

3. Системная холархия

Не всё системы, что ими называют

Все самые разные определения системы сходятся на том, что **система как целое состоит из взаимодействующих частей, которые в своём взаимодействии дают эмерджентность** (системный эффект), т.е. эти части как целое проявляют свойства, которых нет у частей системы.

Нюансы могут различаться, но вот деление на части присутствует во всех вариантах. Есть две трактовки:

- в трактовке 4D экстенционализма слово «часть» и «целое» трактуются как части 4D индивидов, т.е. речь идёт о пространственно-временных объектах. Мы уже понимаем, что это может быть какое-то «место» как объём в пространстве, занимающий этот объём физический объект, функциональный объект, и даже процесс как 4D-целое из участвующих в нём (отношение участия/participation это специализация отношения состава/composition) частей. Иногда даже подчёркивают, что систему обязательно нужно понимать сначала как процесс — это некоторое разворачивающееся во времени взаимодействие частей системы, в результате которого система выполняет свою роль/функцию/назначение. Обсуждается именно физическое деление на части и физическое взаимодействие частей в ходе выполнения системой своей функции. Для абстрактных объектов (классов, типов, множеств и т.д.) речь о делении на части-экстенты/физические части невозможен, ибо они не имеют экстента. Эта трактовка деления системы на части и есть наш вариант системного подхода.
- В другой трактовке слово «часть» используется онтологически нестрого, и «целое» собирается из самых разных объектов, в том числе абстрактных и плохо определяемых в части их присутствия в физическом мире: слов, правил, физических предметов, настроений, намерений — всего чего угодно. В нашем варианте системного подхода мы не будем считать системами и их элементами абстрактные объекты.

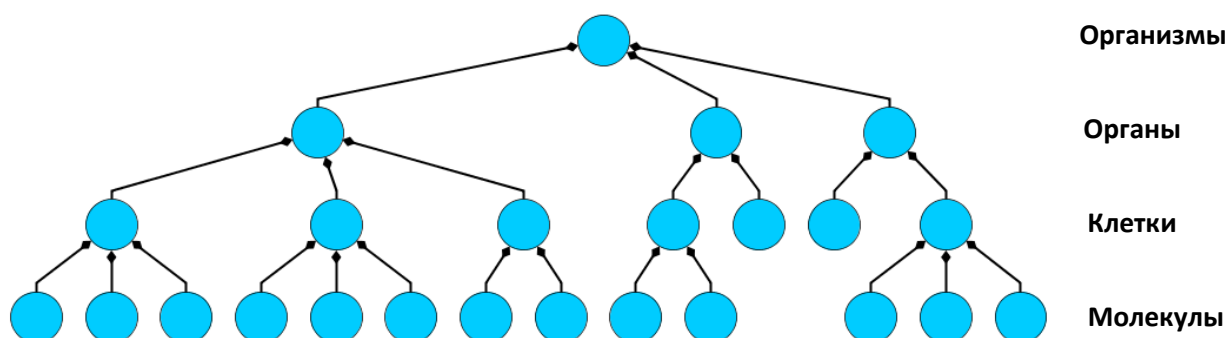
Тем самым мы не признаём системами-из-системного-подхода разные **системы знаний/правил** — корпуса знаний, правила. Система Станиславского, система Монтессори, система Платона, политическая система, система «минус 60» (так называют один из наборов правил для похудения), законодательная система — это всё некоторые абстрактные целые, состоящие из каких-то абстрактных частей-элементов (знаний, правил), но эти системы не имеют экстента. Это не настоящие системы. Очень часто люди используют тут слово «система» просто для того, чтобы указать, что они как-то думали, когда собирали какие-то части этих знаний, как-то согласовывали эти знания и правила друг с другом. Но слово «часть» тут не обозначает 4D-индивида, это не часть экстента, а сами эти «части» обычно не составляют иерархии.

Ещё один класс систем-не-из-системного-подхода в силу их абстрактности (неприсутствия в мире, отсутствия экстента) — это **систематики**. В систематиках речь идёт о классификаторах: классах классов, которые классифицируют в чём-то похожие системы-индивиды. Это иерархии по **отношению специализации**

(specialization, is_a, род-вид). Классификатор Ламарка (система Ламарка) состоит из классов в чём-то похожих животных, универсальный десятичный классификатор (УДК, система десятичной классификации) классифицирует книги, объединяя в своих классах чем-то похожие по содержанию книги, Общероссийский классификатор изделий и конструкторских документов ОК 012-93 (классификатор ЕСКД, единой системы конструкторской документации, которая сама система знаний/правил) — они все не настоящие системы-индивиды, они лишь классификаторы для классов систем и классов абстрактных объектов.

Понятие холона и холархии

В 1967 году⁸² Артур Кёстлер (Arthur Koestler) предложил понятие **холона** (от греческого слова «холос», целый) как нечто, что одновременно является целым для каких-то частей внутри него и частью для какого-то объемлющего целого. **Система является холоном**. Каждая часть в холоне тоже может быть холоном. И объемлющее целое тоже может быть холоном. Тем самым можно говорить о **холархии**: иерархии разбиения (breakdown) на части сверху вниз, или она же иерархия составления (composition) целого снизу вверх. Классическая такая холархия системного подхода — это пришедшая из биологии холархия атомов-молекул-клеток-органов-организмов-биосферы.



частями произвольной природы. На диаграммах инженеров описание холархии часто даётся через описание типов элементов холархии, но в реальности этим типам объектов соответствуют подводимые под этот тип физические 4D индивиды. В то же время философы (но не мы в нашем учебнике) часто обсуждают холоны с произвольными частями, в том числе абстрактными⁸³.

Многоуровневость холархии принципиальна: на самом верхнем уровне любой системной холархии будет вселенная (всё в нее входит), на самом нижнем уровне — элементарные частицы (всё состоит из них). Людей же обычно интересует очень тонкий слой тех объектов где-то посередине, которые как-то соразмерны с ними и служат объектами их деятельности.

Холархии разные стейкхолдеры для одной и той же системы определяют по-разному — так, как им это удобно для их деятельности. Никакого «истинного» или «объективного» разбиения системы на части нет. Поэтому для одной и той же системы в проекте по созданию системы обычно одновременно рассматривается несколько вариантов разбиений на части и эти разные разбиения на части стейкхолдеры согласовывают между собой, добиваясь успешности системы. Это будет подробнее рассмотрено позже.

Эмерджентность

Для того, чтобы какой-то набор частей был системой, нужно удовлетворить ещё одному условию: этот набор взаимодействующих частей должен проявлять какое-то свойство, которого нет у его частей. Это явление называют **эмерджентностью** (emergence, системный эффект).

Показа времени нет ни в стрелках механических часов, ни в их шестерёнках, ни в корпусе, ни в пружине. А в целом в часах в сборе во время их работы показ времени возможен — в силу взаимодействия их частей. Каждая часть часов выполняет свою функцию в часах в целом, и возникает (emerge) системный эффект, проявляется эмерджентность: часы начинают выполнять свою функцию в своём системном окружении: показывать время.

Организм животного прыгает и бежит, а его органы — нет. Органы производят какие-то действия внутри организма (например, мышцы сокращаются, печень чистит кровь, лёгкие насыщают её кислородом и освобождают от углекислоты), а отдельные клетки внутри органов этого делать не могут. Системы не просто состоят из частей, они проявляют как холон своё назначение внутри использующей их в своём составе надсистемы.

Основная особенность систем — это то, что «всё со всем связано», элементы системы в системе ведут себя не так, как они же вне системы. Атомы вне молекулы ведут себя не так, как внутри молекулы. Клетки вне органа ведут себя не так, как внутри органа.

Чтобы разобраться в очень сложных системах, состоящих из огромного количества элементов, их представляют как холархию, на каждом уровне которой ожидают системного эффекта/эмерджентности. Например, вот индивидуальные детали автомобиля:

⁸³ http://en.wikipedia.org/wiki/Holon_%28philosophy%29



Разбираясь с этими индивидуальными деталями невозможно понять, как он работает. Мы должны рассмотреть как отдельную целую часть/холон двигатель, чтобы объяснить, откуда появляется движение автомобиля, мы должны рассмотреть как отдельную часть салон автомобиля в сборе, чтобы объяснить, почему в нём удобно могут находиться несколько пассажиров, мы должны рассмотреть отдельно собранные все детали тормозной системы, чтобы показать, каким образом автомобиль может тормозить.

Нужно чётко понимать, что сами по себе границы всех упомянутых систем «необъективны», это какие-то стейкхолдеры автомобиля часть деталей в их сборке называют «двигатель», другую часть деталей «салон», третью — «тормозная система». **Собирать отдельные части в целое для того, чтобы обсудить проявляющийся системный эффект — это сердцевина системного подхода, самое в нём главное.**

В силу эмерджентности на каждом системном уровне появляются свойства, которые нужно обсуждать глубоко какому-то новому сообществу стейкхолдеров. Так, специалисты по автомобильной мебели могут обсуждать удобство мебели отдельно от специалистов по двигателям, которые будут обсуждать мощность двигателя. Все стейкхолдеры будут преследовать свои интересы, их деятельности глубоко связаны друг с другом, но появляется возможность хоть как-то эти деятельности структурировать — эти деятельности центрируются вокруг холонов разных уровней холархии. В центре этих деятельностей — эмерджентные свойства этих холонов.

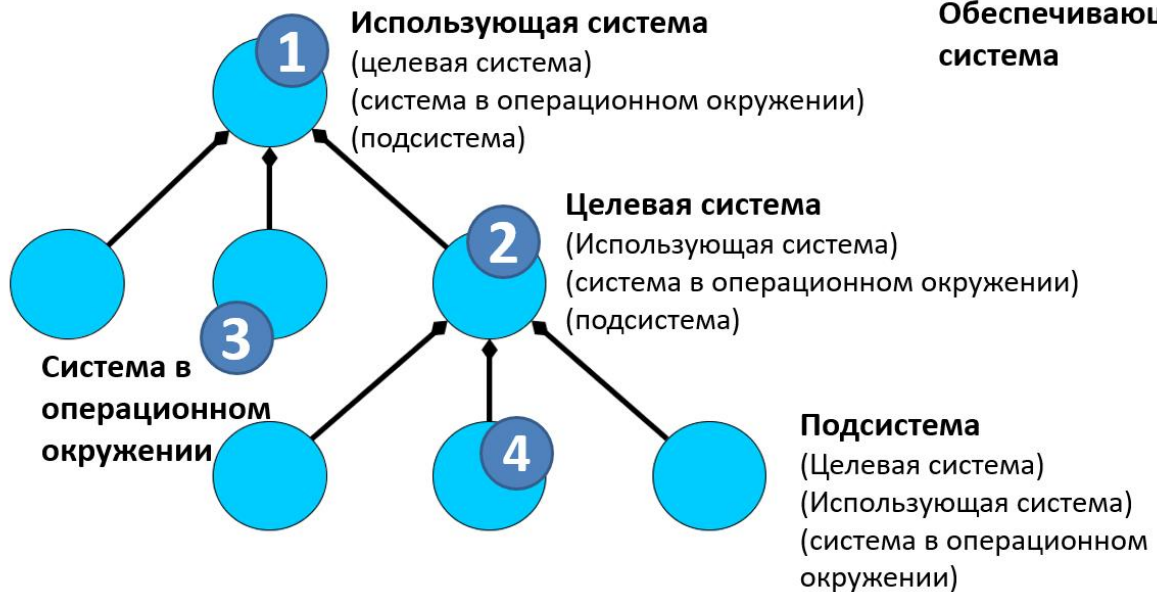
Именно этим системный подход отличается от редукционизма — подхода, который не имеет дела с холархиями из холонов-систем. Редукционисты не выделяют отдельных системных уровней, поэтому ведущую дисциплину какого-то стейкхолдерского уровня выпячивают как средство объяснения поведения всей системы в целом. Так, поведение человека редукционисты могут объяснять химическими и электрическими процессами, которые проходят в мозгу. Верно ли это? Да, это верно, но совершенно бесполезно! Точно так же можно объяснять поведение человека квантовохимическими процессами с участием электронов и элементарных частиц атомных ядер, которые лежат в основе химических процессов, или наоборот — клеточными процессами, для которых основой служат химические процессы с клеточными молекулами. Танец можно объяснять как набор химических процессов между молекулами клеток человека, или набор движений сотен мышц,

или как очень сложный набор безусловных рефлексов — но эмерджентности в этом не будет, не будет обсуждения собственно танца, это будут редукционистские описания, сводящие эмерджентные свойства к свойствам частей системы. Системный подход появился как раз, чтобы преодолеть попытки описать поведение систем в целом хорошо разработанными методами описания частей этих систем.

Эмерджентность нужно отличать от **синергии** — эффекта взаимоусиления свойств. Если при объединении двух компаний с небольшой прибылью мы наблюдаем их взаимопользность и прибыль резко растёт, будет более сильная компания, никакого системного эффекта нет, есть синергия этих компаний. А вот если соединить кирпичи и цемент в правильной форме, то из их взаимодействия появится дом — и можно обсуждать комнаты, жильцов дома, что для обсуждения просто бетона и кирпичей просто невозможно. Кирпич в цементе ничего не усиливает, ничему не способствует, цемент у кирпича ничто не усиливает, но если их взять в достаточном и правильном количестве и соединить, то будет дом — свойства дома будут несравнимы со свойствами кирпича и бетона. В домах живут, в кирпичах не живут, даже сложенных в кучку. Хотя формально живут в кирпичах с цементом, но в этих терминах трудно обсуждать жизнь. Это редукционизм, сводить дом к кирпичу с цементом. Например, у дома есть архитектурный стиль — модерн, барокко — а у кирпичей с цементом этого архитектурного стиля нет, его в терминах кирпичей не обсуждают, он только уже у домов. Но формально элементы этого стиля — это просто та или иная выкладка кирпичей. Это редукционизм, "правда, но бесполезная правда", так невозможно объяснить происходящее с домом, так дом нельзя обсуждать. Синергия (сложение частей без появления новых качеств, но изменением старых качеств частей) тем самым может обсуждаться в рамках редукционизма, а эмерджентность редукционизм исключает.

Пять видов систем в холархии

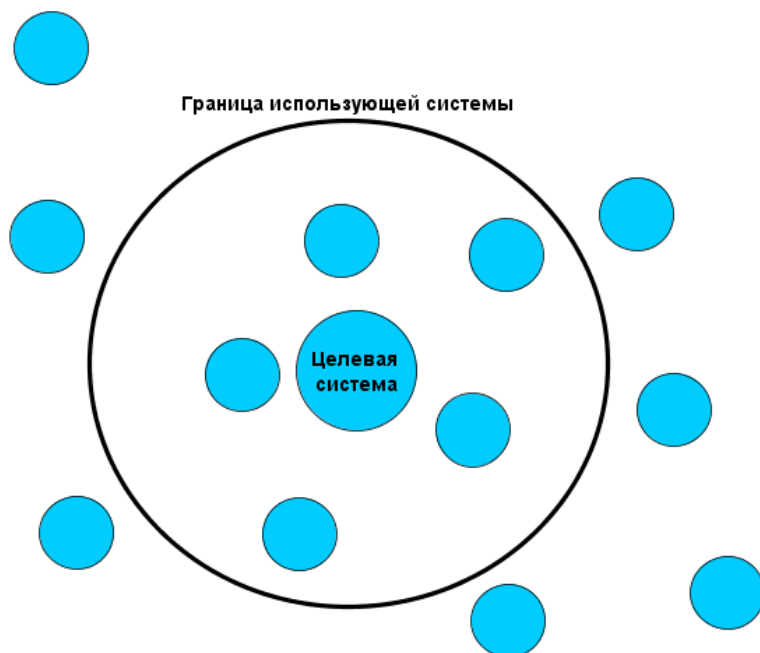
Системные мыслители видят мир состоящим из систем-холонов, составляющих из себя холархии. Для того, чтобы проводить рассуждения, нужно как-то научиться говорить о разных системах в холоне, не теряя общности в рассуждениях — нужно управлять фокусом своего внимания. Систем в мире слишком много, поэтому нужно выделить какую-то из них, к которой мы проявляем интерес. Это будет **целевая система** (system-of-interest, буквально «система нашего интереса»). Это та в будущем успешная система, с которой мы что-то хотим делать: придумать и создать её, починить, эксплуатировать, уничтожить. Это мог бы быть любой уровень холархии, но какой бы он ни был — на этой системе остаётся фокус нашего внимания, системный эффект именно этой системы нас будет интересовать прежде всего. На рисунке представлено три уровня холархии, целевая система показана как холон 2:



Система, в состав которой входит целевая система называется **использующая** (using) система. На рисунке это холон 1. Это инженерная точка зрения: какой-то инженер решил, что целевая система будет использована в составе использующей системы как её составная часть. Часы будут использующей системой для шестерёнки, молекула для атома. Целевая система имеет своё назначение в использующей системе, её функция (поведение) позволяет выполнить своё назначение использующей системе. Если целевая система шестерёнка, то шестерёнка используется в часах (входит в состав часов), её назначение/функция — передавать движение на стрелки так, чтобы использующая система «часы» могла показывать время, т.е. могла выполнять своё назначение/функционировать/выполнять свою функцию. **Пользователя шестерёнки нет!** Никто не пользуется (во время работы часов) шестерёнкой из стейкхолдеров, кроме конструкторов, которые (во время создания часов) используют шестерёнку в составе изделия! А вот у часов стейкхолдер-пользователь (во время работы системы) может быть, хотя и не у всех. Если часы электронные и внутри контроллера ракеты, то пользователя у часов нет. Но дизайнер интерьеров может использовать настенные часы в составе интерьера жилой квартиры (во время создания интерьера), а пользоваться ими (во время эксплуатации интерьера) будет пользователь, который в этой квартире живёт. Не путайте использование разработчиком целевой системы в составе использующей системы и использование целевой системы стейкхолдером-пользователем! Использующая система это не система стейкхолдера-пользователя, и не сам стейкхолдер-пользователь, хотя это часто бывает и так (например, для наручных часов — мы рассмотрим этот пример чуть позже).

Все системы, в состав которых не входит целевая система, называются **системами в операционном окружении** (operation environment, рабочая/эксплуатационная среда). На рисунке пример такой системы — холон 3. Например, для шестерёнки в часах таким окружением будут стрелки, тоже входящие в состав часов. А ещё в

операционном окружении могут быть какие-то системы, даже не входящие в состав использующей системы, но без которых трудно обсуждать функционирование целевой системы. Например, солнце, нагревающее часы и тем самым влияющее на шестерёнку (при нагреве она может поменять свои размеры, что может оказать влияние на её функционирование). Или заправочная станция для такси, входящего в состав таксопарка. На этом рисунке кружочки без названия — системы в операционном окружении, и не все из них попадают в границы использующей системы:



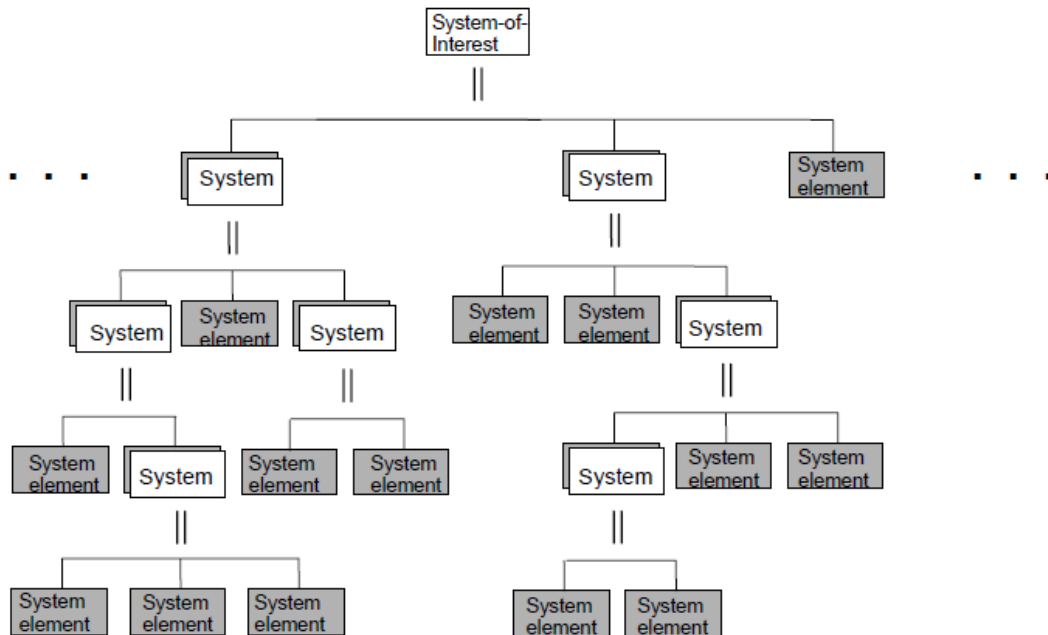
Подсистема — какая-то часть системы. В системном мышлении подсистемы рассматриваются последними — ибо пока мы не понимаем, что должна делать целевая система, какую функцию она несёт в окружение, мы не можем ничего сказать про её состав. На рисунке пример такой подсистемы целевой системы показан холоном 4.

Эти все системы входят в ту же системную холархию, в которую входит целевая система но совсем сбоку и отдельно от этой холархии выделяют принадлежащую другой холархии **обеспечивающую** (enabling) **систему**: это какие-то стейкхолдеры и их инструменты и другие ресурсы (предприятия), которые и занимаются созданием и эксплуатацией успешной целевой системы.

Проблема в том, что целевой системой для разных стейкхолдеров может стать любой холон в холархии, который будет проявлять интересную для этих стейкхолдеров эмерджентность, нужный для них системный эффект. И тогда все остальные виды систем будут определяться по-другому. Это представлено на рисунке указанием в скобочках вида системы для каждого холона. Скажем, если целевой системой объявить холон 4, то холон 2 будет использующей системой.

Конечно, эти именования (как и любая терминология) более-менее условны. Так, в ТРИЗ использующая система называется надсистема, а системные инженеры обычно слово «надсистема» не говорят. В основополагающем стандарте системной инженерии ISO 15288 вообще не говорят обо всех этих видах систем, подчёркивая их одинаковость: различают только целевую систему (system-of-interest) как вершину холархии, а в её составе дальше всё будут только системы (если у них

будут части) и элементы (elements, — это в отличие от холона какая-то часть целого, для которой мы не рассматриваем её собственные части).



А вот системы в операционном окружении (systems in operation environment) и обеспечивающие системы (enabling systems) в ISO 15288 определяются так же, как в нашей книге.

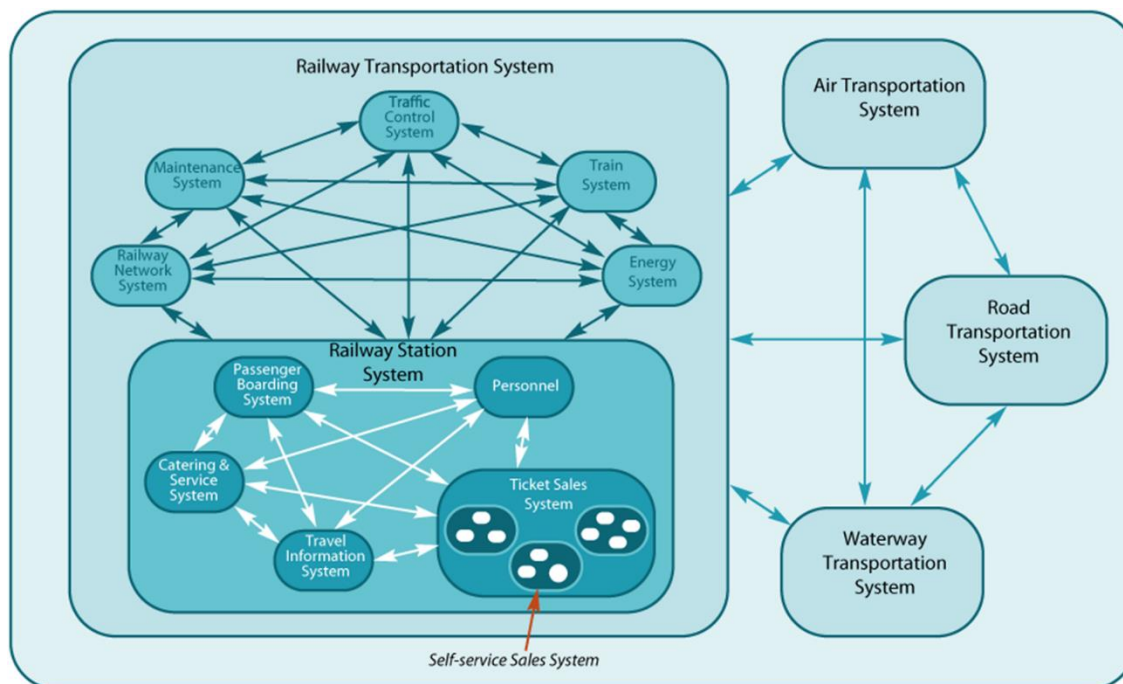
Рекурсивное применение системного мышления.

Понимание того, что любая система входит в холархию, позволяет системному мыслителю применять одно и то же системное мышление рекурсивно: проводить одни и те же рассуждения для каждого уровня холархии.

Холархия — это прежде всего средство для управления вниманием. Внимание выхватывает для подробного рассмотрения какой-то один объект-фигуру, а всё остальное остаётся фоном, насколько огромным или разнообразным ни было бы это «всё остальное». Внимание позволяет резко упростить сложность мира, временно игнорируя незначимые детали — оставив в обсуждении только важное.

Системный мыслитель хорошо ориентируется в сложном мире: ни на секунду он не теряет контекста, оставаясь способным обсуждать как самый маленький винтик в самом маленьком приборе, так и совсем огромные системы планетарного масштаба. От этих «скачков масштаба» он не сходит с ума, для него это самая обычная процедура концентрирования внимания на всё более и более малой части мира. Он выбирает (select) какую-то систему, рассматривая её в составе использующей системы, т.е. в системном окружении, затем может рассмотреть эту систему в свою очередь как набор частей — «зуммировать» (zoom) на очередной уровень детальности, увеличив подробность рассмотрения этой части, как в современных фотоаппаратах. Системный мыслитель может легко выбрать нужный масштаб рассмотрения ситуации, выбрать нужный ему системный эффект на правильном системном уровне. И делает это системный мыслитель осознанно, он хорошо знает, что использует навигацию по холархии и на каждом уровне системы у него проявляется системный эффект.

Вот пример транспортной системы⁸⁴:



В транспортной системе мы сначала можем обсуждать мультимодальные⁸⁵ перевозки и конкуренцию независимых друг от друга транспортных систем. Так, трубопроводный транспорт конкурирует в перевозке нефти с железнодорожным транспортом — для их владельцев они враги-конкуренты в операционном окружении, но для желающего перевезти нефть из одной точки мира в другую они части одной мультимодальной транспортной системы (помним, что разные стейкхолдеры определяют системы по-разному, как им удобно для их деятельности. Хотя для совместной работы в команде проекта им придётся договориться). Когда мы обсуждаем транспортные системы — это планетарные масштабы, или масштабы какой-то страны.

В одной из подсистем транспортной системы можно выбрать для обсуждения железнодорожную систему — поезда, энергетику железной дороги, управление движением поездов и т.п. Если взять одну из подсистем железной дороги — систему железнодорожной станции, то в ней можно дальше рассмотреть её собственные подсистемы — систему, обеспечивающую посадку пассажиров, информационную вокзальную систему, систему обеспечения пассажиров питанием, систему продажи билетов. Часть этой системы продажи билетов — её подсистема автоматов по продаже билетов. Эти автоматы тоже каждый могут быть рассмотрены как отдельные системы. Винты, которые крепят печатную плату контроллера к корпусу этого автомата — это тоже системы. И даже в винтах можно найти разные части — головку с шлицами под отвёртку разной формы, резьбу.

Вот так, в одном абзаце и одной маленькой картинке мы проходим рассмотрение ситуации от планетарных или страновых масштабов до маленького винтика, и при этом не сходим с ума, не теряем нити рассуждений, чётко понимаем каждый раз предмет обсуждения и масштабы проблем. Навигация (перемещение в рассмотрении и концентрация внимания на более и более малом объёме) по

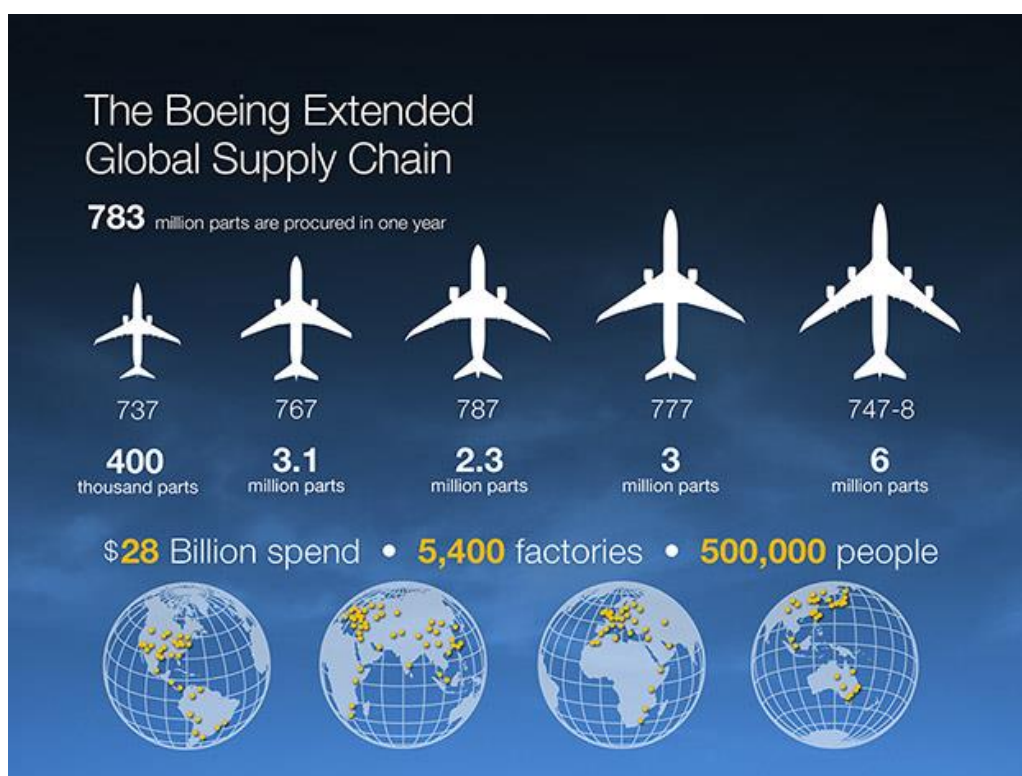
⁸⁴ Leidraadse (2008), Guideline Systems Engineering for Public Works and Water Management, 2nd edition, <http://www.leidraadse.nl/>

⁸⁵ https://ru.wikipedia.org/wiki/Мультимодальная_перевозка

уровням холархии чрезвычайно мощный инструмент мышления.

Бессмысленно рассматривать винт в автомате по продаже билетов как составную часть холона транспортной системы — это с точки зрения формальной логики будет правильно, но абсолютно бессмысленно. Системный подход, вводя системные уровни, делает рассуждения осмысленными: все люди получают возможность договориться, обсуждая проблемы только каждый на своём уровне системной холархии, обсуждая свои системные эффекты. Так организованное мышление — это огромное достижение цивилизации.

Боинг 747-8 состоит из 6 миллионов независимых видов деталей, которые производят полмиллиона человек на 5400 фабрик, за один год заказывается 783 миллиона частей самолёта⁸⁶:



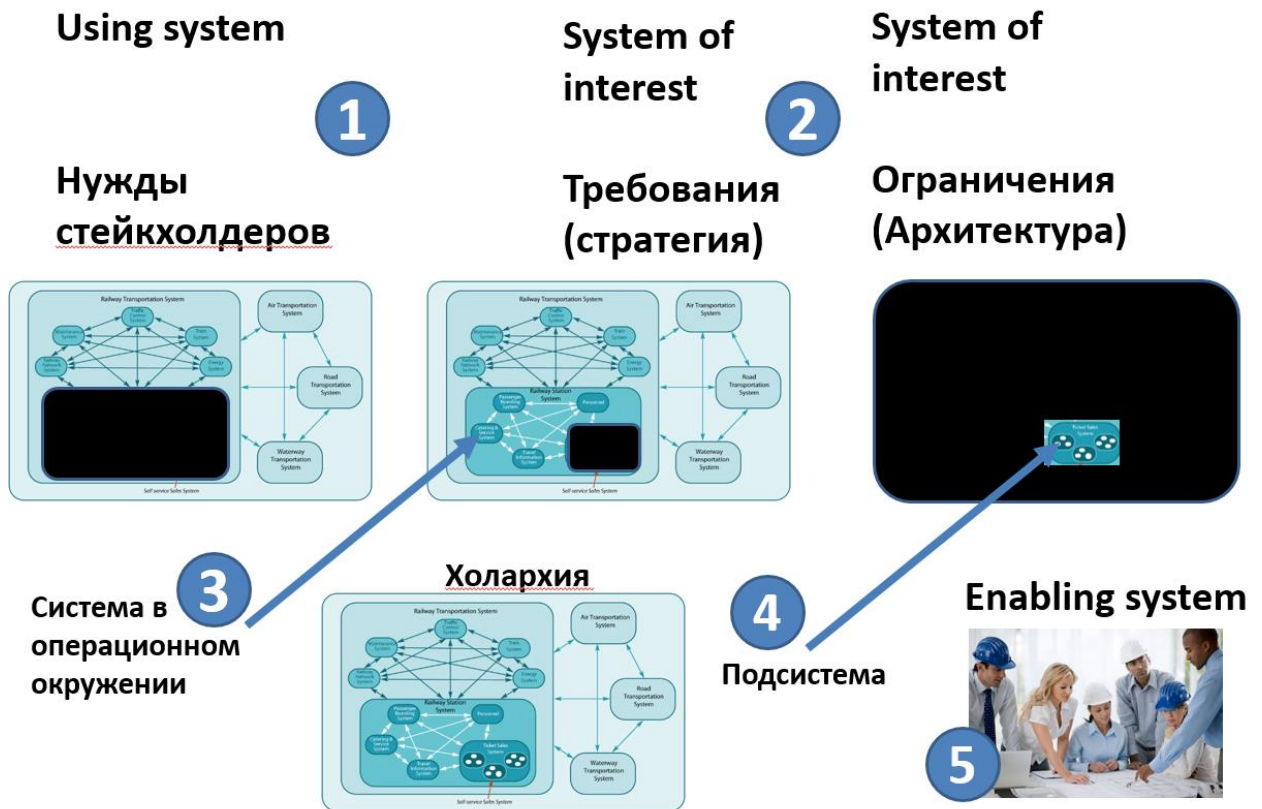
В современных системах число отдельных элементов, которые нужно согласовать между собой (в проектировании), а часто и создать с нуля (в конструировании) достигает десятков миллионов в «железных» системах, а если речь идёт об электронных системах, то и десятков миллиардов: на одном серийно выпускаемом в 2017 году электронном чипе NVIDIA GV100 Volta число отдельных транзисторов — 21.1 млрд. штук. Без какого-то иерархического рассмотрения таких сложных объектов можно оставить надежду об их создании. Системное мышление через использование холархий как средства организации внимания позволяет справиться с такими огромными проектами, структурируя внимание.

Потребности, требования, ограничения

Знание о существовании различных видов систем в их относительном положении от целевой системы в системной холархии позволяет более строго ввести всем знакомые понятия потребностей, требований и ограничений. Но перед этим нам нужно ввести понятие **«чёрного ящика»** (black box): это какая-то система,

⁸⁶ <http://787updates.newairplane.com/787-Suppliers/World-Class-Supplier-Quality>

которую мы представляем без знаний о внутреннем её устройстве — мы только можем наблюдать внешнюю границу этой системы (границу её экстенда), т.е. наблюдаем только занимаемое место в пространстве-времени, её свойства, поведение (и тем самым функцию), но ничего не знаем о внутреннем устройстве.



Определение целевой системы как чёрного ящика называют **системными требованиями** (system requirements). Требования прежде всего содержат информацию о функциях системы по отношению к её целевому окружению, поэтому часто говорят о функциональных требованиях. «Нефункциональных требований» не бывает (так говорить моветон, хотя и такой термин часто встречается в литературе), чаще говорят просто о других видах требований — например, требованиях качества (например, определение поведения системы при работе в необычных условиях или не в момент эксплуатации: способность работать под высокой нагрузкой, ремонтпригодность, доступность по цене, лёгкость монтажа).

Конечно, терминология может меняться. Например, требования для предприятия вряд ли будут называть именно «требованиями», чаще их называют **стратегия** (strategy) — какое-то ожидаемое поведение или свойство предприятия как целого, как чёрного ящика (например, стратегия — это на какой рынок будет выходить предприятие, как оно будет себя там вести). Часто слово «системные» опускают и говорят о просто «требованиях».

Очень часто те люди, которые формулируют требования или стратегию, хотят указать не только внешние свойства системы, описать не только границы системы и её поведение как чёрного ящика, но и указать какие-то детали внутреннего устройства системы: определить (define) части системы (подсистемы), указать на процесс взаимодействия подсистем. В этом случае о системе говорят как о **«прозрачном ящике»**, в нём можно считать известными какие-то подсистемы, свойства и поведение этих подсистем. Если в какой-нибудь «спецификации» или

«требованиях технического задания» среди требований встречаются описания прозрачного ящика (упоминания подсистем), то их называют **ограничениями** (constraints). Эти ограничения нужно понимать как ограничения конструкторской свободы команды, которая должна разработать и изготовить систему.

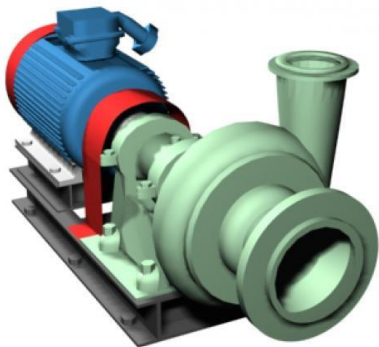
Обычно команда проекта согласовывает с заказчиком системы функции и свойства, которые должна выполнять система как чёрный ящик, т.е. согласовывает требования, а уж как устроена система внутри, какая у неё конструкция, команда проекта определяет самостоятельно. Важнейшие из этих решений по устройству системы, т.е. решения «прозрачного ящика» называют **архитектурой**. Но очень часто клиент пытается принять такие решения за команду проекта (например, исполнитель роли клиента считает, что он как инженер лучше, чем инженеры в команде проекта, или решение принимается из политических или экономических соображений, неизвестных команде проекта), и тогда эти архитектурные решения, поступающие вместе с требованиями, называют ограничениями. Общая рекомендация в таких случаях — согласовывать требования, но торговаться по поводу ограничений (вполне уместно предлагать свои варианты — вполне возможно, что клиент просто не знает о существовании альтернатив и будет вполне согласен с предложениями).

Если рассмотреть использующую систему как чёрный ящик, то её определение будет **потребностями стейкхолдеров** (stakeholder needs, нужды стейкхолдеров), хотя иногда и говорят о «требованиях стейкхолдеров» (stakeholder requirements). Не путайте требования стейкхолдеров с системными требованиями: это определения разных вложенных друг в друга систем! Так что люди во избежание путаницы предпочитают про требования стейкхолдеров говорить потребности/нужды/needs.

Стейкхолдеры, которые разрабатывают, изготавливают, эксплуатируют целевую систему — это **команда проекта**, или внутренние стейкхолдеры. Но многие стейкхолдеры своей целевой системой в их основных проектах считают использующую систему — и их называют поэтому **внешние стейкхолдеры** (внешние по отношению к проекту). Клиент — внешний стейкхолдер, менеджер проекта — член команды проекта.

Примеры использования терминологии видов систем

Рассказ о целевой системе всегда начинается с её описания как чёрного ящика, при этом по факту приходится рассказывать не столько о самой целевой системе, сколько об использующей системе (то есть системе, составной частью которой является целевая система). Например, опишем простую механическую систему с электрическими элементами — центробежный насос (centrifugal pump).



Целевая система — центробежный насос, использованный в насосной станции (т.е. использующая система — насосная станция). Его функция — повышение давления жидкости. Одна из его подсистем — ротор с лопатками.

Один из внешних стейкхолдеров — оператор (owner-operator) насосной станции. Потребность — бесперебойная работа насосной станции (обратите внимание, что потребность говорит не про насос как целевую систему, а про насосную станцию как использующую систему!). Требования: перекачка воды 10000 литров/час, наработка на отказ 5000 часов.

Некоторые системы в операционном окружении: мотор, трубопровод (они входят в состав насосной станции, но они внешние по отношению к насосу), электрическая проводка.

Некоторые обеспечивающие системы: конструкторское бюро (проектировавшее насос), завод (изготовитель насоса), проектировщик и строитель насосной станции (они обеспечивали выбор именно этого насоса, его закупку, монтаж на насосной станции).

Другой пример: электроника с островками софта — наручные смарт-часы.



Чтобы определить использующую систему, в состав которой (в момент эксплуатации) входят смарт-часы, придётся рассмотреть западную христианскую традицию отношения людей к собственности. Люди-как-бессмертная-душа считаются владеющими собственным телом, которое при этом рассматривается не столько как человек, сколько как просто носитель его личности, его вещь. Человек владеет своим телом, это его собственность, он принадлежит сам себе. Это свойство людей называют обычно **самопринадлежностью**. Собственные вещи человека считаются просто продолжением его тела. Никто не может взять тело человека или повредить его, но никто не может взять и его рубашку, часы — они считаются входящими в состав человека, буквально (отношение is_part_of). Это и есть «священная частная собственность».

Тем самым мы с некоторой условностью можем считать использующей системой для смарт-часов самого владельца этих часов: часы будем считать буквально входящими в состав тела его владельца. Для многих личных предметов и инструментов это подтверждается и психологическими экспериментами: люди относятся к ним буквально как к продолжению их тела⁸⁷, «экзотелу».

Ещё одна интересная использующая система этого класса, включающая людей — это **домашнее хозяйство** (household), которое может включать и самих

⁸⁷ Brandon Keim, «Your computer really is a part of you», <https://www.wired.com/2010/03/heidegger-tools>

владельцев, и дом, и домашнюю утварь.

В подобного сорта системах входящие в них люди одновременно и являются стейкхолдерами, и представляют из себя «просто тело», с которым мы работаем ровно как и с другими материалами, т.е. просто учитывая его физические свойства — размеры, влажность, прочность и т.п.

В примере со смарт-часами использующая система — лично пользователь этих часов, но не пользователь как стейкхолдер, а больше принадлежащее ему тело со всем на него надетым: рубашкой, туфлями, часами! Использование в «использующей системе» — это «использование проектировщиком или конструктором целевой системы как части в составе объемлющей/использующей системы», то есть в составе одетого тела. И, конечно, пользователь как пользующийся часами будет находиться в системном окружении часов!

Потребности пользователя как внешнего стейкхолдера — он должен быть информирован о времени, но этот список потребностей по большому счёту остаётся открытым. Функция часов весьма сложна в формулировании, ибо речь идёт о многофункциональном гаджете. Требования поэтому будут относиться не столько к самим часам, сколько к самым разным предполагаемым вариантам их эксплуатации — это могут быть как собственно часы, так и радио, плеер, измеритель пульса, от смарт-часов ожидается, что они не натирают руку (рука как часть использующей системы-тела находится в операционном окружении смарт-часов!), они должны быть модной на момент продажи расцветки, работать без подзарядки не менее 20 часов, вес должен быть не более 50 грамм, с ними должен работать магазин приложений, у них должна быть связь с внешним компьютером (смартфоном, планшетом, десктопом).

Системы в операционном окружении — рука, одежда (как минимум, рукав рубашки или пиджака), зарядное устройство. Подсистема — защитное стекло из Gorilla glass.

Обеспечивающие системы смарт-часов: конструкторское бюро, завод в Китае, магазин по их продаже. И вот если взять магазин как одну из обеспечивающих систем и рассмотреть стейкхолдера-продавца, то про смарт-часы можно узнать много нового. Потребность продавца — это продажи на какую-то немаленькую сумму, что легко переводится в требование удобной упаковки для складской обработки, красочной упаковки и буклетов для выкладывания в торговом зале, а также хорошей рекламы (то есть услуга рекламы рассматривается магазином как часть продукта — без какого-то уровня рекламы хороший магазин может просто эти часы не взять в продажу).

Это очень важно — рассматривать стейкхолдеров, чтобы определить границы целевой системы. Уже понятно, что в состав целевой системы входят и упаковка, и рекламные буклеты и даже транслируемая по каким-то каналам реклама. Можно считать, что магазин приложений находится в системном окружении часов, но вот с упаковкой так считать уже не получится.

Современная инженерия часто имеет дело с **киберфизическими системами** (cyber-physical systems), которые имеют в своём составе датчики (sensors), воздействующие на внешний физический мир исполнительные устройства (actuators: чаще всего разные моторы, но это могут быть и осветительные приборы, электрические выключатели) и компьютер (cyber-, кибер-, управляющую часть), который обеспечивает управление работой всей системы. Примером такой системы может быть дрон для аэрофотосъемки.



Используемая система — строительство. Один из внешних стейкхолдеров — это заказчик-застройщик, потребность которого — подконтрольность строительства. Функция дрона тем самым — делать фотографии высокого разрешения строительства с интересных заказчику-застройщику ракурсов. Требования: полётное время не менее 1 часа, изображение разрешением не менее 11 Мпикселей, зарядка между полётами не более 1 часа. Подсистема — фотокамера. Системы в операционном окружении: зарядка, стройка с её зданиями, сооружениями и оборудованием (краны), в воздухе они могут рассматриваться как препятствия (например, трос от крана).

Обеспечивающие системы дрона — конструкторское бюро, завод-изготовитель, магазин, ремонтная мастерская, эксплуатационная служба с оператором дрона.

Системы систем

Иногда холон-система, который состоит из других холонов-систем называют «системой систем». Это неправильно, это просто система — не нужно специально подчёркивать тот факт, что любая система состоит из систем. Тем не менее, термин **система систем** (system of systems, SoS) есть и он закреплён за особым случаем выделения систем по их социальным характеристикам, а не по чисто техническим. Системой систем называют такую систему, которая (критерии Maier⁸⁸):

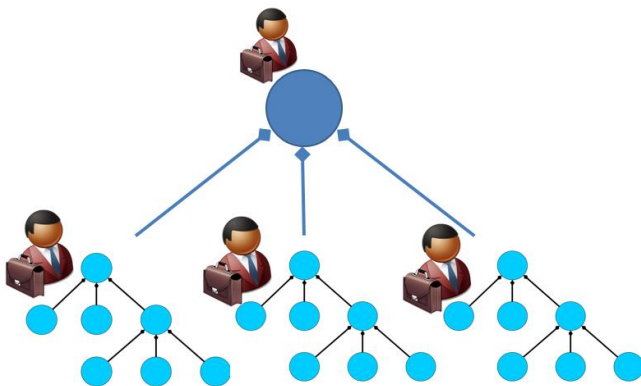
- Имеет независимое управление её систем-элементов (нет, кому скоординировать и профинансировать общее развитие-модернизацию)
- Независимая работа элементов (нет, кому скоординировать работу в общем сервисе этой системы систем)
- Эмерджентность/системный эффект от объединения в систему (кто-то желает получить от целевой системы систем функцию, которую невозможно получить от работы с отдельными входящими в систему систем элементами, и требуется совместная работа этих элементов).
- Эволюционное развитие (понимание того, что будет происходить в системе систем на каждом следующем шаге проекта требует исследований, ибо нет стейкхолдера, который знает как в каждый момент устроена система систем и может обеспечить команду проекта по изменению системы этим знанием)
- Географическое распределение элементов

Эти критерии различаются, конечно, в разных инженерных и менеджерских школах, но общее остаётся: обычные «системы» подразумевают централизованное

⁸⁸ [http://sebokwiki.org/wiki/Systems_of_Systems_\(SoS\)](http://sebokwiki.org/wiki/Systems_of_Systems_(SoS))

«владение» системой — наличие стейкхолдеров, полномочных принимать решения по всем частям системы, полномочных распоряжаться всем, что в границах их системы. Это традиционный случай: автомобиль с двигателем и колёсами, железнодорожный мост и компьютер — это типичные «просто системы», у них есть свои системные инженеры, которые полностью определяют их функции, конструкцию, интерфейсы с системами в операционном окружении, планы по модернизации и выводу из эксплуатации. У каждой из этих систем есть один хозяин, один владелец.

А вот в системе систем каждая из систем имеет своего хозяина, и система может функционировать автономно, без вхождения в систему систем. Тем самым разница между «просто системой» и «системой систем» определяется не через особую структуру или конструкцию системы, а через наличие независимых друг от друга стейкхолдеров, определяющих и создающих системы, а затем независимо использующих их.



В системе систем важны прежде всего владеющие частями-системами люди-стейкхолдеры, именно они делают систему систем особым случаем.

В ISO 15288:2015 выделено четыре типа систем систем, отличающихся **степенью их автономности**:

- **управляемые** (directed), в которых есть назначенный архитектор, который может выдавать приказы командам проектов составляющих систем и распоряжается общими ресурсами.
- **подтвержденные** (acknowledged), в которых признаваемый архитектор есть, но он может только уговаривать составляющие системы самоизмениться согласно разработанной им архитектуре.
- **сотрудничающие** (collaborative), в которых все системы договариваются друг с другом по каждому чиху, но архитектора, менеджера проекта или аналогичного выделенного органа управления нет.
- **виртуальные** (virtual), в которых системы вообще не знают друг о друге ничего и не влияют друг на друга явно.

Был выведен основной способ работы с системами систем: совместная постепенная асинхронная эволюция (модернизация) входящих в систему систем автономных систем — ибо согласованность и синхронность изменений в этих автономных системах крайне сложно обеспечить: даты утверждения проектов модернизации будут различаться, получаемое на модернизацию финансирование будет выделяться в разные моменты и нельзя будет гарантировать его достаточность,

некому будет вести общий проект реформирования как инженерно, так и менеджерски, не говоря уже об общем целеполагании (технологическое предпринимательство). Хозяева автономных систем могут иметь разные мнения по поводу взаимодействия их систем с другими автономными системами в составе системы систем, они могут сопротивляться переменам, ибо их вполне может удовлетворять и автономная работа их систем в их использующих системах, а желание какого-то даже влиятельного стейкхолдера системы систем об объединении автономных систем в общую систему систем они могут не разделять.

Для работы с системами систем тем самым необходимо лидерство, опирающееся на гуманитарные дисциплины социологии, политологии, психологии, конфликтологии и т.п. — стейкхолдеры автономных систем должны занять позиции стейкхолдеров команды проекта системы систем.

Люди в системах

Человек в составе систем учитывается сложно, ибо он одновременно может быть и целевой системой («продуктом»), и «оборудованием» в составе обеспечивающей системы, и служить использующей системой, но всегда при этом человек остаётся стейкхолдером: мы можем не учитывать мнений и интересов животных (хотя и это плохо), но мы принципиально не можем не учитывать мнений людей.

В случае же, если это не один человек, а их несколько, всё становится ещё сложнее: люди могут договариваться друг с другом по самым неожиданным поводам и предпринимать в этой связи самые неожиданные для команды проекта действия.

Один из простейших примеров системы с входящими в её состав людьми — это танец. В танце люди выступают и как материал, и как стейкхолдеры (в разных танцах они бывают самые разные), танец является при этом процессом, но при этом танец не обладает сложностью предприятия и тем самым не требует рассмотрения сложных вопросов корпоративного управления, стратегирования, операционного менеджмента/управления работами. Это отличный пример, на котором можно тренировать своё системное мышление⁸⁹.

Мероприятия так же являются классическим примером систем с людьми. Менеджмент мероприятий (event management⁹⁰) даже стал университетской дисциплиной — сделать (задумать, спроектировать, изготовить, проэксплуатировать и затем вывести из эксплуатации) концерт или фестиваль трудно, но ничего необычного в этом уже нет, рассмотреть тысячи людей в составе системы-мероприятия вполне возможно.

Домашнее хозяйство, где есть дом с утварью и его жильцы, уже рассмотренный случай потребителя одежды и гаджетов — это всё примеры систем с людьми.

Сложнейшими системами с людьми являются обеспечивающие системы — предприятия, рабочие группы проекта, расширенные предприятия (extended enterprise), предприятие с его контракторами, занимающееся какой-то большой целевой системой (например, самолётом или автомобилем). Мы будем называть такие системы **предприятиями** (endeavor, предприНятие), чтобы в число этих систем попали не только предприятия-юридические лица, но и другие виды организаций, которые что-то *предпринимают*.

⁸⁹ Танцевальное мышление и его развитие, <http://ailev.livejournal.com/1332624.html>

⁹⁰ https://en.wikipedia.org/wiki/Event_management

Главное, что нужно понимать — что системы с людьми по определению являются системами систем в силу того, что люди обладают свойством самопринадлежности. И это означает, что с этими системами систем нельзя работать простыми инженерными методами, в которых можно сконструировать простую механическую или механическую с элементами электроники систему, изготовить её части и собрать их в работоспособное целое. Нет, **метафора часовщика** с изготовлением деталей и их сборкой не работает, с людьми (как и любыми другими живыми системами) больше работают «сельскохозяйственные» **метафоры садовника** (который имеет контроль над тем, что выращивает) и в больших системах систем с людьми **лесника** (который не имеет контроля над своим лесом — где какое дерево или кустик вырастет, но тем не менее достаточно влияния, чтобы предотвратить какие-то серьёзные негативные события: может предотвратить пожар, подкормить зимой животных, отогнать браконьеров).

В особо крупных системах (большое сообщество, общество в масштабах государства, всё человечество) говорят уже не просто о сложности системы, а **сложности** или даже сложносистемном мышлении⁹¹, что не позволяет как-то строить действия с предсказуемым результатом.

Государственное строительство и госпроекты

Если ребёнку в руки попадает молоток, то все предметы в доме превращаются в гвозди — и это означает, что не ребёнок владеет инструментом, а инструмент владеет ребёнком. Если системный инженер или менеджер встречается с госстроительством, то он непременно хочет им заняться (ибо это обычно прибыльно: деньги ведь на проект собирают со многих, а отдают ему одному, поэтому почему бы и не заняться?). Если госстроитель (политик) знакомится с системным подходом, системной инженерией или менеджментом, то он непременно захочет их использовать. Системную инженерию в её классическом виде для целей госстроительства использовать нельзя, она предназначена прежде всего для киберфизико-человеческих систем совсем небольших масштабов — в которых чётко определены стейкхолдеры, занимающимися какой-то «традиционной» аппаратной или даже программно-аппаратной системой.

В госстроительстве имеют дело главным образом с системами из людей, игнорируют кибер-составляющую (которой становится всё больше и больше в связи с распространением интернета, и появлением интернета вещей), и совсем не имеют дела с физическими («железными») системами, с которыми системная инженерия справляется лучше всего. Краткий тут совет — если уж нужно заняться госстроительством, то используйте знания по политологии, конфликтологии, праву, экономике, социологии и системное мышление в его «мягких» вариантах, но не используйте системную инженерию, от неё будет только хуже. Государство и люди в нём — это не отсеки подводной лодки, это не детали медицинской аппаратуры, это даже не атомная электростанция вместе с её персоналом.

У проекта системной инженерии всегда есть вполне определённые стейкхолдеры, которые платят за этот проект: заказчики. Кто заказчик в госстроительстве? Политики? Чиновники? «Народ» (например, опрос общественного мнения или

⁹¹ См. литературу в П.К.Гречко «Сложносистемное мышление: методологические перспективы. Парадигмальная эвристика complexity в современном социально-гуманитарном познании» http://web-local.rudn.ru/web-local/prep/rj/files.php?f=pf_e78b9721c199d6a0e389b198f287d4d5

фокус-группа)? «Элита» (и кто её определяет)? Группы экспертов (вариант «экспертотократии» — но как выбрать из этих групп «правильную», все эксперты ведь говорят разное)? Нужно чётко понимать, что в случае госстроительства речь идёт о политике, а не о классических стейкхолдерах системноинженерного проекта. Не нужно себя обманывать, говоря, что «есть заказ, оплачивается он из бюджета, следовательно заказчиком является тот чиновник, который будет подписывать мне акт приёмки работ». Госстроительство — это прежде всего политика, в политике подобные рассуждения неприемлемы. Что для одного политического стейкхолдера успех, для другого будет полным провалом, и наоборот, и таких стейкхолдеров столько, сколько разных политических групп. Поэтому государственные проекты будут неуспешными по определению: в них никогда не будут учтены интересы всех стейкхолдеров, эти интересы нельзя будет определить честно и справедливо (напомним, что по определению системной инженерии успешная система — это которая учитывает интересы всех своих стейкхолдеров).

Конечно, формально для госпроекта может быть и подписанный какими-то стейкхолдерами паспорт проекта, и даже отчёт о его реализации, «успешной» с точки зрения именно этих стейкхолдеров, но никаких других. Одни стейкхолдеры будут что-то подписывать в бумагах по паспорту проекта, а другие стейкхолдеры будут делать пикеты ровно на эту же тему, писать статьи в газетах и разными другими способами пытаться выразить своё недовольство — в системной инженерии и системном менеджменте игнорировать их считается не лучшей практикой, такой проект нельзя будет считать успешным. Когда у кого-то берут деньги в виде налогов, а потом тратят на чей-то проект, с самим фактом наличия которого налогоплательщик не согласен — это оно и есть, неучёт мнения главного стейкхолдера. Главный стейкхолдер это «народ», желающих что-то сказать в строчке бюджета и в паспорте проекта, а также от его имени расписаться в отчёте очень много. Для этого политиками и чиновниками много говорится о субсидиарности, партисипативности, сдержках и противовесах, но факт остаётся фактом: по гамбургскому счёту успешных проектов в государстве нет — мнение об успешности всегда является частным мнением какой-то группы людей, другие группы людей могут быть недовольны. Но поскольку на стороне властей сила полиции и деньги налогов этих же недовольных, они ничего сделать не смогут. Это всё политика, это не менеджмент, не проектное управление, не инженерия.

Строить государство и организовывать госпроекты вы будете не из своего материала, а всегда из чужого: из других людей. Но люди — это не железо, и не компьютеры. Не считайте, что именно вы из них что-то постройте удачное для вас или них самих, и не считайте, что вы как системный мыслитель (системный менеджер, или инженер, или даже просто программист, или сапожник, или деятель культуры) квалифицированы что-то строить из людей. Эти люди, эти самопринадлежащие системы, из которых вы будете пытаться строить системы систем, не ваши материалы для строительства, и они не материалы ваших заказчиков-чиновников, заказчиков-политиков. Они самопринадлежны, они все свои собственные. И они так же точно могут хотеть что-то построить из вас — в том числе и то, что вам не понравится. Золотое правило работает и тут: не делайте с людьми того, чего не хотели бы, чтобы делали с вами.

Инженер по безопасности может защищать систему от врагов (антиклиентов). Инженер-госстроитель не может быть инженером по безопасности, разве что он строит тюрьму. Разработчики государственного регулирования все строят тюрьму,

им платят именно за это, никто никогда не платит за дерегулирование⁹². Задумайтесь над этим перед тем, как построить очередной блок государства, который дальше получит властные полномочия и употребит их для того, чтобы разрастись и получить ещё больше власти.

Нельзя также считать, что можно получить помощь от государства в развитии системного мышления, системного менеджмента, системной инженерии, системной биологии и других системных дисциплин (часто об этом говорят, как о «промышленной политике»). Чиновники ничего не понимают в этих сферах деятельности. Даже если они выделяют деньги на развитие каких-либо практик из этих сфер, или создание курсов — вовсе не факт, что это будут конкурентоспособные практики, конкурентоспособные курсы. Пусть проблемы инженеров и менеджеров решает рынок, дело чиновников — не вмешиваться в решения рынка (не поддерживать рыночно слабых и давать им разоряться, не тормозить рыночно сильных и давать им заработать, и не путать рыночно сильных и слабых с административно сильными и слабыми — то есть умеющих расположить к себе инвесторов и клиентов с умеющими расположить к себе чиновников).

Нужно также очень осторожно относиться к примерам системной инженерии из военных проектов (и проектов из других областей, которые полностью зарегулированы государством — например, проектов атомной энергетики). Поскольку в этих отраслях принят Принцип оплаты из бюджета «затраты плюс» (затраты, реально понесённые в ходе проекта, плюс оговорённый небольшой процент прибыли), то только полные идиоты не будут потихоньку год от года повышать стоимость проектов и сроки их выполнения, повышая тем самым и процент прибыли. Посмотрите на гражданскую технику, её стоимость, рост технических характеристик, сроки разработки за последние двадцать лет (возьмите хоть те же смартфоны: двадцать лет назад даже сотовых телефонов толком не было, не говоря уже о смартфонах) и сравните с военной техникой — сроками и стоимостями разработки. Разница будет разительна. Поэтому нужно признавать, что в военной системной инженерии есть множество интересных методологических находок, но слепо копировать этот опыт нельзя: вполне возможно, что вы откопируете заодно и прилично выглядящие способы повышения стоимости и удлинения разработки. На свободном рынке фирмы с такими методологиями бы не выжили, но на военных якобы рынках действуют совсем другие закономерности. И конечно, каждый системный инженер решает для себя сам: хочет ли он проектировать и строить машины для убийства (именно этим занимается военная системная инженерия).

Всё то же самое верно и для системного менеджмента: военный менеджмент явно не является образцом того, как должен быть устроен менеджмент в гражданском мире, хотя многие начальники и хотели бы, чтобы их подчинённые ходили строем.

Будущее

Системное мышление даёт возможность понять, как думать о будущем. Будущее физично — это просто весь мир как 4D индивид, только интересуется его временной

⁹² Формально у госорганов есть многочисленные инициативы по дерегулированию, например, деятельность по сокращению перечня лицензируемых видов деятельности, реформа контроля и надзора, но это только для отвода глаз: результаты этой деятельности практически нулевые много лет, эти деятельности существуют только «для отвода глаз», упоминания в идеологических документах, а не для реального дерегулирования.

срез не прямо сейчас, а через некоторое время. Будущее — это полная темпоральная часть мира в будущем времени. Конечно, в будущем каждому интересно что-то своё, будущее определяется не объективно, а субъективно. Поэтому для каждого человека неинтересно всё будущее в целом, а интересно только то, что обычно интересно тем стейкхолдерским ролям, которые люди играют в своей жизни.

Будущее представляется людям как использующая система для множества использующих систем, для которых эти люди-стейкхолдеры будут делать свои целевые системы. Что будут люди делать в будущем? Это описывается требованиями. В каких системах это будет использоваться? Это описывается потребностями. Мы узнаём будущее по описаниям его целевых и использующих систем — по требованиям и потребностям. «Будущееведение» тем самым — инженерия требований.

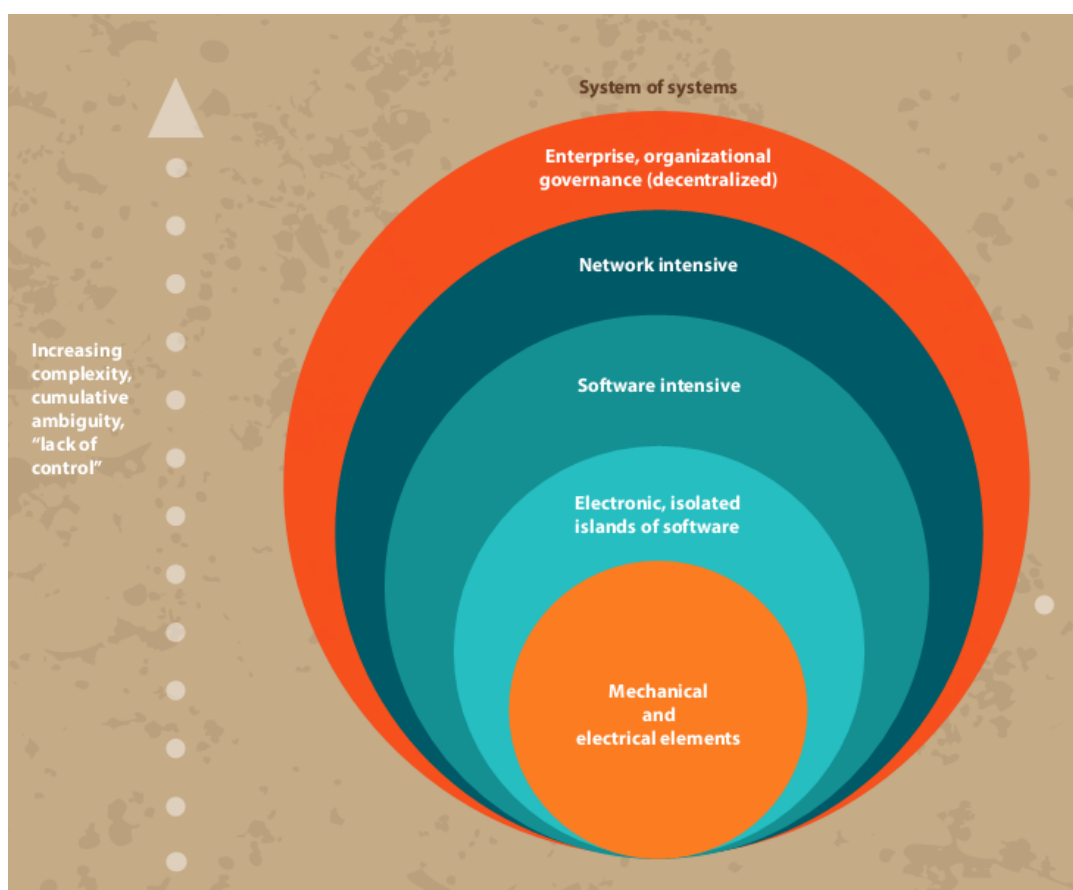
Предприниматели зарабатывают на том, что могут предвидеть будущее. Тем самым ведущая дисциплина предпринимательства — это **инженерия требований** (requirements engineering), которая занимается выявлением потребностей (stakeholder needs/requirements) и требований (system requirements).

Общность мышления по мере усложнения систем

В июне 2014 года INCOSE (International Council on Systems Engineering, Международный совет по системной инженерии)⁹³ выпустила публичный документ System Engineering Vision 2025⁹⁴, в котором описала в том числе и рейтинг систем по их сложности для инженерии.

⁹³ <http://www.incose.org/>

⁹⁴ <http://www.incose.org/AboutSE/sevision>



Самые простые системы — это системы с механическими и электрическими элементами (mechanical and electrical elements), вроде велосипеда, насоса или холодильника. Более сложные — это в которых можно найти электронику, и контроллеры с программным обеспечением, управляющие логикой работы каких-то элементов системы (electronic, isolated islands of software), например, стиральная машина или современный автомобиль с двигателем внутреннего сгорания. Но вот уже реактивный самолёт или космический корабль с трудом попадает в эту категорию: логика их работы уже полностью определяется программным обеспечением, поэтому такие системы называют программными (software-intensive). Это граница применения классической инженерии, все учебники системной инженерии, все стандарты по факту описывают практики создания именно таких систем.

Но человечество не останавливается на создании только таких систем, для которых есть хорошо разработанные методологии. Нет, есть и более сложные системы, и относительно новый класс таких систем — это сетевые (network-intensive). **Сеть** — это обычно какой-то набор узлов и связей между узлами, и поток чего-то по этим узлам. По сети интернет бегут потоки данных, по водопроводной сети — вода, по сети датчиков — данные. Сетевые системы сложнее программных, потому как обычно для сложных сетей в каждом конкретном месте сети неизвестны все остальные узлы, и неизвестны все связи. Более того, каждый момент времени ситуация может меняться, поэтому программы управления потоками для такой сети должны учитывать эти изменения. Это крайне сложно делать: сеть по факту имеет меняющуюся на ходу структуру, и её нельзя спроектировать и реализовать, для неё можно только сформулировать общие Принципы, определить структуру узлов и виды связей — и дальше опять мы оказываемся в мире сложности с сельскохозяйственными метафорами садовника и лесника. Сетевые системы

сегодня — фронтир системной инженерии.

Ещё более сложные системы — это предприятия, т.е. предприятия и другие системы с организационным надзором, в том числе децентрализованным (enterprise, organizational governance (decentralized)). Governance рекомендуем переводить как **«поднадзорность»**, а не «управление»: governance означает, что поднадзорный субъект не выскальзывает из-под надзора, а продолжает выполнять свои обязательства исполнять поручения полномочного менеджера предприятия. Созданием таких организационных систем занимаются не системные инженеры, а инженеры предприятий (которые, впрочем, с удовольствием пользуются учебниками и стандартами системного подхода и системной инженерии, равно как и менеджерскими учебниками, стандартами и публичными документами). В состав этих систем входят люди, поэтому в силу самопринадлежности людей предприятия мы сразу говорим о нём как о системе систем. Но на этом уровне хотя бы есть поднадзорность/governance, то есть существуют стейкхолдеры, полномочные выдавать общие распоряжения по использованию ресурсов.

Самый сложный вид систем — это системы систем. С ними не может быть гарантии, что они все по степени автономности управляемые, как на предыдущем уровне предприятия (где известны полномочия людей по распоряжению ресурсами организации). Нет, тут могут быть и подтверждённые, и сотрудничающие, и виртуальные системы систем. Инженерия систем систем сейчас бурно развивается, хотя в ней нельзя указать каких-то надёжно работающих методов. То же самое относится к построению всевозможных бизнес-эко-систем⁹⁵. Это пока больше искусство.

А ещё в этой классификации присутствуют только инженерные системы, которые делают люди. Тут не указаны природные системы, которые могут быть сложными или простыми в зависимости от того, какие функции от них ожидают стейкхолдеры и что они хотят сделать с этими природными системами, включая их в состав своих систем, используя их как разработчики в ходе проектирования и изготовления, или даже используя их как пользователи в ходе эксплуатации. Интуитивно понятно, что сложность биологических систем очень и очень высока. Недаром системный подход как способ мыслительной работы со сложностью сначала использовался главным образом для разбирательства с биологическими и природными системами.

Сложность и меры сложности

Понятие сложности интенсивно разрабатывалось не только в рамках системных исследований (т.е. исследований по развитию системного подхода), но и во многих других дисциплинах. Окончательного согласия по тому, что такое сложность нет, и не предвидится. Так, Seth Lloyd собрал различные определения для мер сложности⁹⁶. Все эти определения он отнёс к попыткам ответа на три вопроса:

1. Как трудно описать систему? Обычно это измеряется в битах, затрачиваемых на представление описания. Мерами сложности тут будут информация, энтропия, алгоритмическая сложность или алгоритмическое содержание информации, максимальная длина описания, информация Фишера (Fisher), энтропия Рени (Rényi), длина кода (беспрефиксного, Хаффмана, Шэннона-Фано, корректирующего ошибки, Хамминга), информация Чернова, размерность, фрактальная размерность,

⁹⁵ https://en.wikipedia.org/wiki/Business_ecosystem

⁹⁶ <http://web.mit.edu/esd.83/www/notebook/Complexity.PDF>

сложность Lempel-Ziv.

2. Как трудно создать систему? Сложность как трудность создания измеряется во времени, энергии, долларах и т.д. Меры сложности тут вычислительная сложность, временная вычислительная сложность, пространственная вычислительная сложность, основанная на информации сложность, логическая глубина (depth), термодинамическая глубина, цена, шифрованность (crypticity).

3. Какая степень организованности? Тут может быть два варианта:

а) «результатирующая сложность» (effective complexity), трудность описания организационной структуры, неважно корпоративной, химической, клеточной. Приведём их по-английски: Metric Entropy; Fractal Dimension; Excess Entropy; Stochastic Complexity; Sophistication; Effective Measure Complexity; True Measure Complexity; Topological epsilon-machine size; Conditional Information; Conditional Algorithmic Information Content; Schema length; Ideal Complexity; Hierarchical Complexity; Tree subgraph diversity; Homogeneous Complexity; Grammatical Complexity.

б) количество информации, которой нужно обмениваться между частями системы из-за такой организационной структуры: Algorithmic Mutual Information; Channel Capacity; Correlation; Stored Information; Organization.

Есть и понятия, которые не являются понятиями сложности, но очень близки: Long—Range Order; Self—Organization; Complex Adaptive Systems; Edge of Chaos. Есть и совсем альтернативные меры сложности (например, основанные на скорости описания оцениваемых объектов, а не объёме этого описания⁹⁷).

Ситуация с понятием «сложность» очень характерна для системного подхода: употребляемые в нём слова кажутся вполне «бытовыми» и имеющими ясные и интуитивно понятные с детства значения. Но нет, слова эти вдруг оказываются терминами, за которыми скрываются очень сложные и противоречивые понятия, с этими понятиями работают самые разные логические или количественные модели, проводятся количественные измерения самых разных их характеристик.

В рамках настоящей книги мы будем считать сложной систему из достаточно большого количества элементов, настолько большого, чтобы в одной голове не получалось оценить все связи и взаимодействия. Если в системе пятьсот человек, этого вполне достаточно, чтобы в одной голове не получилось оценить все связи и взаимодействия этих людей. Это сложная система. В одной голове так же трудно удержать все связи и взаимодействия в системе смартфона, в системе атомной электростанции, многих других инженерных системах. Для наших целей обучения системному мышлению такого неформального понимания сложности вполне достаточно, но вы должны помнить, что кроме этого неформального понимания есть и другие, формальные понимания сложности, есть множество теорий сложности, из которых пришли эти формальные понимания.

Системное мышление не даёт никаких «объективных ответов» на вопросы о системах. Эти ответы всегда зависят от того, какой стейкхолдер спрашивает, и какой стейкхолдер даёт ответ. В системном мышлении нет никакого алгоритма, приводящего к правильному ответу, нет последовательности шагов, гарантирующих какой-то приемлемый результат этого мышления. Системное мышление сложно, его

⁹⁷ <http://people.idsia.ch/~juergen/speedprior.html>

долго осваивать — этим оно напоминает какую-то «необъективную высшую математику». Системное мышление даже не трудится давать точные определения своим понятиям: разные стейкхолдеры норовят приспособить эти понятия для своих самых разных потребностей. Но **понятия системного мышления позволяют компактно и просто описывать сложный мир!**