для моделирования жизненного цикла широкого спектра систем, создаваемых человеком.

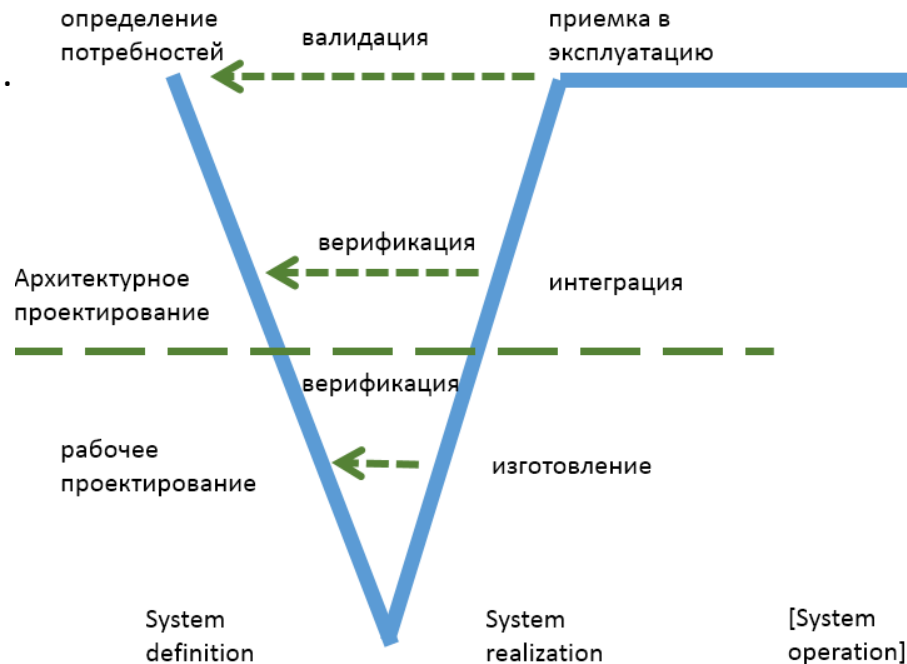
КОНЦЕПЦИИ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ. ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ

V-диаграмма (V-model)

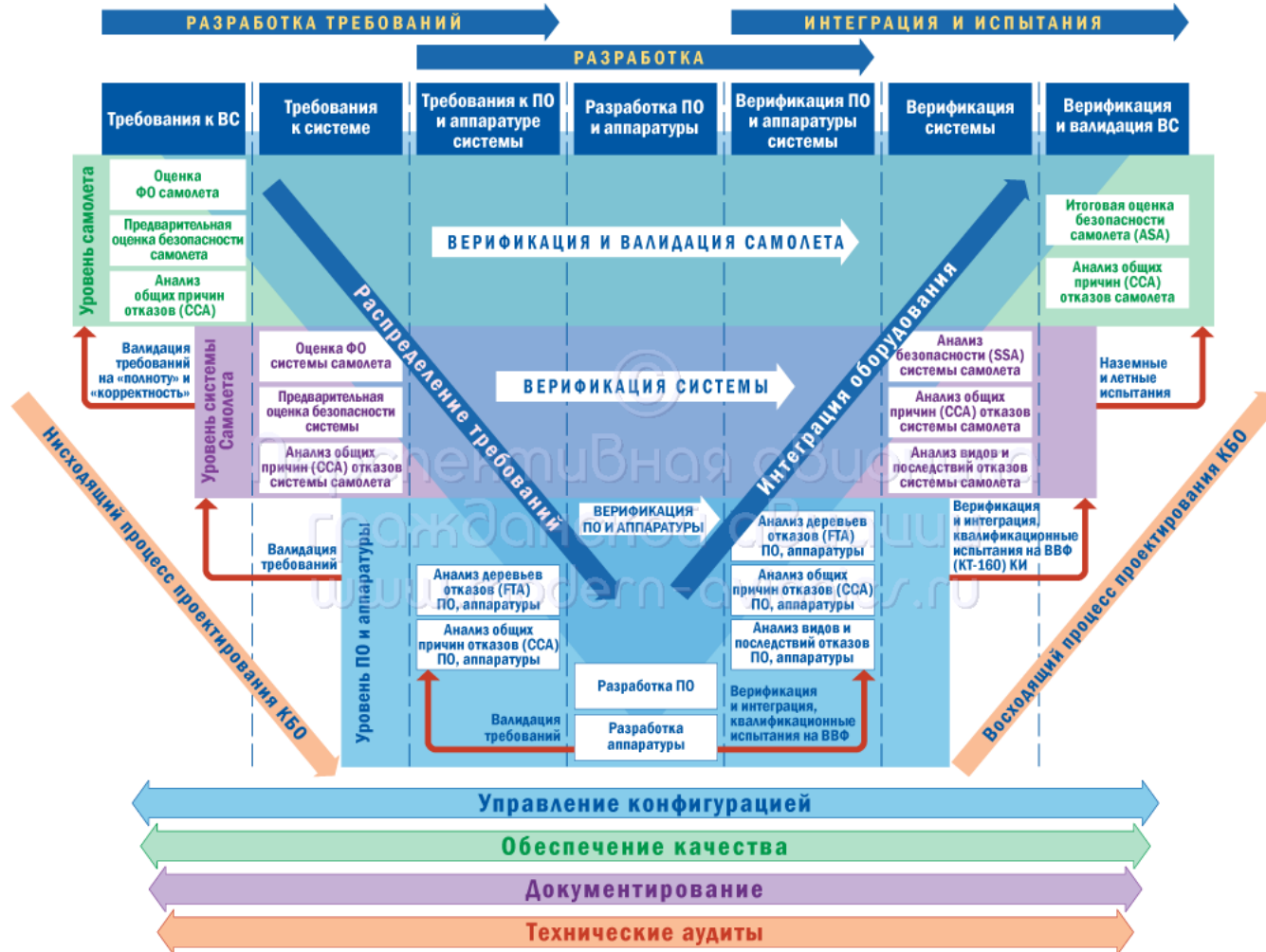
Показывает вариант вида жизненного цикла “водопадного” жёсткого стиля: “каскад” перегнут в точке “изготовления” (перехода от стадий определения системы к стадиям реализации системы).

V-диаграмма отражает:

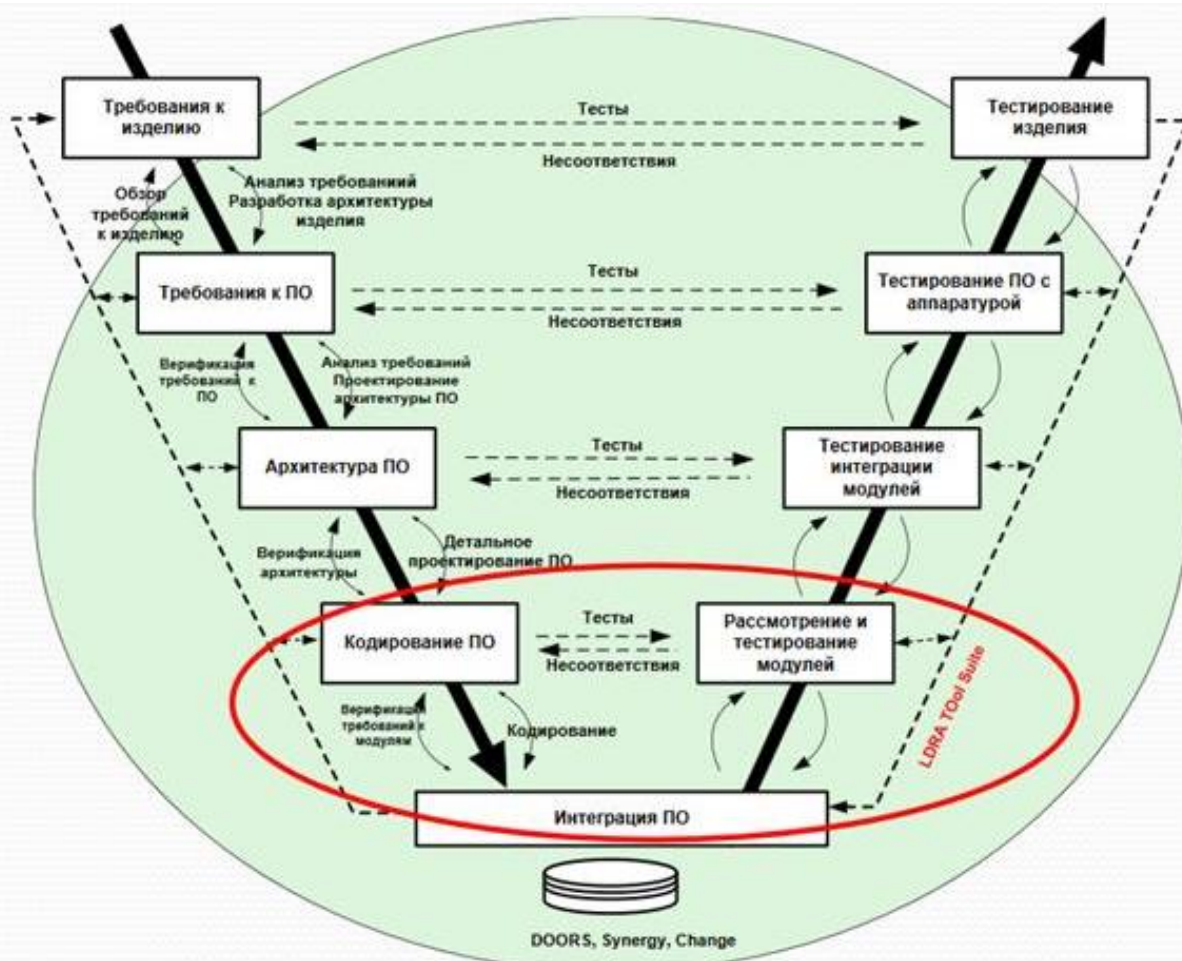
- Фундаментальную разницу между практиками определения системы (работы с информацией), реализации системы (работы с веществами и полями), а также использованием системы.
- Соответствие определений и воплощений системы, поддерживаемое через проверки (верификация) и приёмки (валидация)
- Ведущие практики жизненного цикла
- Разницу между системноинженерными практиками (выше пунктирной линии), имеющими дело с системой в целом и “обычными” инженерными практиками, имеющие дело с частями системы.
- Взаимодействие между практиками.



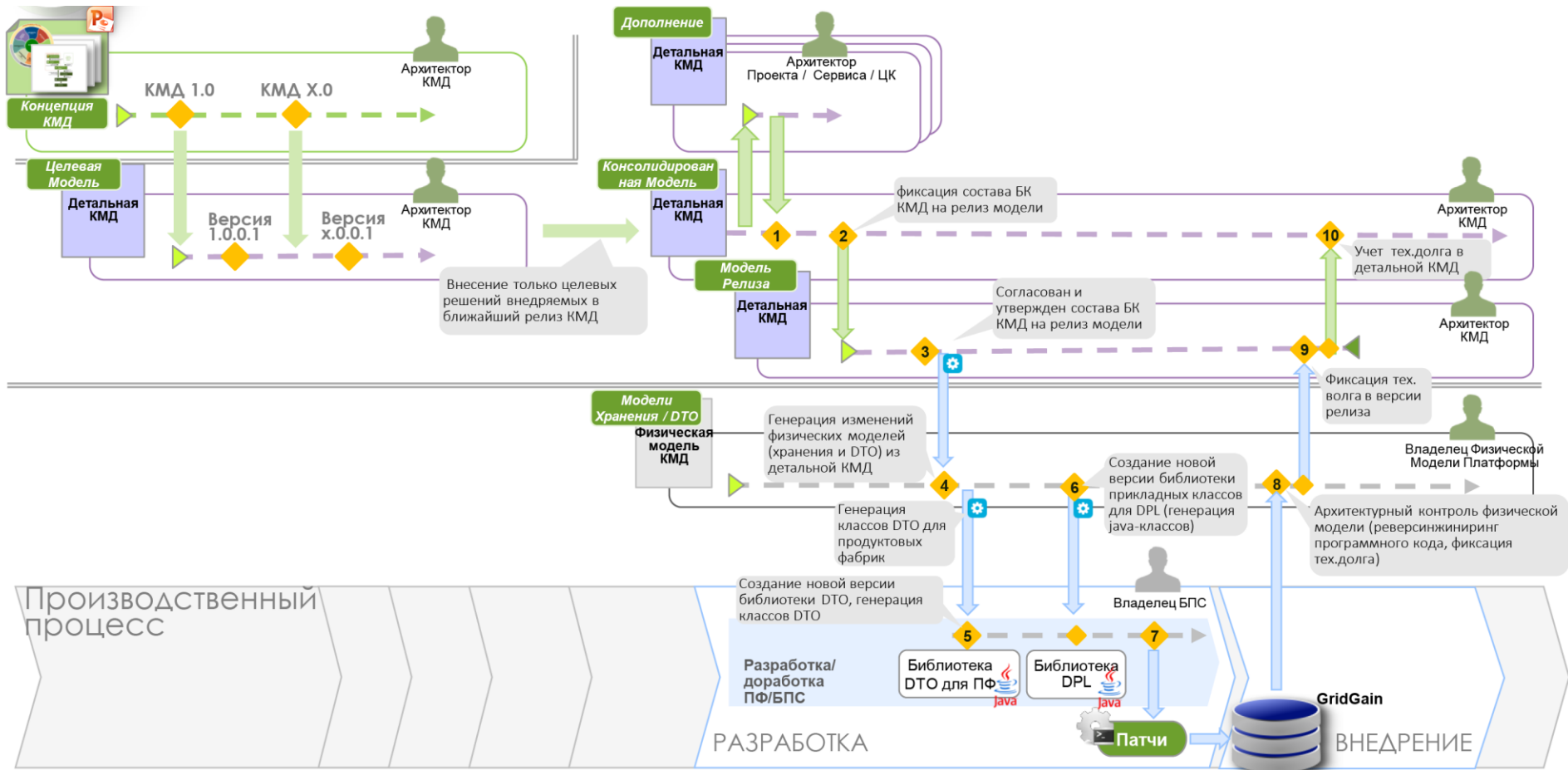
V-ДИАГРАММА ЖЦ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КБО



V-ДИАГРАММА ЖЦ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПО



ЖЦ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПО БАНКА НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ



КОНЦЕПЦИИ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ. ЗАИНТЕРЕСОВАННЫЕ СТОРОНЫ

С первых шагов своего развития и по настоящее время, системная инженерия в качестве основы деятельности по созданию систем выделяет необходимость комплексного учёта потребностей заинтересованных сторон.

В системной инженерии **заинтересованная сторона** понимается как лицо или организация, имеющие права, долю, требования или интересы к системе или к использованию её свойств, отвечающих их потребностям и ожиданиям (ISO/IEC 15288:2008).

Заинтересованные стороны преследуют **различные цели**, которые должны быть гармонично учтены на основе **баланса их интересов**, в том числе через регулирование отношений: между группами заинтересованных сторон; между заинтересованными сторонами и объектом интереса.

Выявление ключевых заинтересованных сторон и их интересов, вопросы анализа баланса интересов заинтересованных сторон с учётом механизмов их возникновения и необходимости гармонизации точек зрения, а также оценка относительной степени влияния разных заинтересованных сторон на принимаемые решения является в системной инженерии **критически важной задачей**.

ПРИНЦИПЫ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

1. Переход от редуccionистского к системному подходу.
2. Переход от монодисциплинарного к междисциплинарному подходу.
3. Переход от структурного к процессному подходу.
4. Переход от рабочего проектирования и конструирования к архитектурному проектному подходу.
5. Переход от непосредственной реализации к моделицентричной реализации.
6. Переход от одной группы описаний ко множественности групп описаний.
7. Переход от приоритета документов к приоритету данных.
8. Переход от единой верификации к отдельным верификации и валидации.
9. Переход от управления жизненным циклом как «технологическим конвейером» к «заказам-поставкам».
10. Переход от работы «для одного заказчика» к работе со множеством заинтересованных сторон.
11. Переход от методов жёсткого планирования к использованию гибких прогнозных методов.

БАЗОВЫЕ ПРИНЦИПЫ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ 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 своём 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 системной инженерии состоит в выборе (описании, проектировании, селекции) «правильных» составных частей, их соединении между собой так, чтобы достигалось необходимое взаимодействие и в правильном сочетании этих взаимодействий таким образом, чтобы достигались необходимые свойства целого.
3. **Холизм (Holism)** — при принятии решений проблема, её решение и система рассматриваются в целом.
4. **Органицизм (Organicism)** — свойства и поведение систем рассматриваются в динамике, причём в основе деятельности системного инженера лежат скорее **представления о развитии биологического организма**, нежели механистическая метафора классического инженерного подхода.

Hitchins D. What are the General Principles Applicable to Systems? — INCOSE INSIGHT. — V. 12, Issue 4. — December 2009. — pp. 59–64

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПРИНЦИПЫ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ ПО Д.ХИТЧИНСУ

1. **Адаптивная оптимизация (Adaptive Optimizing)** — проблемы следует решать постепенно во времени, то есть 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. Наиболее важный аспект адаптивной оптимизации — обеспечение возможности непрерывного улучшения характеристик системы для сохранения оптимальной эффективности в условиях изменений в среде функционирования.
2. **Постепенное уменьшение энтропии (Progressive Entropy Reduction)** — процесс системной инженерии продолжается на протяжении всего жизненного цикла 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.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ПРИНЦИПЫ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ ПО Д.ХИТЧИНСУ. ПРОДОЛЖЕНИЕ

3. **Разумная достаточность (Adaptive Satisfying)** — успешная системная инженерия включает процесс непрерывной адаптации требований к системе и решений для получения результатов, которые в данных условиях позволяют в наибольшей степени удовлетворить критически важные заинтересованные стороны. Это включает две составляющих:
- 1) система успешна тогда и только тогда, когда с её помощью добиваются успеха все ключевые заинтересованные стороны;
 - 2) для того, чтобы система позволяла ключевым заинтересованным сторонам добиться успеха требуется:
 - идентифицировать все критически важные заинтересованных сторон;
 - определить, в чём видят успех заинтересованные стороны;
 - договориться с заинтересованными сторонами о взаимовыгодном наборе планов создания и производства системы, а также реализации процессов;
 - контролировать, с учётом баланса интересов заинтересованных сторон, реализацию планов, включая адаптацию к происходящим изменениям.

ПРИНЦИПЫ УСПЕШНОЙ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ Б. БОЭМА

Коллектив во главе с Б. Боэмом, предложил, применительно к программно-насыщенным системам, четыре принципа успешной системной инженерии (*Boehm B. et al. Principles for Successful Systems Engineering. — Procedia Computer Science — № 8, 2012. — pp. 297–302*):

1. Описание и развитие системы в разрезе ценности для заинтересованных сторон (**Stakeholder Value-based System Definition and Evolution**) — система будет успешной тогда и только тогда, когда в выигрыше окажутся все критически важные заинтересованные стороны.
2. Поэтапный рост ответственности и обязательств (**Incremental Commitment and Accountability**) — доверие между заинтересованными сторонами невозможно установить в отсутствии ведущих специалистов, отвечающих за создание системы. С другой стороны, критически важные заинтересованные стороны должны нести ответственность за свои обязательства и своевременно обеспечивать их выполнение, а также принятие необходимых решений.
3. Согласованное мультидисциплинарное описание и разработка системы (**Concurrent Multidiscipline System Definition and Development**) — для понимания потребностей, анализа обстоятельств, выявления целей и определения требований, а также для разработки архитектурных решений и проектирования системы, включая аппаратное и программное обеспечение, а также операторов и, наконец, для получения свидетельств осуществимости решения, важно придерживаться правила параллельной, а не последовательной организации работ.
4. Доказательно обоснованное принятие решений на основе фактов и с учётом риска (**Evidence and Risk-driven Decision Making**) — наиболее важным фактором при принятии решений является наличие доказательно обоснованного факта, а не плана, графика или календарного события.

МЕТОДЫ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

Работа в области системной инженерии начинается с определения потребностей заинтересованных сторон и необходимой функциональности, управления множеством (функциональных и нефункциональных) требований, которые затем должны быть преобразованы в ответный рабочий проект системы и её архитектуру при помощи синтеза проектных решений, после чего система проходит этапы верификации и валидации.

В обобщённой форме набор методов (процессов) системной инженерии включает, как минимум, следующие действия, которые необходимы для получения оптимальной системы:

- обеспечение надёжного проектного репозитория, который поддерживает необходимые инструменты для совместной работы множества специалистов над мультидисциплинарной информацией в ходе создания системы и управления её жизненным циклом;
- точную оценку доступной информации и определение недостающей;
- точное определение критериев производительности и эффективности, которые определяют успех или неудачу системного проекта;
- получение и анализ всех исходных требований, которые отражают запросы пользователей и цели заинтересованных сторон;
- проведение системного анализа для разработки проектных решений, отражающих поведение системы, которые должны соответствовать всем функциональным требованиям и требованиям к производительности;
- распределение всех поведенческих элементов системы по соответствующим (подходящим) им элементам архитектуры;
- проведение анализа компромиссных решений по альтернативным проектным решениям или архитектуре для поддержки процесса принятия решений;
- создание исполняемых моделей для верификации и валидации работы системы.

МЕТОДЫ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ. ПРОДОЛЖЕНИЕ

Совокупность типовых, повторяющихся действий получила особое название — процессы системной инженерии (Systems Engineering Process) или методы системной инженерии (Systems Engineering Method).

Все известные методы (процессы) системной инженерии предполагают итеративное применение процедур синтеза, анализа, оценки:

1. **Синтез** включает формирование определённой совокупности нужд и требований клиента и других заинтересованных сторон, описанных на языке функционирования. Основными элементами обеспечения синтеза являются команда разработчиков, а также традиционные и компьютерно-ориентированные инструменты синтеза. Существующие и вновь спроектированные, компоненты, узлы и подсистемы комплексируются в виде, пригодном для анализа и оценки.
2. **Анализ** вариантов системных решений включает вычисление и предсказание значения параметров, зависящих от конструктивных решений (технических характеристик), а также определение или предсказание параметров, не зависящих от конструктивных решений. Во всех случаях используется информация о физических процессах и явлениях, техническая информация, а также экономическая информация, хранящаяся в базах данных. Системный анализ и исследование операций являются необходимыми шагами на пути оценки проектных вариантов системы, но требуется обязательная адаптация соответствующих моделей и методов к особенностям предметной области. Оценка подразумевает, что каждый вариант решения (или альтернатива) оценивается в сравнении с другими вариантами, а также проверяется на соответствие требованиям заинтересованных сторон.
3. **Оценка** каждого из вариантов выполняется после получения сведений о его характеристиках, зависящих от конструктивных решений. Данные о характеристиках, не зависящих от конструктивных решений, являются внешними факторами, которые используются по отношению ко всем кандидатам, подвергаемым оценке.

Итеративное использование **триады «синтез — анализ — оценка»** — принципиально важная особенность методов (процессов) системной инженерии.

СТАНДАРТИЗАЦИЯ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

Наиболее важные аспекты, связанные как собственно с современными процессами разработки систем, так и с управлением их жизненным циклом, нашли наиболее полное и формализованное отражение в комплексе международных стандартов, ставших ключевым компонентом методологического базиса современной системной инженерии. Такие стандарты выделены в семейство стандартов системной и программной инженерии, развитие которых идёт путём совершенствования системы официальных международных стандартов, а также за счёт ускоренного формирования развитого набора фактических стандартов.

В целом, стандарты системной инженерии разрабатываются как **открытые универсальные спецификации**, имеющие **рамочный характер** и **применяемые на добровольной основе**. Они требуют адаптации к условиям организации или проекта и, соответственно, **высокой квалификации использующего их персонала**, поскольку **регламенты в области системной инженерии не разрабатываются**.

Основным **объектом стандартизации** в области системной инженерии сегодня являются процессы создания систем, кроме того, **стандартизируются методы оценки качества и зрелости этих процессов**, а также **способы описания системных артефактов**.

Ведутся работы по **гармонизации комплекса стандартов системной инженерии** с постепенным формированием единого информационного пространства нормативного обеспечения деятельности по созданию сложных систем.

ОСНОВНЫЕ ОРГАНИЗАЦИИ В ОБЛАСТИ СТАНДАРТИЗАЦИИ

Признанные международным индустриальным сообществом стандарты и нормативные руководства по системной инженерии разрабатываются, в основном, тремя организациями:

1. Седьмой подкомитет Объединённого технического комитета Международной организации стандартизации (International Standard Organization; ISO) и Международной электротехнической комиссии (International Electrotechnical Commission; IEC) «Системная и программная инженерия» (ISO/IEC JTC1/SC7 Software and Systems Engineering).
2. Институт инженеров электротехники и электроники (Institute of Electrical and Electronics Engineers; IEEE).
3. Международный совет по системной инженерии (International Council on Systems Engineering; INCOSE).

Работы по стандартизации в области системной инженерии по согласованным программам проводятся начиная с 1995 года.

Существенный вклад в разработку нормативной базы системной инженерии внесли Альянс отраслей электронной промышленности (Electronics Industries Alliance; EIA), Институт программной инженерии Университета Карнеги-Меллон (Software Engineering Institute Carnegie Mellon University; SEI CMU), Международная ассоциация по управлению проектами (International Project Management Association; IPMA) и ряд других. Активную работу по построению связанного семейства стандартов ведёт Технический комитет 184 «Системы промышленной автоматизации и интеграция» (ISO/TC 184 Industrial Automation Systems and Integration). В целом, сегодня в составе комплекса стандартов системной инженерии имеется порядка 40 действующих спецификаций, примерно 20 документов находятся на различных этапах разработки.

МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОВЕТ ПО СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ INCOSE

Международный совет по системной инженерии INCOSE - международная организация, сосредоточенная на развитии методологии и практики системной инженерии в интересах промышленности, науки и образования, а также государственных структур (<http://www.incose.org>).



В составе INCOSE около 10000 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 60 отделений, действующих по всему миру.

INCOSE поддерживает сеть обучения, повышения квалификации и сертификации в области системной инженерии, которая оказывает существенное влияние на стандарты, государственную политику, и университетские образовательные программы.

Российское отделение INCOSE функционирует с 2009 года и насчитывает около 50 членов.

Блог в Живом Журнале: http://community.livejournal.com/incose_ru/ (протоколы заседаний, фотографии, видео, обсуждения).

COUNCIL OF ENGINEERING SYSTEMS UNIVERSITIES - CESUN

Повышение значимости системной инженерии, включая системный подход и системное мышление для инженеров, вызвало необходимость формирования новой академической среды, сосредоточенной на проблемах подготовки специалистов, способных создавать инженерные системы будущего.

В 2004 году по инициативе Массачусетского технологического института создан Совет 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.

Деятельность CESUN исходит из того, что создание современных инженерных систем это область междисциплинарных исследований, где требуется по-новому учесть достижения технологий, а также управленческих и социальных наук.

Основные усилия CESUN сосредоточены в следующих направлениях:

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



ОСНОВНЫЕ СТАНДАРТЫ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

ISO/IEC/IEEE 15288:2015(E) «*Systems and software engineering — System life cycle processes*» (ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005 Информационная технология (ИТ). Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем) – является базовым стандартом системной инженерии.

Стандарт задаёт само понятие системы и жизненного цикла, различает целевую и обеспечивающую системы, вводит понятие практик жизненного цикла. Последняя версия стандарта была принята в мае 2015 года, до этого была версия 2008 года, а в России действует официальный перевод 2005 года международной версии 2002 года ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005.

В новой версии стандарта сформулирован перечень практик (другой по сравнению с российским официальным вариантом), которые должны выполняться системными инженерами и менеджерами на всех стадиях жизни системы. И здесь речь идет не только о специфических технических практиках, но и о таких практиках, как подрядные отношения, управления проектами и портфелями, риск-менеджмент, управление человеческими ресурсами.

По сравнению с прошлой (и тем более переведённой на русский позапрошлой) версией данного стандарта среди перечня технических практик появились практики анализа бизнеса, определения потребностей и требований стейкхолдеров, управления знаниями и другие.

ОСНОВНЫЕ СТАНДАРТЫ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

ISO/IEC/IEEE 42010:2011 «*Systems and software engineering — Architecture description*» (ГОСТ Р 57100-2016/ISO/IEC/IEEE 42010:2011 *Системная и программная инженерия. Описание архитектуры*).

Стандарт, задающий множественность описаний в рамках деятельностного подхода. Стандарт реализует системный подход, предполагающий множественность связанных частных описаний, документированных в различных информационных системах в соответствии с различными методами описания. Эти методы описания отображают многообразные интересы различных стейкхолдеров.

«Чтобы помочь управлению сложными системами, с которыми столкнулись заинтересованные стороны, все чаще применяются понятия, принципы и процедуры процесса архитектуризации. Осмысление архитектуры системы, выражаемой в описании архитектуры, способствует пониманию системной сути и основных свойств, имеющих отношение к ее поведению, составу и развитию. А они, в свою очередь, воздействуют на интересы, например такие, как выполнимость, полезность и сопровождаемость системы. ...стандарт обращается к созданию, анализу и самообеспечению архитектур систем с помощью описаний архитектуры.

Настоящий стандарт обеспечивает основную онтологию для описания архитектуры. Условия настоящего стандарта способствуют реализации желаемых свойств описаний архитектуры. В стандарте также определены условия для реализации желаемых свойств структур архитектуры и языков описания архитектуры в порядке целесообразной поддержки разработки и использования описаний архитектуры. В стандарте содержатся основы для сравнения и объединения структур архитектуры и языков описания архитектуры путем обеспечения общей онтологии для определения их содержания».

ОСНОВНЫЕ СТАНДАРТЫ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

ISO/IEC 81346-1:2009 *«Industrial systems, installations and equipment and industrial products — Structuring principles and reference designations — Part 1: Basic rules»*

— *Structuring principles and reference designations — Part 1: Basic rules»*

(«Производственные системы, установки и оборудование и промышленная продукция.

Принципы структурирования и условные обозначения. Часть 1. Основные правила») —

используется для **минималистичного описания структуры системы во множестве её**

ипостасей (функциональной-компонентной, продуктной-модульной и места) и системы

обозначения сложных инженерных объектов. Этот стандарт является фундаментом для

управления конфигурацией в ходе жизненного цикла.

ISO 15926-2:2003 *«Industrial automation systems and integration — Integration of life-cycle*

data for process plants including oil and gas production facilities — Part 2: Data model»

(ГОСТ Р ИСО 15926-2-2010 *Системы промышленной автоматизации и интеграция.*

Интеграция данных жизненного цикла для перерабатывающих предприятий, включая

нефтяные и газовые производственные предприятия. Часть 2. Модель данных).

Используется для моделирования данных развёрнутых (полных) описаний инженерных

объектов. Обеспечивает федерирование развёрнутых описаний в различных

информационных системах жизненного цикла. Стандарт представляет системы как 4D

объекты, предполагая их пространственно-временную протяжённость.

ОПИСАНИЯ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ СОГЛАСНО ISO/IEC 81346-1

В стандарте ISO/ IEC 81346-1 используются три способа описания системы:

- Компонеты;
- Модули;
- Размещения (Места).

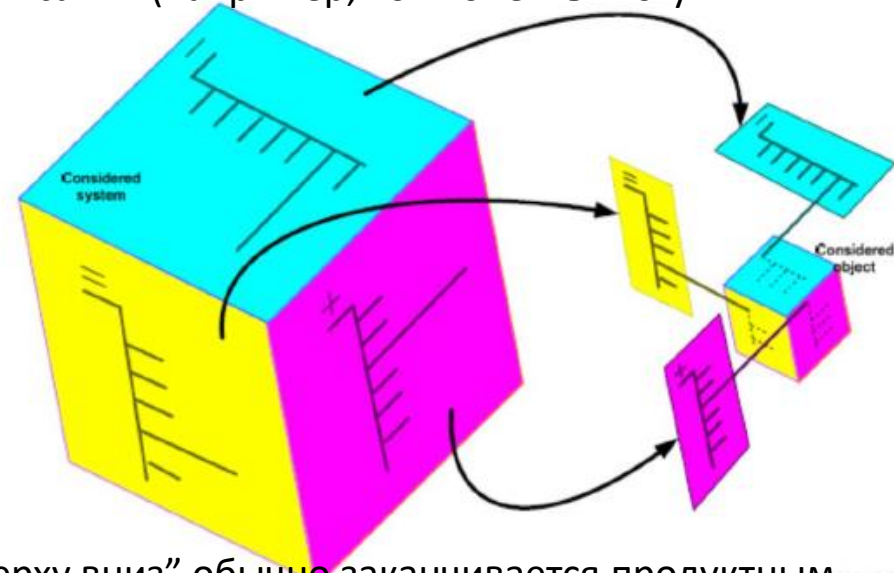
В стандарте принято давать обозначения **компонентам** (определяемым там как **функциональный аспект объекта, function aspect**), начинающиеся с префикса «=» (например, сопротивление на радиосхеме может быть обозначено =R1).

Модуль — это элемент конструкции, продукт, сборочная единица, **физический объект (product aspect)** . Это «исполнитель» роли компоненты. Модули связываются друг с другом через «интерфейсы», которые прежде всего рассматриваются с точки зрения их “видимости” (доступности для подключения модулей друг к другу). Модули взаимозаменяемы на своих интерфейсах, поэтому одну и ту же компоненту могут играть несколько разных модулей. Перед обозначением модуля ставится дефис: «-», это называется «продуктный аспект объекта». Каждая система характеризуется своим местом в 3-х мерном пространстве, которое она занимает (**location aspect**). **Размещения** тесно связаны с логистическим аспектом инженерного проекта, они крайне важны для менеджеров (планы работ часто привязываются именно к размещениям). Для обозначения размещений в стандарте принят префикс «+».

ПРАВИЛА СТРУКТУРИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ СОГЛАСНО ISO/IEC 81346-1

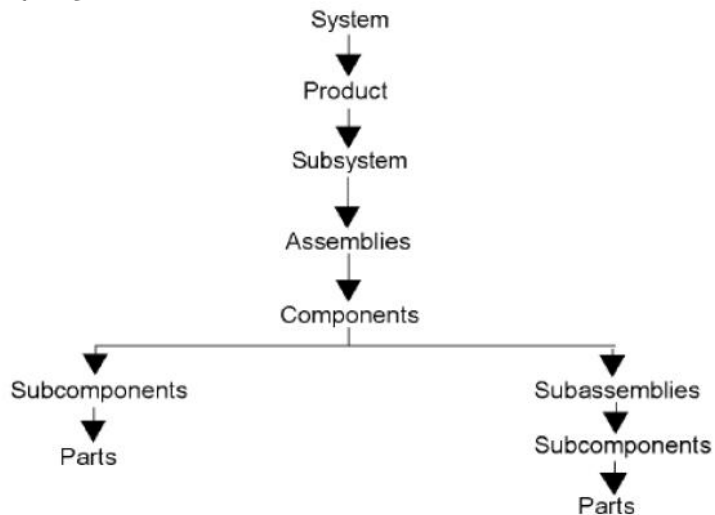
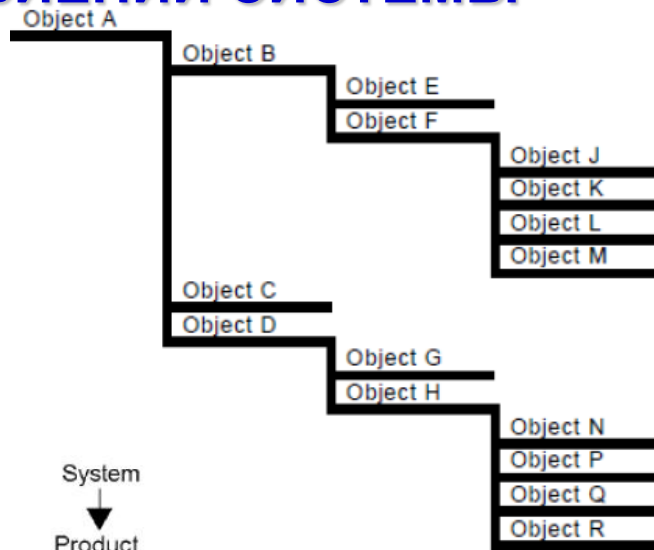
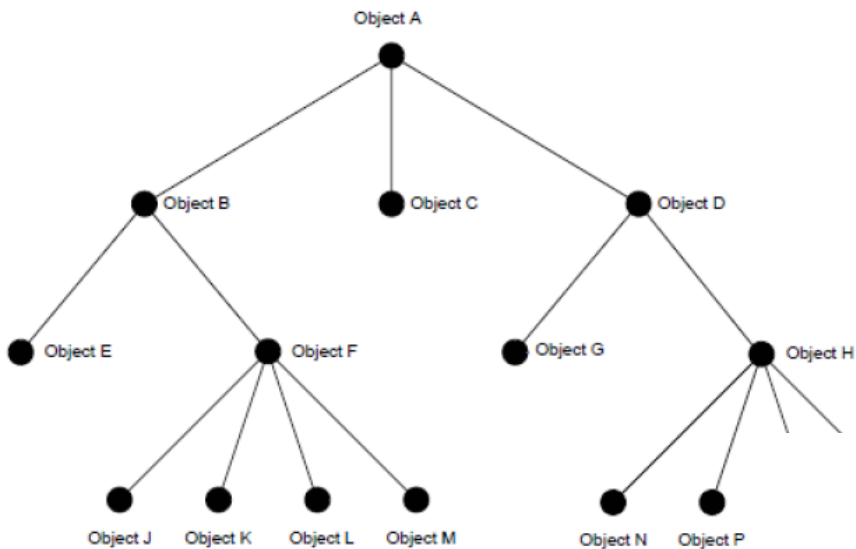
Правила структурирования стандарта ISO/IEC 81346 утверждают, что структурирование технической системы базируется на аспектных разбиениях и проводится пошагово/поуровнево — при этом выбранный аспект может меняться при каждом шаге, то есть система может разбиваться на подсистемы, определяемые разными аспектами ее описания (например, компоненты могут разбиваться уже на модули).

Обычно шаги проводятся “сверху вниз” для компонент (декомпозиция функций компоненты) и “снизу вверх” для модулей (сборка продуктов работы в модуль). Результирующие структуры разбиений получаются не “системы вообще”, а аспектные: компонентные (функциональные) разбиения, модульные (продуктные) разбиения и разбиения размещения (места).



При проектировании функциональное разбиение “сверху вниз” обычно заканчивается продуктным разбиением “снизу вверх” — т.е. начиная с какого-то уровня компонент становится понятным, какие модули будут выполнять функции этих компонент. Обычно при таком подходе все подсистемы нижнего уровня имеют указанными оба аспекта (т.е. они представлены в обеих ипостасях — и компоненты, и модуля) .

ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РАЗБИЕНИЙ СИСТЕМЫ



Уровни разбиения согласно ISO 26702

ОБОЗНАЧЕНИЯ ЧАСТЕЙ СИСТЕМЫ СОГЛАСНО ISO/IEC 81346-1

Системы обозначений предыдущих стандартов (ГОСТы ЕСКД) имеют следующие недостатки:

- Не учитывают аспектности описания системы (выпячивают либо компоненты, либо модули, либо места, либо задают жёстко границу перехода по уровням — до какого-то уровня только компоненты, а затем только модули). Для большого проекта, объединяющих продукты разных отраслей, работать (искать какие-то элементы в составе системы по их обозначениям, давать обозначения) становится трудно.
- Строго позиционны, т.е. не предусматривают различного числа уровней разбиения. Это может проходить в рамках узкой предметной области — группы одинаково структурированных продуктов, но когда в проекте собираются продукты нескольких отраслей, работать становится очень трудно.

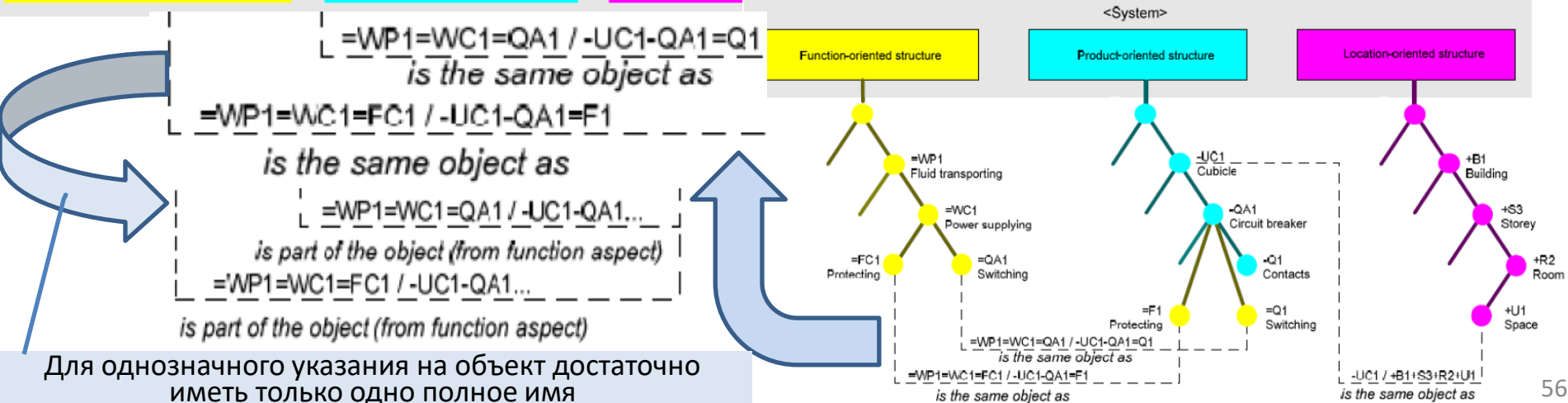
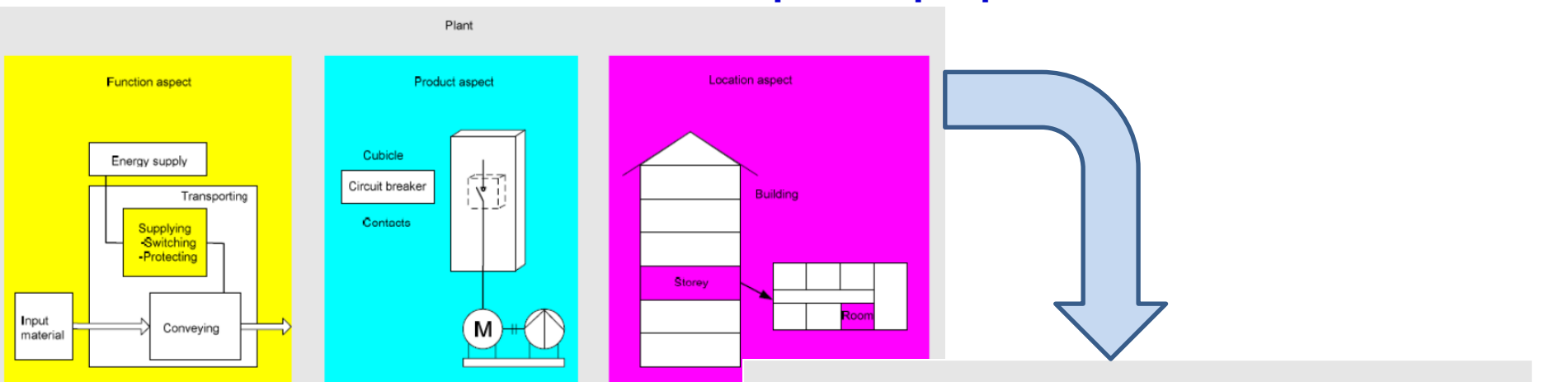
Стандарт ISO/IEC 81346-1 предписывает правила, по которым происходит аспектное структурирование системы и создание следующих принципам системного подхода “справочных обозначений” (reference designations т.е. таких, которые следуют принципам системного подхода):

- учитывают аспектность;
- произвольность числа уровней системы.

Отдельных аспектных обозначений в огромной системе могут быть миллиарды (например, в микросхеме есть 5 миллиардов транзисторов — и каждый из них должен быть поименован как компонента, как модуль, плюс ещё и размещение на кремниевой пластине).

В общем случае обозначение системы состоит из цепочки обозначений какого-то маршрута по разбиению, или разных маршрутов по разным разбиениям.

ПРИМЕР ОБОЗНАЧЕНИЯ ЧАСТЕЙ СИСТЕМЫ СОГЛАСНО ISO/IEC 81346-1. Установка по транспортировке жидкости



Для однозначного указания на объект достаточно иметь только одно полное имя

ОПИСАНИЯ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ СОГЛАСНО ISO/IEC 81346-1

-Модули

Ex: -M87-K5

The product aspect is used to highlight the constructional relations (assembly) of the components of the object.

PLM/ALM, ERP, EAM

- Модель продукта
- Модель проекта

The function aspect is used to highlight the functional relations among the components of the object

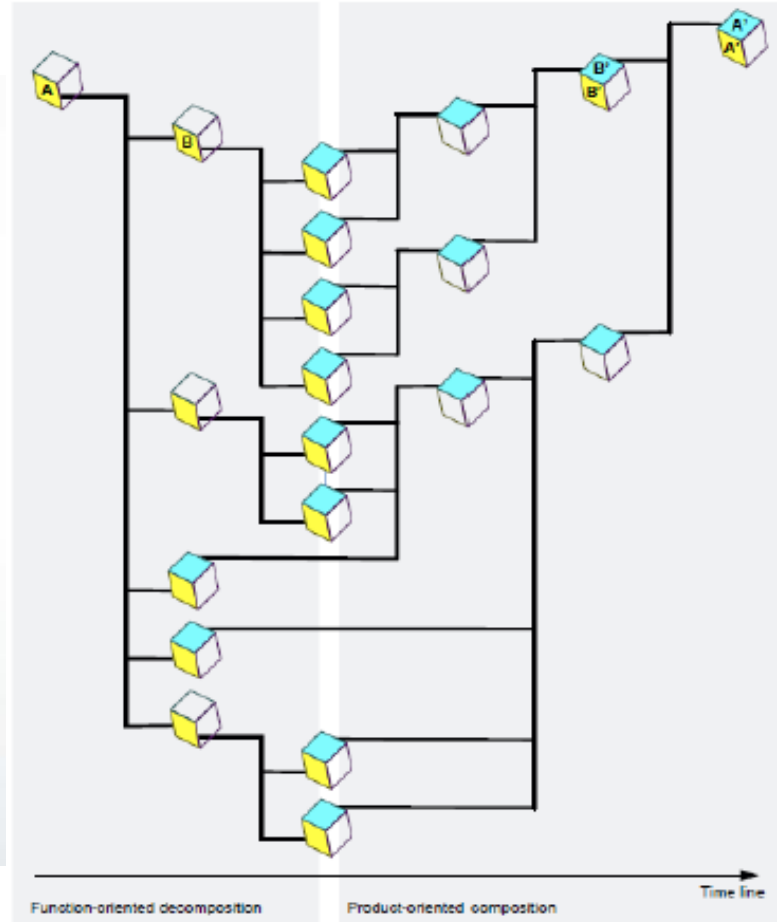
+Места

Ex: S12=16

Ex: +D2+Z1

The location aspect is used to highlight the spatial relations among the components of the object.

=Компоненты



Function-oriented decomposition

Product-oriented composition

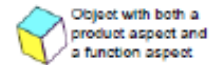
Time line



Object with a function aspect



Object with a product aspect



Object with both a product aspect and a function aspect

ФАКТИЧЕСКИЕ СТАНДАРТЫ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

OpenGroup ArchiMate 3.0 Specification – это спецификация архитектурного языка для моделирования предприятий, включая их бизнес-архитектуру, деятельность команды, а также поддерживающий эту деятельность аппаратное и программное обеспечение, а также компьютерные сети. На сегодняшний день это самый современный и самый популярный стандарт архитектурного подхода и языка описания архитектуры предприятия, т.е. основных решений по организации предприятия, в том числе решений по стратегии, а также решений по разворачиванию поддерживающей деятельности ИТ и иной (например, станки) технологии.

OMG Essence («Kernel and Language for Software Engineering Methods»): описание жизненного цикла как набора практик. Данный стандарт разделяет в практиках жизненного цикла абстрактные сущности дисциплин (альфы) и конкретные сущности инструментов и документов (рабочие продукты), предусматривает изменение состояний альф и рабочих продуктов по ходу жизненного цикла. Стандарт идёт дальше своих предшественников в предметной области ситуационной инженерии методов (например, ISO/IEC 24744, OMG SPEM 2.0) в том, что не только выделяет набор типов основных сущностей проекта, но и определяет их начальный набор, включающий списки контрольных вопросов к их состояниям в ходе жизненного цикла. Стандарт также предлагает облегчённый формат представления этих контрольных вопросов в виде бумажных карточек (хотя и не исключает электронной формы его поддержки).

OMG Essence использует диаграммы MOF (Meta-Object Facility) стандарта ISO /IEC /IEEE 42010, которые представляют собой квази-UML нотации для описания [архитектуры системы](#).

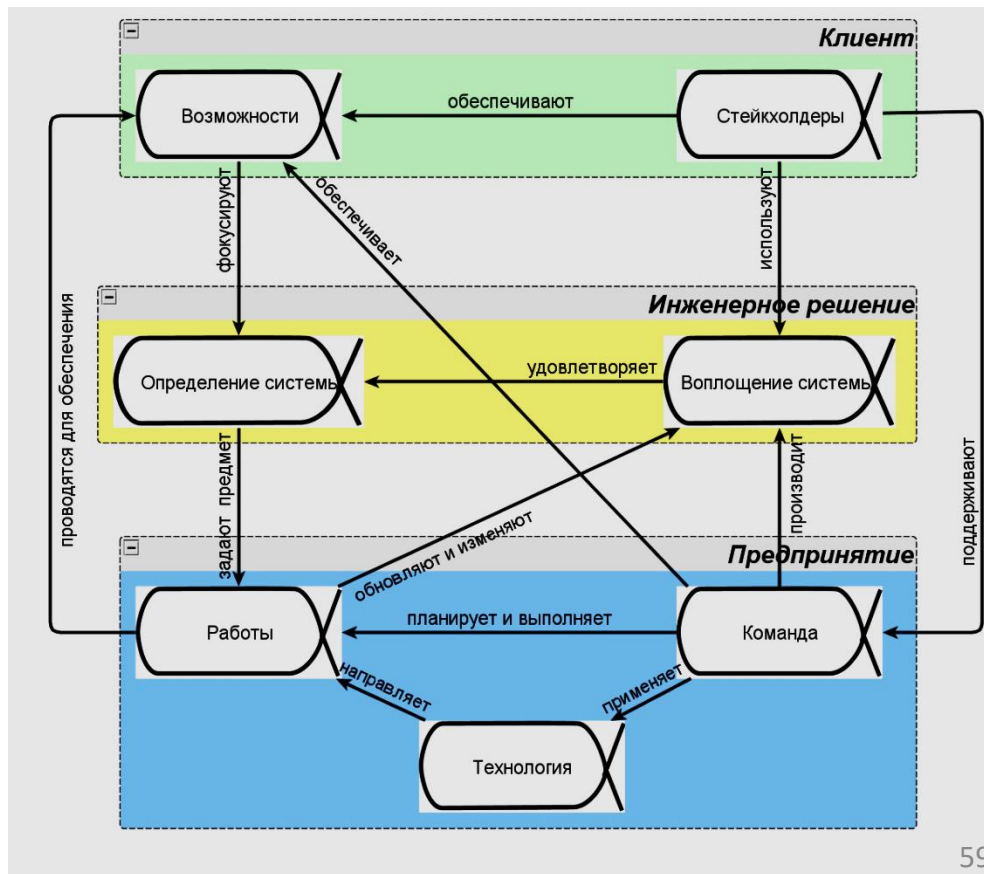
OMG ESSENCE

Стандарт ориентирован на программную инженерию, но может быть использован для системной инженерии, как это предлагается Русским отделением INCOSE.

Схема инженерного проекта предполагает набор из связанных отношениями семи понятий (concepts, «альфы»), каждое из которых обозначает что-то, что в инженерном проекте интересует его разработчиков и какие его изменения необходимо отслеживать. Они являются идеальными функциональными сущностями, они фиксируют компактное описание мира, необходимое для решения практических проблем.

Версия 1.0 стандарта была выпущена в ноябре 2014 (<http://www.omg.org/spec/Essence/>).

Существует упрощённый, изменённый для работы с системноинженерными, а не софтверными проектами и переведённый на русский язык стандарт OMG Essence, который разработан в рамках инициативы **SEMAT** (<http://semat.org>).



OMG ESSENCE. ПОНЯТИЕ ALPHA

Формально ALPHA это Abstract-Level Progress Health Attribute.

Неформально это просто "идеальный рабочий продукт", названный "альфой" для уменьшения путаницы с "реальными рабочими продуктами" и аббревиатура для него была подобрана задним числом. Альфы — это то, что изменяется в проекте, и изменения чего мы хотим понимать, отслеживать, обеспечивать, направлять, контролировать.

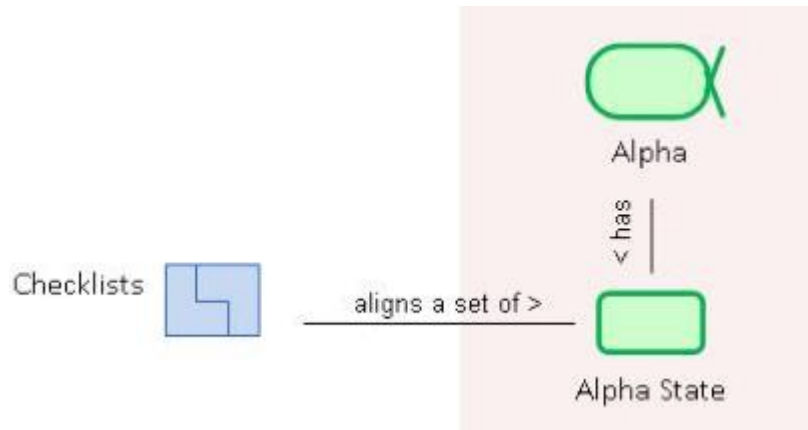
Экземпляры альф изменяются в ходе стратегирования, инженерной, организационной, операционной деятельности, отражено в том, что альфы имеют состояния (state), а эти состояния имеют контрольные вопросы (checkpoint) для определения достижения этих состояний.

Состояния альф обычно определяются на всём пути от самого появления альфы в проекте до прекращения её существования.

Пример: альфа “воплощение системы” имеет состояния: “в виде сырья”, “в виде частей”, “демонстрируемо”, “готово”, “эксплуатируется”, “выведено из эксплуатации”.

Контрольные вопросы для достижения состояния “готово” (система как целое была принята для эксплуатации):

- Функциональность, обеспечиваемая системой, протестирована.
- Уровни дефектов приемлемы для стейкхолдеров.
- Установочная и другая пользовательская документация доступна.
- Представители стейкхолдеров принимают систему, как удовлетворяющую своему назначению и т.д.



OMG ESSENCE. ПОНЯТИЕ ALPHA. ПРОДОЛЖЕНИЕ

Альфы могут быть вложены друг в друга (связь AlphaContainment, выражает отношение часть-целое двух альф), при этом выполняется важное правило: продвижение по состояниям вложенной альфы (части) означает какое-то продвижение по состояниям объемлющей альфы (целого). Так, продвижение требований как целого по их состояниям может быть за счёт того, что продвигаются отдельные требования — по их состояниям. Никакой связи между состояниями частей ("подчинённых" альф, subordinate) при этом и состоянием целого (альф-"начальников") нет, кроме общего понимания, что "продвижение в изготовлении частей как-то продвигает нас в изготовлении целого".

Отношения вложенности альф — это тоже направленный граф, одна альфа может быть частью других альф. Так, член команды может быть подальфой и команды в целом, и подальфой стейкхолдеров (ибо члены команды формально тоже стейкхолдеры, хотя и "внутренние").

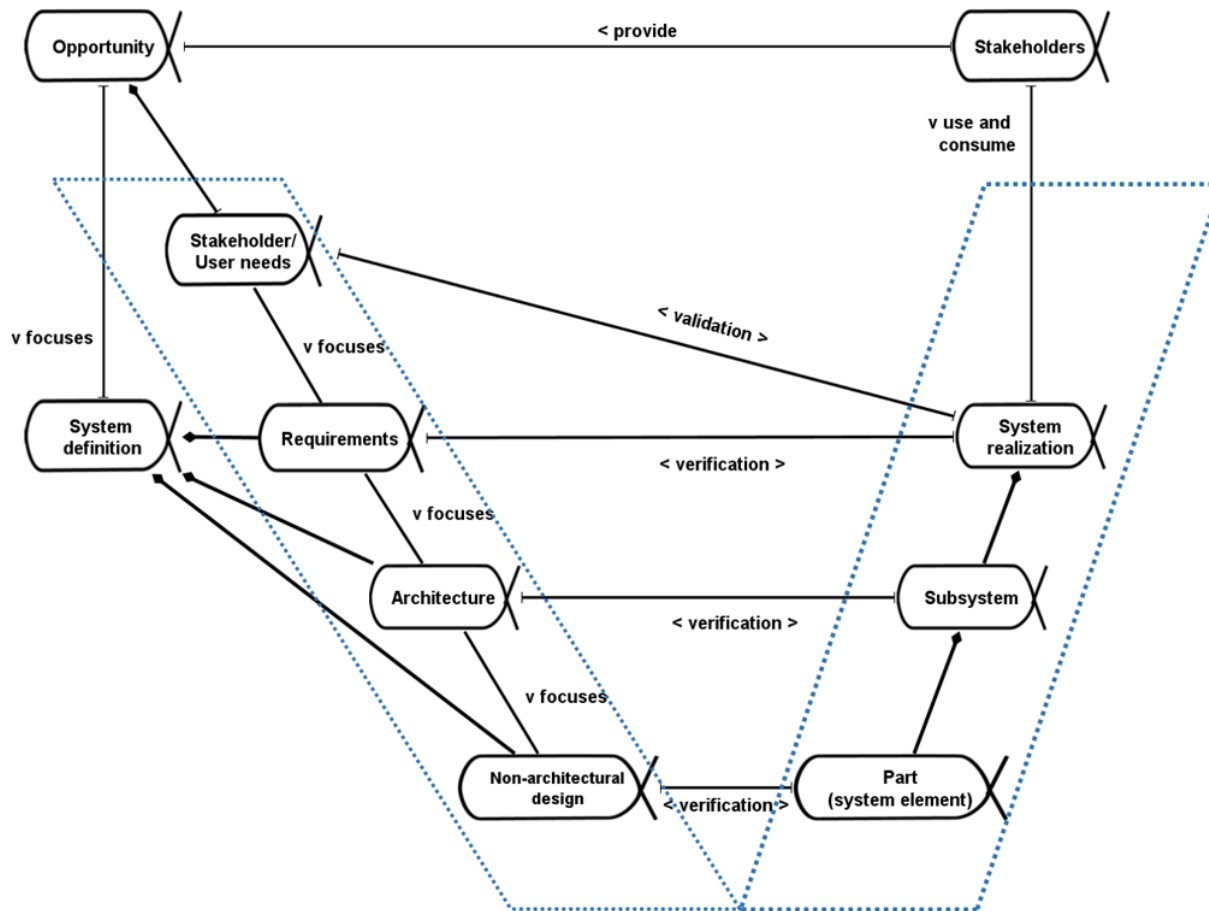
Альфы связаны между собой.

Рабочий продукт/артефакт представляет (represent) собой альфу в реальном мире. Рабочие продукты — это спецификации, тесты, диаграммы и какие-то модели, базы данных и физические объекты. Рабочим продуктом могут быть и какие-то мероприятия (совещания презентации), которые можно представлять "вещественно" как совокупность участвующих в этом мероприятии взаимно изменяющихся объектов. Одну альфу может представлять несколько рабочих продуктов, несколько альф могут быть представлены в одном рабочем продукте. Связь рабочих продуктов и их альф обычно определяется в рамках какой-то практики. Рабочие продукты ситуативны для каждой конкретной организации и даже конкретного проекта, а вот альфы более стабильны.

Обозначение
рабочего
продукта



V-ДИАГРАММА, ОБЪЕДИНЯЮЩАЯ ИНЖЕНЕРНЫЕ ПОДАЛЬФЫ И АЛЬФЫ КЛИЕНТСКОЙ ГРУППЫ ИНТЕРЕСОВ

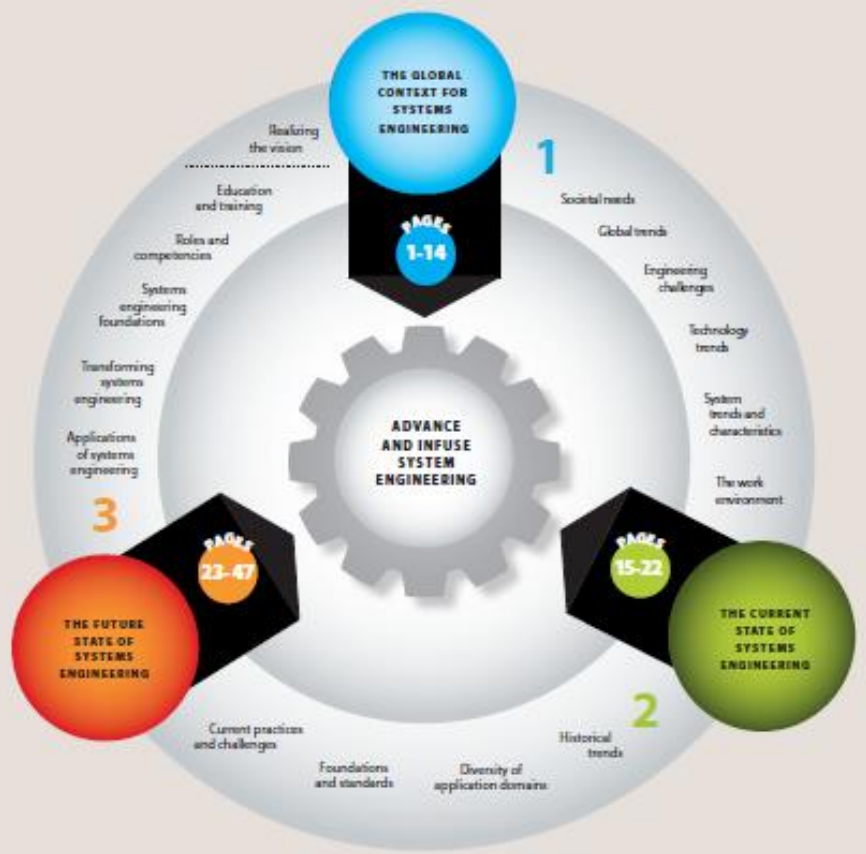


ПРОЧИЕ СТАНДАРТЫ И ДОКУМЕНТЫ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ

- BKCASE, Body of Knowledge and Curriculum to Advance Systems Engineering (2014).
- IEC 61355-1 (2008), Classification and designation of documents for plants, systems and equipment – Part 1: Rules and classification tables.
- ISO/IEC 24744 (2007), Software Engineering — Metamodel for Development Methodologies.
- ISO/IEC TR 24774 (2010), Systems and software engineering — Life cycle management — Guidelines for process description.
- OMG BMM (2014), Business Motivation Model
- OMG SBVR (2013), Semantics of Business Vocabulary and Rules
- OMG SPEM 2.0 (2008), Software & Systems Process Engineering Metamodel,
- OMG SysML (2012), Systems Modeling Language
- SEH (2014), INCOSE Systems Engineering Handbook.

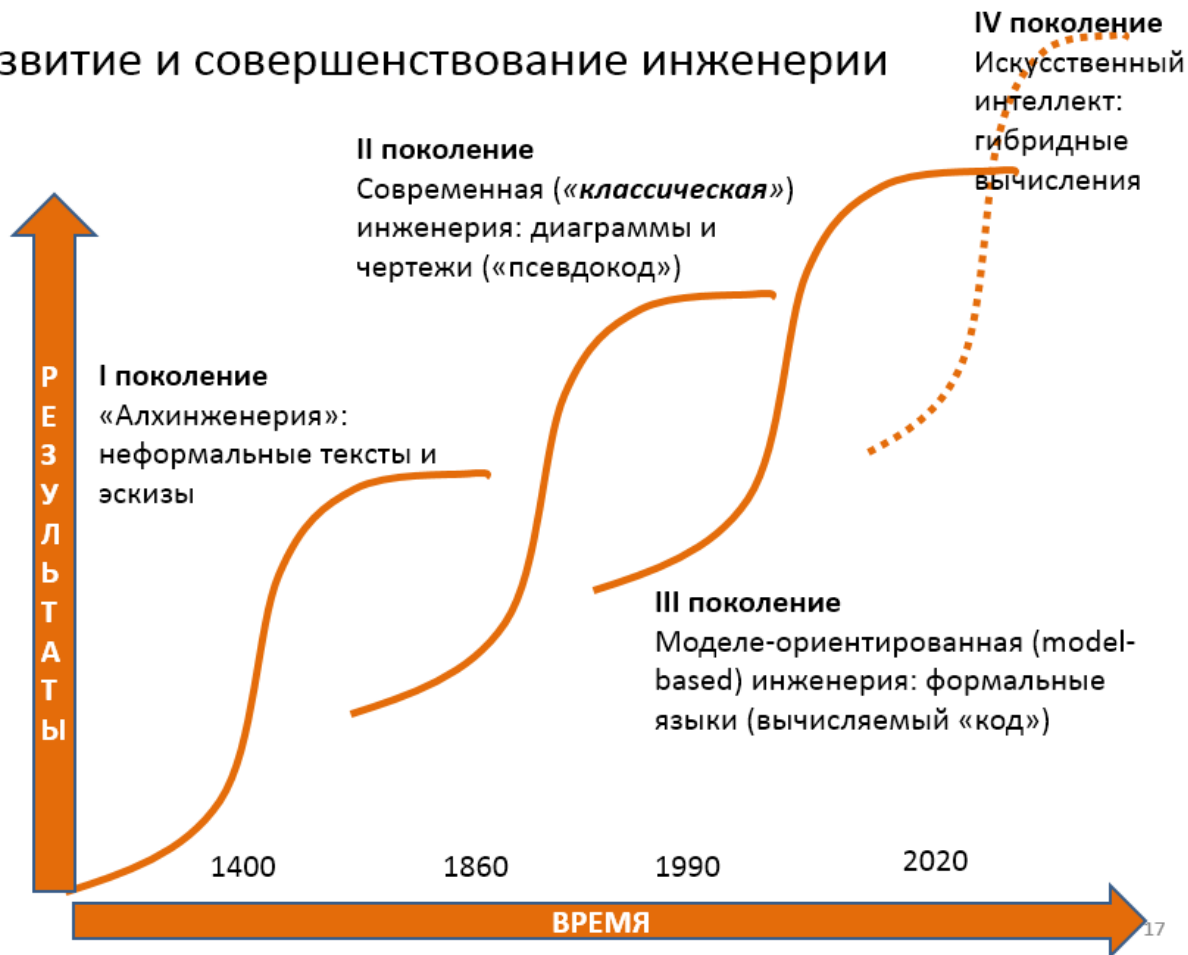
МАНИФЕСТ СИСТЕМОЙ ИНЖЕНЕРИИ. SYSTEMS ENGINEERING VISION 2025

Был опубликован консорциумом INCOSE в июне 2014 года



СЛИЯНИЕ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРЕНИИ И ТЕХНОЛОГИЙ ИИ

Развитие и совершенствование инженерии



ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ СИСТЕМНОЙ ИНЖЕНЕРИИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИИС

ТЕНДЕНЦИИ В ОБЛАСТИ РАЗВИТИЯ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ:

- Большие данные и аналитика.
- Автономные роботы.
- Моделирование и симуляторы.
- Облачные вычисления .
- Интернет вещей .
- 3D-печать .
- Дополненная реальность .

Вводы.

1. Современные системы ИИ это – не только программы, но и сложные программно-технические комплексы и сети.
2. Человек все более вовлечен в структуру окружающей его интеллектуальной среды.
3. Постоянное усложнение ИИС.
4. ИИС решают важные задачи, от которых могут зависеть безопасность человека, его благосостояние, параметры среды его обитания.
5. **Необходимость использовать методы и стандарты системной инженерии.**

Структура интеллектуальной среды



ПОНЯТИЕ КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Термин «киберфизические системы» (Cyber-Physical System, CPS) предложила в 2006 году Хелен Джилл, в то время директор по встроенным и гибридным системам в Национальном научном фонде США, желая подчеркнуть отличительную особенность организованного ею семинара NSF CPS Workshop.

Активное использование термина началось в рамках проекта немецкого правительства Industry 4.0 по компьютеризации промышленности. Киберфизические системы относятся к четвертой промышленной революции.

В октябре 2013 года в Брюсселе состоялась специальная конференция Cyber-Physical Systems: Uplifting Europe's innovation capacity, посвященная киберфизическим системам и их роли в инновационном процессе, где было подтверждено, что развитие CPS служит важнейшим фактором для развития ИКТ и подъема европейской экономики в целом. CPS критичны для обеспечения национальной безопасности и являются существенной частью новейшей технологической истории.

Предшественниками CPS можно считать встроенные системы реального времени, распределенные вычислительные системы, автоматизированные системы управления техническими процессами и объектами, беспроводные сенсорные сети. CPS — это системы, состоящие из различных природных объектов, искусственных подсистем и управляющих контроллеров, позволяющих представить такое образование как единое целое. В CPS обеспечивается тесная связь и координация между вычислительными и физическими ресурсами. Область действия CPS распространяется на робототехнику, транспорт, энергетику, управление промышленными процессами и крупными инфраструктурами.

CPS обеспечивает интеграцию, позволяющую достигнуть наибольшего эффекта путем объединения отдельных компонентов в большие системы: Интернет вещей, World Wide Sensor Net, умные среды обитания (Smart Building Environment), оборонные системы будущего.

Киберфизические системы интегрируют в себе кибернетическое начало, компьютерные аппаратные и программные технологии, качественно новые исполнительные механизмы, встроенные в окружающую их среду и способные воспринимать ее изменения, реагировать на них, самообучаться и адаптироваться.

Область приложения CPS: умное производство, умные сети и услуги, умные здания и инфраструктуры, умный транспорт и умное здравоохранение.

АРХИТЕКТУРА КИБЕРФИЗИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Синергия вычислительных и физических компонентов и создание киберфизических систем поддерживают развитие **Интернета вещей (IoT)**. **Киберфизические системы** обеспечивают совместную работу элементов кибернетического и физического пространств, интегрируя вычислительные ресурсы. Киберфизические системы часто поддерживают реальные процессы и обеспечивают операционный контроль объектов в Интернете вещей, позволяя физическим устройствам воспринимать окружающую среду и изменять ее. Интернет вещей — это революционная технология, открывающая возможности для инноваций и значительных усовершенствований в социальных средах и бизнес-процессах. Используя IoT-технологии, можно создавать адаптивные интеллектуальные приложения, помогающие лучше управлять ресурсами и повышать эффективность систем. Интернет вещей и киберфизические системы призваны поддерживать приложения, способные **обрабатывать огромные объемы разнородных данных**, получаемых из окружающей среды.



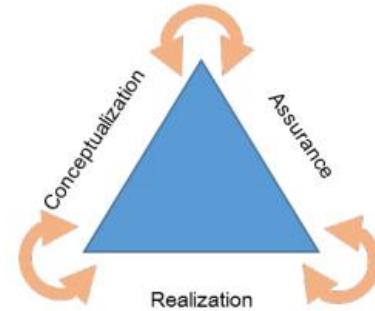
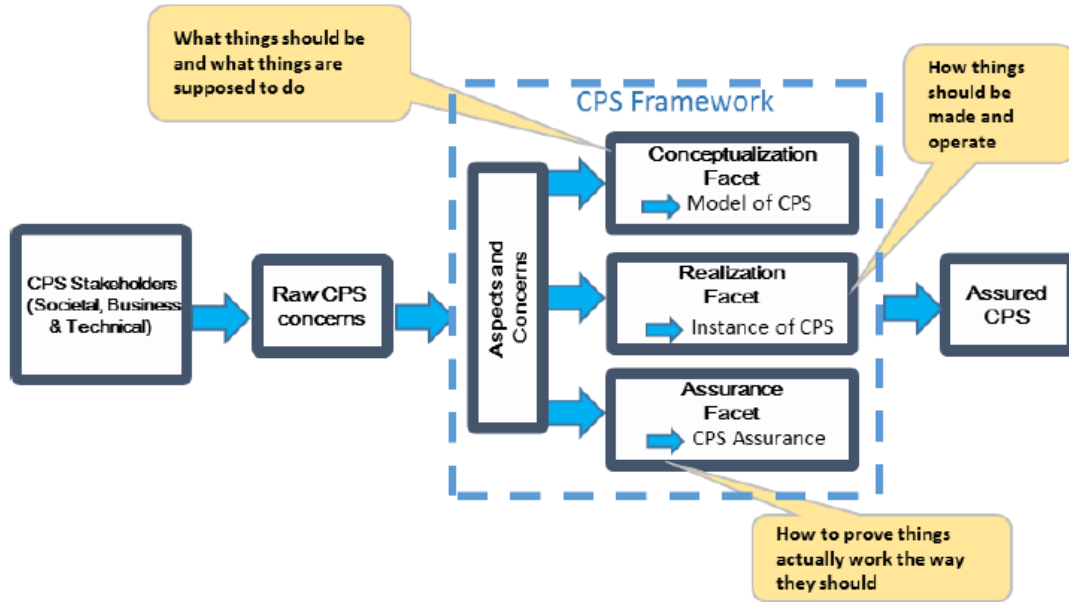
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ В ОБЛАСТИ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ

- **Большие данные и аналитика** — сбор и всесторонняя оценка данных из разных источников, станет стандартом для принятия решений в режиме реального времени.
- **Автономные роботы** — промышленные роботы уже могут выполнять довольно сложные операции, но системы компьютерного зрения позволят роботам взаимодействовать друг с другом и автоматически корректировать свои действия, причем люди смогут находиться рядом с ними, влиять на них и это будет безопасно.
- **Моделирование и симуляторы** — инженеры уже используют 3D-моделирование на стадии проектирования продуктов или процессов. В будущем, технологии больших данных позволят использовать различные симуляторы в режиме реального времени.
- **Облачные вычисления** — потребуется более глубокая системная интеграция, как горизонтальная между поставщиками и клиентами, так и вертикальная между различными функциями и операциями.
- **Интернет вещей** — показания датчиков и сенсоров обычно попадают в централизованную систему управления производственным процессом и уже на этом уровне принимаются решения. В дальнейшем, возможности которые предоставляют встраиваемые системы, позволят устройствам общаться друг с другом и децентрализовать принятие решений.
- **3D-печать** — 3D-принтеры в основном используются для создания прототипов или отдельных компонентов, в дальнейшем 3D-принтер может широко использоваться для производства небольших партий специализированных продуктов, его конструктивные преимущества и децентрализованный характер производства, позволит сократить затраты на транспортировку и складские запасы.
- **Дополненная реальность** — технология находится в начальной стадии своего развития, но в будущем позволит работникам ускорить принятие решений. Например, работник может получить инструкцию как починить или заменить сломанную деталь в производственной системе, когда он на неё смотрит через очки дополненной реальности.

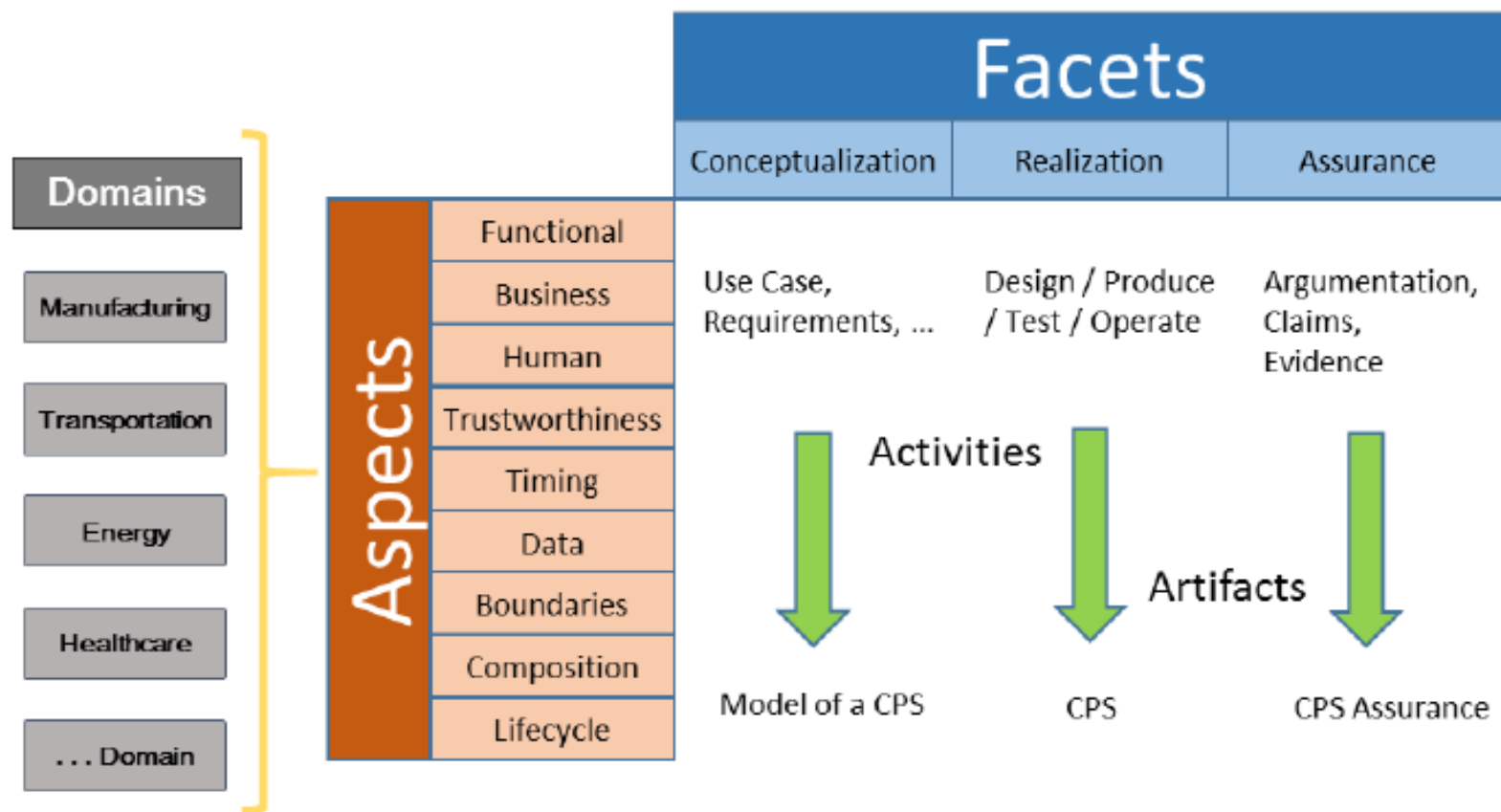
NIST FRAMEWORK FOR CYBER-PHYSICAL SYSTEMS. ОБЗОР

- Предложен NIST для выработки единого подхода к описанию киберфизических систем, опирающегося на стандарты. В его основу положены стандарты ISO 42010 и ISO 15288 (т.е. системный подход и системную инженерию) и может использоваться как средство для описания CPS, которым могут воспользоваться самые разные специалисты, инженеры менеджеры, стейкхолдеры.
- В NIST CPS Framework всё изложение выстроено как матрица между:
 - описаниями жизненного цикла ("грани", facets -- вместо "стадий" для набора практик жизненного цикла, т.е. activities and work products). Это позволяет обсуждать практики вне зависимости от времени их применения, и даже вне зависимости от системы, к которой они применяются (использующая, обеспечивающая и целевая системы, разные уровни системы).
 - описаниями различных аспектов (aspects, они же "сквозные интересы", cross-cutting concerns), группирующими описания более специфических интересов в рамках этих сквозных интересов. При этом интересы (в том числе сквозные) даже не ортогональны: в одних из них интересуются объектами других.
- Типовые интересы (а не типовые стейкхолдеры) составили костяк для всего изложения, позволяя обсуждать какие-то проблемы до того момента, как выбраны методы описания (viewpoints) и тем более даны какие-то описания систем в рамках этих методов.
- Подход основан на представлении в виде "граней" (facets) практик жизненного цикла (activity+artifacts), при этом:
 - концептуализация имеет дело с использующей системой. По сути там развёрнуто описание инженерии требований как системноинженерной дисциплины.
 - воплощение (realization) имеет дело с воплощением CPS и её описаниями, начиная с архитектуры и мультифизических моделей, т.е. охватывает и все остальные инженерии, включая производство, эксплуатацию и вывод из эксплуатации.
 - обоснование (assurance) имеет дело с соответствием описаний и воплощения. Это проверки и приёмки.

NIST FRAMEWORK FOR CYBER-PHYSICAL SYSTEMS. ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ

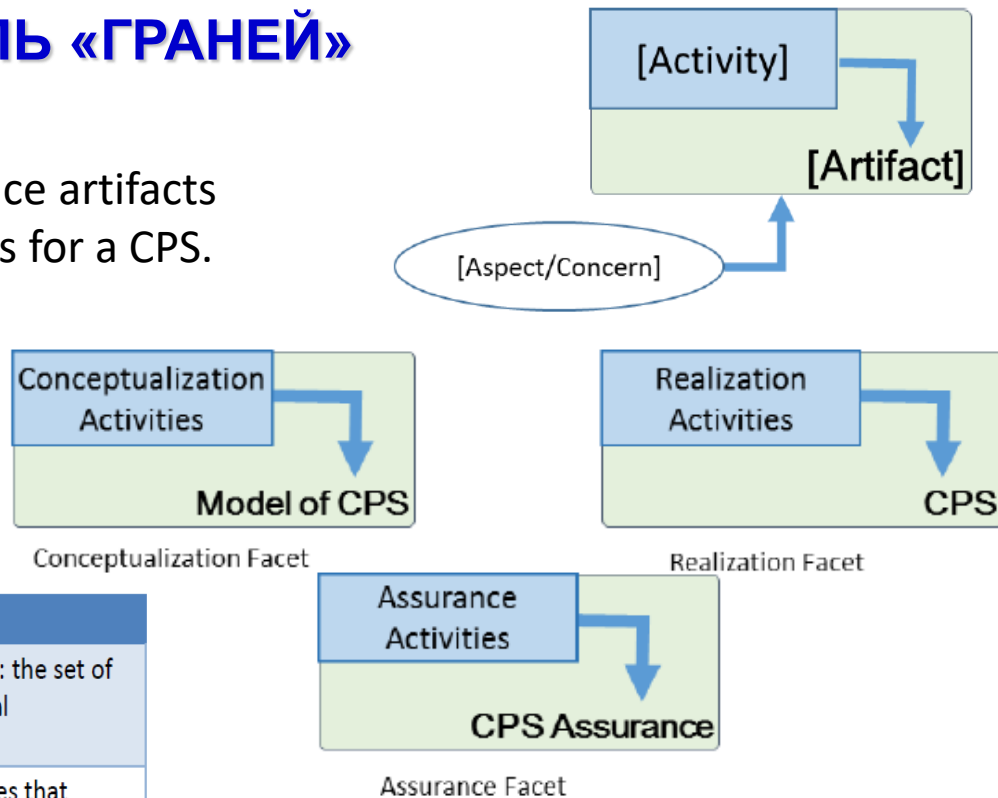


NIST FRAMEWORK FOR CYBER-PHYSICAL SYSTEMS. ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ



МОДЕЛЬ «ГРАНЕЙ»

A facet is a collection of activities that produce artifacts that are driven by aspects and their concerns for a CPS.

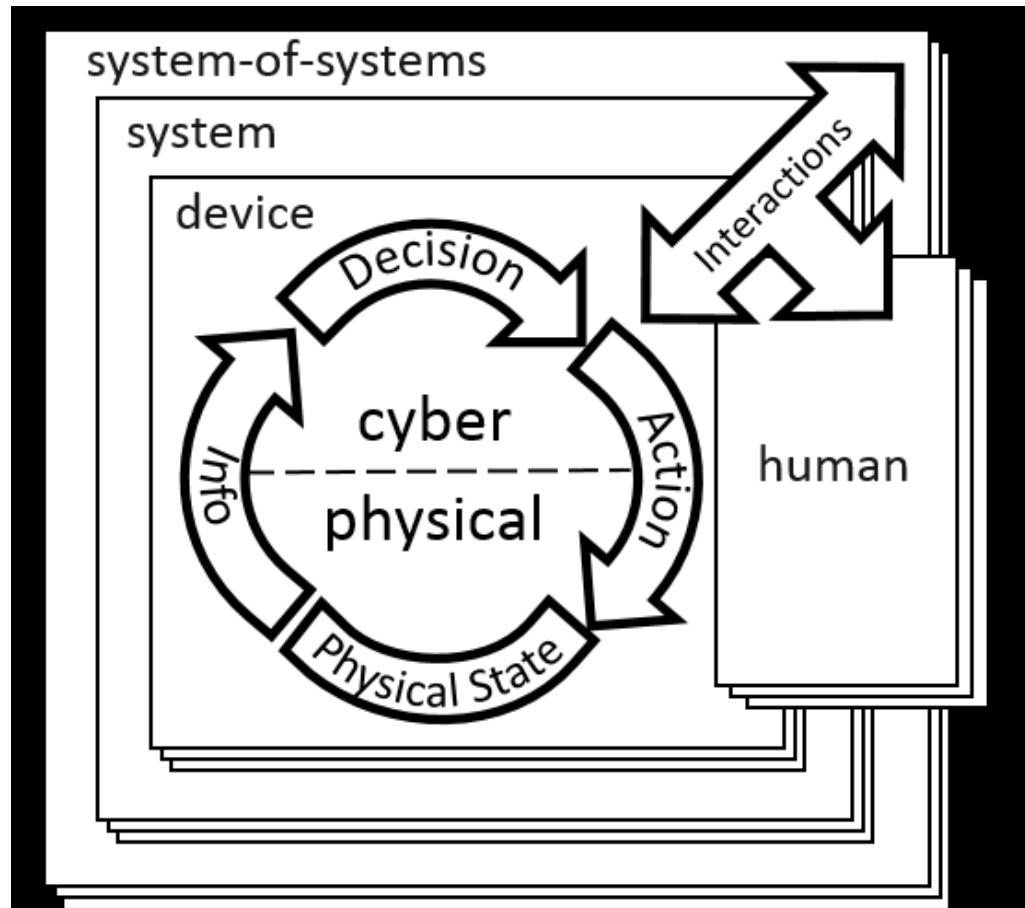


Facet	Description
Conceptualization	What things should be and what things are supposed to do: the set of activities that produce a model of a CPS (includes functional decomposition, requirements, and logical models.)
Realization	How things should be made and operate: the set of activities that produce, deploy, and operate a CPS (includes engineering tradeoffs and detailed designs in the critical path to the creation of a CPS instance.)
Assurance	How to achieve a desired level of confidence that things will work the way they should: the set of activities that provide confidence that a CPS performs as specified (includes claims, evidence, and argumentation.)

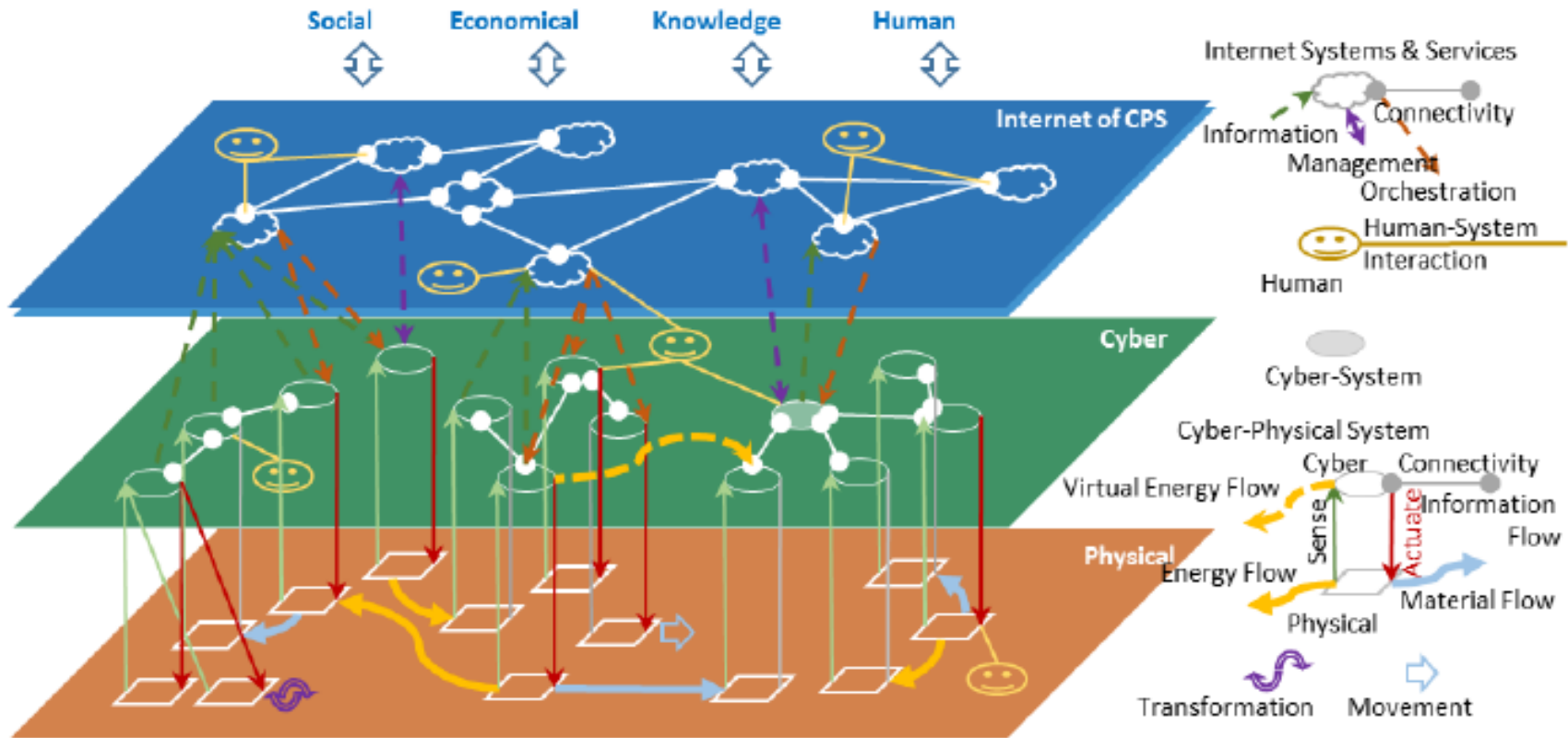
АСПЕКТЫ

Aspect	Description
Functional	Concerns about function including sensing, actuation, control, communications, physicality, etc.
Business	Concerns about enterprise, time to market, environment, regulation, cost, etc.
Human	Concerns about human interaction with and as part of a CPS.
Trustworthiness	Concerns about trustworthiness of CPS including security, privacy, safety, reliability, and resilience.
Timing	Concerns about time and frequency in CPS, including the generation and transport of time and frequency signals, timestamping, managing latency, timing composability, etc.
Data	Concerns about data interoperability including fusion, metadata, type, identity, etc.
Boundaries	Concerns related to demarcations of topological, functional, organizational, or other forms of interactions.
Composition	Concerns related to the ability to compute selected properties of a component assembly from the properties of its components. Compositionality requires components that are composable: they do not change their properties in an assembly. Timing composability is particularly difficult.
Lifecycle	Concerns about the lifecycle of CPS including its components.

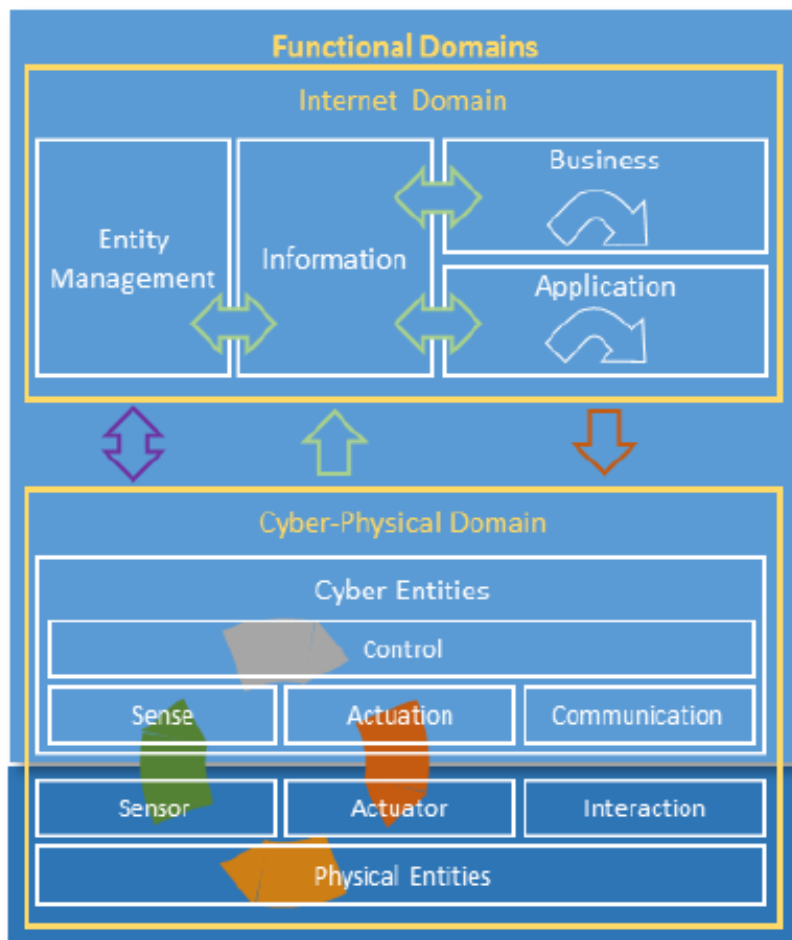
ОСОБЕННОСТИ КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ



РАССМОТРЕНИЕ CPS КАК СИСТЕМ СИСТЕМ (SoS)



ПОДХОД К ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ CPS



Green Arrows: Information Flow

Grey Arrows: Decision Flow

Red Arrows: Action Flow

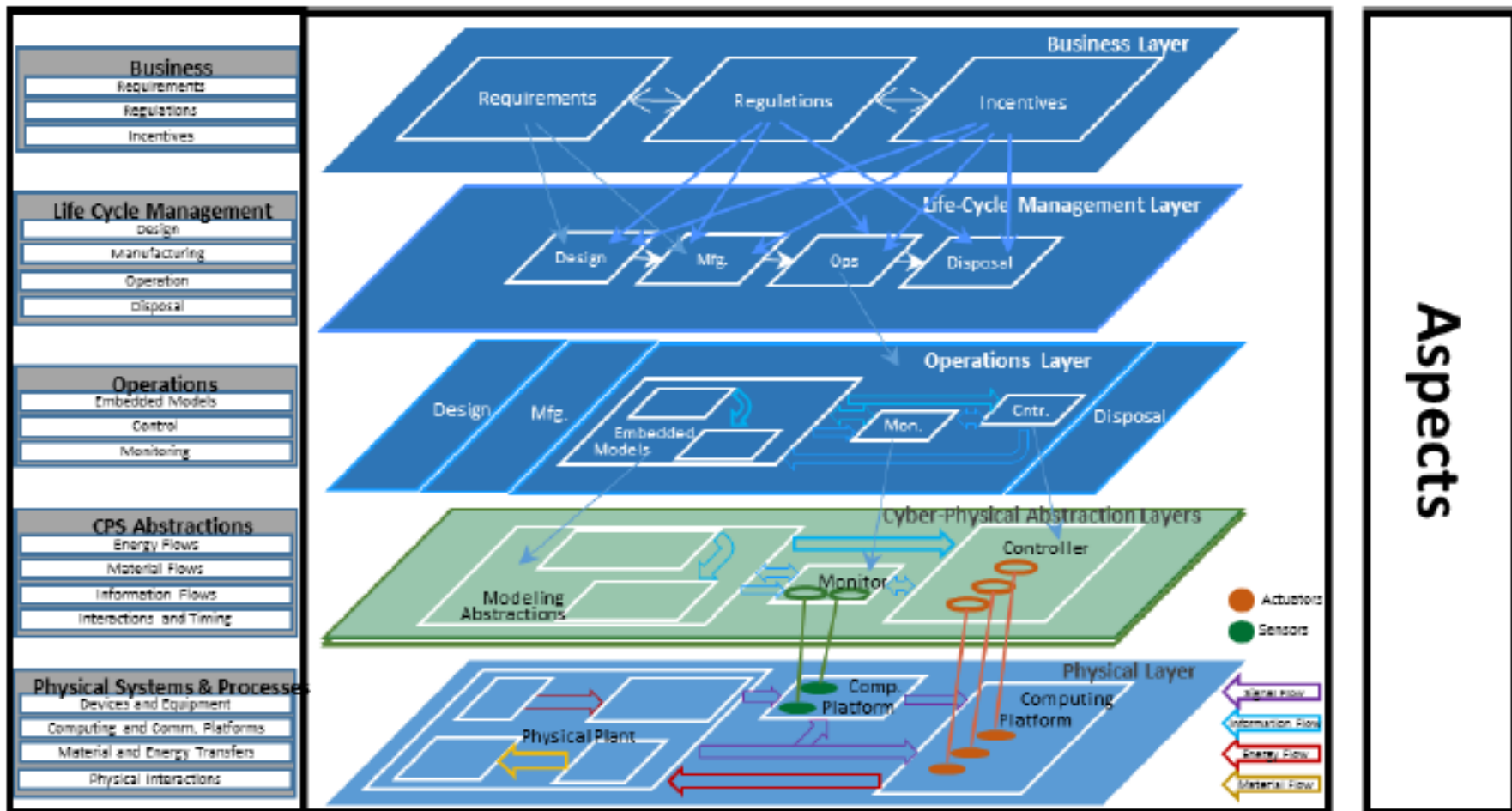
Orange Arrows: Energy/Material Flow

Purple Arrows: Management Flow



Other CPS

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕМ «ГРАНИ РЕАЛИЗАЦИИ»



СВЯЗЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ И ЕЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Activities and Artifacts
Business Case Analysis Artifact: Trade studies, lifecycle cost analysis, return on investment, and interdependencies with requirements, regulations, and incentives
Lifecycle Management Artifact: Lifecycle management and sustainability plan, integrated lifecycle management monitoring
Design Artifact: Design documentation, tradeoff analyses, requirement verification, virtual prototypes
Manufacturing/Implementation Artifact: Manufactured, integrated products, testing plans, and test results
Operations Artifact: Performance, quality, and product evolution tracking
Disposal Artifact: Reuse, sustainability and energy recovery assessments, disposal manifests
Cyber-Physical Abstraction Layer Formation Artifact: Domain (and product)-specific ontologies, modeling languages, and semantics specifications used in all phases of the lifecycle
Physical Layer Realization Artifact: Physical substrates of the CPS used in all phases of the lifecycle

ОСНОВНЫЕ КЛАССЫ СТЕЙКХОЛДЕРОВ CPS

Classes of Stakeholders	Who Are They?
Creators	The builder, system integrator, project manager, etc. of the CPS
Owners	Those who own the CPS
Operators	Those who operate the CPS
Customers/users	Those who benefit from the function performed by the system
Supply chain providers	Third-party suppliers of components anywhere in the supply chain that end up in the CPS product
Service providers	Consultants, contractors, lawyers, bankers, etc.
Insurers	Insurance companies
Regulators	Mostly state and federal agencies responsible for developing and monitoring regulations.
Competitors	Companies in the same market as the entity that experienced a failure
Government	Representatives of the three branches of government. Includes local, state, and federal

ОБЛАСТИ ВОЗМОЖНОГО ПРИМЕНЕНИЯ GPS

Domain	
Advertising	Entertainment/sports
Aerospace	Environmental monitoring
Agriculture	Financial services
Buildings	Healthcare
Cities	Infrastructure (communications, power, water)
Communities	Leisure
Consumer	Manufacturing
Defense	Science
Disaster resilience	Social networks
Education	Supply chain/retail
Emergency response	Transportation
Energy	Weather
...	

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОЛОГИИ NIST

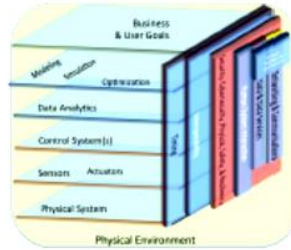
CPS Framework



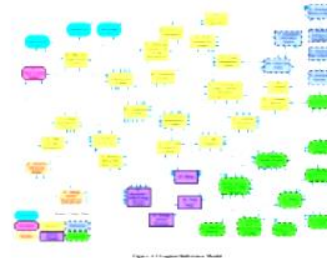
Smart infrastructure
(grid, water, gas,
...)



Smart buildings



Smart emergency response



Smart healthcare

Many more!!

Smart manufacturing



Actors



Smart transportation

ПРИМЕР «УМНОЙ» ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ



ПРИМЕРЫ РАЗРАБОТКИ CPS В ОБЛАСТИ ЭНЕРГЕТИКИ

