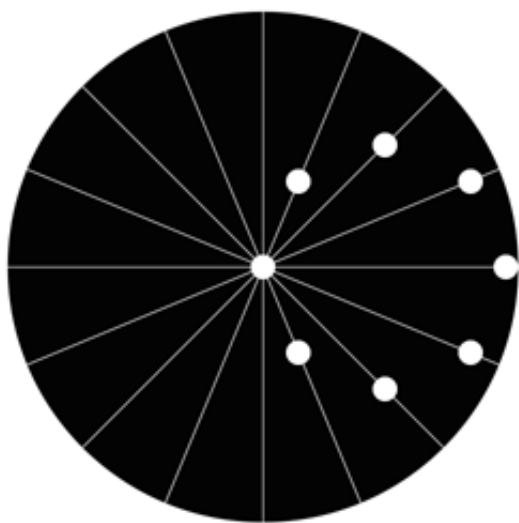


# Применение оценки сложности для оптимизации подсистем управления



Автор статьи:

**О. Г. Захарчук,**  
член РФО РАН

**O.G. Zakharchuk**

a member of the RPS RAS

В статье предлагается конструктивное определение сложности систем, эффективная оценка её значения, а также классификация систем по сложности. Также предлагается концепция оптимизации функциональных структур подсистем управления на основе данной оценки сложности.

**Ключевые слова:** система, конструктивная модель, сложность системы, оценка сложности системы, область определённости, область неопределённости, подсистема управления, оптимизация.

## Application complexity assessment for optimization of management subsystems

**Abstract:** the article offered constructive definition of the complexity of systems, effective assessment of its significance, as well as classification systems complexity. Also the concept of optimization of functional structures of subsystems of management based on this assessment complexity.

**Key words:** system, constructive model, the complexity of the system, the assessment system complexity, scope certainty, uncertainty range, the subsystem of control, optimization.

*Того, кто не принимает новые решения,  
ждут новые проблемы.*

*Ф. Бэкон*

Проблема оценки сложности систем является центральной в методологии общесистемного моделирования. Анализ понятия сложности и разработке способов оценки сложности систем посвящены работы многих исследователей. Назовём некоторых из них: С. Бир [1], Г. Саймон [2], А.И. Берг [3, 4], А. И. Уёмов [5], Н. П. Бусленко [6], Г. И. Поваров [7], В. Ф. Венда [8], С. А. Гайдес [9], В. М. Казиев [10], В. В. Соколов [11] и др.

В современных системных исследованиях имеется ряд направлений классификации систем по сложности и форм построения оценки сложности. Так, Г. Н. Поваров выделяет четыре класса систем в зависимости от числа элементов, входящих в систему [7]:

- малые системы ( $10^1 - 10^3$  элементов),
- сложные ( $10^4 - 10^7$  элементов),
- ультрасложные ( $10^7 - 10^{30}$  элементов),
- суперсистемы ( $10^{30} - 10^{200}$  элементов).

Такую классификацию можно отнести к делению по экстенциональному признаку, в котором не учитываются реализуемые в субстрате отношения. Кроме того, сама эта классификация очевидно противоречива: система из большого количества песчинок намного менее сложна, чем система из нескольких человек.

Российский учёный, академик А. И. Берг предложил определить сложную систему как систему, которую можно описать не менее чем на двух различных математических языках (например, системой интегральных и дифференциальных уравнений) [4, с. 271]. Однако сложность системы определяется не столько сложностью её описания, сколько сложностью целостной организации самого объекта (процесса, явления), представляемого в этом описании.

Английский кибернетик С. Бир предложил классификацию кибернетических систем на простые и сложные в зависимости от способа их описания: детерминированного или теоретико-вероятностного [1], т. е. связал понятие сложности с фактором определённости.

Часто сложными системами называют системы, которые нельзя корректно описать математической моделью [3].

Наиболее интересную форму оценки сложности систем предложил А. И. Уёмов – «энтропийную меру простоты» систем [5]. Однако камнем преткновения в её использовании явилось отсутствие способа оценки вероятностей реализации или нереализации отношений в субстрате, т. к. именно сложные системы характеризуются принципиально неполной определённой представлением составов элементов их субстратов и реализуемых в них отношений. Подобный подход к построению оценки сложности применил и В. М. Казиев [10].

Комплекс оценок сложности, основанных на единой теоретико-множественной форме построения оценки отношения мощностей пересечения к объединению объёмов модели и реального состава объекта моделирования, предложил В. В. Соколов [11]. Однако эти формы оценок также не могут быть реализованы по причине принципиальной неполной определённости представления состава моделируемой сложной системы.

Поэтому общий вывод, представленный в литературе по системным исследованиям, состоит в том, что (так же, как и в определении самого понятия система) единства в конструктивном определении этого понятия и в разработке формулы оценки его значения ещё не сложилось. В данной работе предлагается подход к решению этой проблемы, основанный на структурно-функциональном определении понятия конструктивной системы  $S^{\pm N}_\alpha$  в конструктивной теории систем (КТС) [12, 13: раздел 2.3.2].

Суть её решения состоит в реализации эффективного способа представления областей определённости  $V^{(+d)\pm N}_\alpha$  и неопределённости  $V^{(-d)\pm N}_\alpha$  объёма актуализации рекуррентно-рекурсивно (поэтапно) развивающейся (уточняющейся) модели сложной системы:  $V^{(\pm d)\pm N}_\alpha = \&(V^{(-d)\pm N}_\alpha, V^{(+d)\pm N}_\alpha)$ . Такая же концепция построения оценки сложности систем, по сути, была предложена в исследованиях по «гибридному интеллекту» [8].

При этом в КТС под определённой ресурсами понимается их наличие как в информационном, так и в материальном, технологическом или методологическом смыслах. Данные об этих ресурсах, необходимых и достаточных для организации целевого функционирования системы, получаются в процессе анализа информации, формируемой в актуализируемом объёме общесистемного информационного поля (ИП) из информационных потоков об объектной области (организуемых в соответствии с технологией т. н. «хранилищ данных» [14]). Обработка этой информации, как её целевая функциональная организация, выполняется на основе сформулированных в КТС объективных общесистемных законов функциональной организации, единых для реализации объективного свойства организуемости в Универсуме, т. е. единых как для организации информации, так и для отражаемой в этой информации объектной области (в т. ч. и для процессов рефлексии, если объектами информационного отражения являются сами информационные процессы).

Одним из примеров реализации наиболее близкого (к излагаемому в данной работе) подхода к анализу понятия сложности систем является оценка сложности в медицинских исследованиях [9]. Недостатками данного подхода (с точки зрения реализации общесистемной, формально-теоретической, обобщающей формы представления) являются его предметно-профессиональная ориентированность на объектную область, а также отсутствие самих формул оценки сложности. Но добросовестная ориентация на ясные и глубокие профессиональные знания делает это исследование особенно ценным в смысле предметно-эмпирического подтверждения фундаментальных положений КТС.

Таким образом, до настоящего времени в общей теории систем (ОТС) превалируют предложения форм оценок сложности на основе вычисления экстенциональных признаков: количества элементов субстрата и количества реализованных в нём отношений, количества состояний системы или количества затрачиваемых ресурсов (в т. ч. и методологических) для анализа, проектирования, организации или управления системой.

**Но в сложных системах основным фактором является фактор принципиально неполной определённости составов их моделей** (или объёмов, необходимых для реализации ресурсов при решении проблем изучения, проектирования, создания или управления такими системами). Эта неполная определённая является следствием большого объёма необходимых для отражения факторов и высокой динамичности процессов реализации состояний системообразующих структур объектов моделирования. Поэтому само применение таких оценок на практике сводимо лишь к «качественным» результатам, пригодным скорее к обсуждениям сложности моделей, чем к реальным сравнительным оценкам самих сложных объектов моделирования, и поэтому не снимающим основной проблемы их конструктивного использования на практике.

Более того, неправильная интерпретация принципа необходимого разнообразия У. Р. Эшби для подсистем управления, основанная на ошибочной интерпретации метода его доказательства посредством оценки энтропии

(против чего предусмотрительно предупреждал сам автор этого принципа [15] ), породила грубейшую ошибку, состоящую в ошибочной подмене понятия **уровня развития** системы понятием **степени его сложности**. Ведь деградация подсистемы управления прежде всего повышает степень её сложности, а совсем не означает её развитие.

В КТС в дополнение к принципу необходимого разнообразия У. Р. Эшби предложен «принцип необходимой простоты» системного представления. В соответствии с этим принципом **отношение объёма актуализации развивающейся модели общей системы к объёму актуализации моделируемой системной области должно прогрессивно и равномерно уменьшаться**. В КТС показано, что в теоретическом пределе это отношение для конструктивных моделей стремится к нулю.

Далее приставка к- будет означать конструктивная (ный, ные, ное), а иное – специально оговариваться.

В КТС вышеуказанные недостатки существующих подходов к определению понятия сложности систем, её оценке и прикладной интерпретации преодолены тем, что, во-первых, элементы к-модели представлены циклическими процессами (а к-отношение определено типом синхронизации между этими процессами). Во-вторых, в состав базовой структуры определения системы входит как её внутренняя среда (представляющая актуализируемый конструктивный потенциал системы), так и (по построению) структурно-симметричная (и изоморфная) ей внешняя, актуализирующая этот потенциал среда.

Причём такое представление является поуровнево (поэтапно) конструктивно развивающимся (вследствие реализации основного принципа конструктивной общесистемной методологии – «принципа последовательных приближений»).

В КТС показано, что объективный процесс общесистемной эволюции сам по себе уже реализует схему поуровневой оптимизации информационно-технологической среды реализации эффективного управления. Дело только в том, чтобы организационно-волевые процессы также основывались на этих объективно-теоретических основаниях. С точки зрения КТС степень эффективности любых волевых действий прямо и непосредственно определяется степенью их адекватности объективному содержанию их функциональных организаций. При этом **свойство организуемости** полагается **объективным свойством** Универсума, а реализация этого свойства подчинена **объективным законам функциональной организации**, которые, таким образом, являются **единицами для объектной области и отражающей её информации**. Этот принцип конструктивного единства объективных законов функциональной организации обосновывает принцип моделирования как объективное обоснование адекватности метода моделирования вообще и основанной на нём функциональной организации подсистем оптимизирующего управления.

Принятие и развитие принципов конструктивизма на основе общесистемной методологии КТС уже сейчас, на уровне представленных в основах КТС фундаментальных положений теории функциональной организации, является актуальным и приоритетным. Но действительно полное эффективное решение прикладных проблем в области сложных систем возможно при условии применения мощного общесистемно ориентированного обеспечения в информационно-технологической среде компьютерных сетей (посредством реализации концепции Решающего поля (РП) ).

Следствием реализации этой концепции должно стать эффективное упорядочивание общесистемного информационного поля – ИП (а также локальных объектно-ориентированных информационных полей). Основанием для такого упорядочивания является принцип функциональной организации общесистемной информации не на субъективно-волевой основе, а на основе конструктивно реализуемого (в информационно-технологической среде компьютерных сетей) комплекса объективных общесистемных законов функциональной организации Универсума. (Этими законами, конструктивно представленными в КТС, являются: закон структурно-функциональной симметрии, закон конструктивного взаимодействия, закон оптимизирующей адаптации и циклическая схема объективной эволюции общих систем.) Для компьютерной реализации основного общесистемного закона – закона оптимизирующей адаптации – в КТС разработана структурная формула оценки расстояния между конструктивными системами [12, 13: раздел 1.2.5]. Эта формула эффективно реализуема в информационной среде компьютерных систем, представленной в концепции РП актуализированной (независимо развивающейся) областью функционально организованного конструктивного пространства, представляющего актуализируемый объём объектной области (как актуализированной части теоретического конструктивного общесистемного пространства).

КТС показано, что отношение объёма «**критериальной схемы**» поэтапно развивающегося синтеза к-систем к общему объёму, представляющему таким образом развивающуюся модель сложного объекта, прогрессивно и равномерно уменьшается. Этим обеспечивается выполнение принципа «необходимой простоты» конструктивного моделирования общих систем.

Роль разработанной в КТС концепции **критериальной схемы** является исключительно важной [12, 13: раздел

1.2.7], т. к. она представляет минимальный необходимый и достаточный объем актуализации искомой эффективной модели **конструктивного содержания** сложной системы (а также **объективное содержание потенциала эффективности управляющей подсистемы**).

Поэтому **эффективность** управляющей подсистемы прямо пропорциональна **степени адекватности** волевых действий **актуальному состоянию** критериальной схемы управляемой системы.

Но для реализации излагаемого подхода к организации эффективного управления необходимы также: адекватное «понимание» самим объектом управления управляющих воздействий и их адекватная самооценка. Это требование можно назвать «дополнительным принципом необходимого разнообразия» У. Р. Эшби: **для эффективной реализации оптимизирующего управления в управляемом объекте должен быть актуализирован достаточный функциональный потенциал, обеспечивающий адекватное восприятие многообразия управляющих воздействий**. (По сути, это – формально-теоретическое представление одного из самых исторически известных методов функциональной организации социально-экономических систем – принципа обучения как социального воспитания электората (или корпоративно-профессионального воспитания контингента).) В КТС реализация этого принципа представлена концепцией РП как открытой, распределённой в функциональном пространстве и времени информационно-рекомендательной подсистемы. Функциональная организация РП основана на реализации общесистемных законов организации в общесистемном информационном поле на основе общесистемной методологии КТС. Реализация этой концепции должна обеспечить эффективное выполнение сформулированного выше «дополнительного принципа необходимого разнообразия» и тем самым обеспечить мощное включение самого весомого фактора оптимизирующей организации социально-экономических систем – фактора общественной самоорганизации на основе объективных общесистемных законов и независимой информации (вырабатываемой в РП) о проблемных тенденциях, конструктивных постановках актуальных проблем, вариантах их решений и значениях оценок общесистемных параметров этих решений. Использование основных положений теории проектирования компьютерных систем и их программно-алгоритмического обеспечения при построении основ КТС должно обеспечить высокую эффективность реализации этой концепции.

С точки зрения КТС, формально-теоретической интерпретацией объективного содержания (оптимизирующей) **общесистемной цели** для любых систем является объективная реализация ими **эволюционного выбора состояния** их организации, обеспечивающего **минимум** оценки его **сложности**. (Отметим, что **простота** в учениях Платона и Аристотеля принималась в качестве **главной характеристики** при оценке **существования** – **чем проще, тем существеннее**.) Другими словами, с точки зрения КТС истинно только то, что обеспечивает существование, а общесистемной формой представления цели любой функциональной организации является максимизация простоты её существования.

Но при этом недопустима подмена понятия простоты понятием примитивности. Примитивизация означает деградацию, разрушение системы до уровня примитивности неорганизованного сосуществования её элементов. Упрощение системы, наоборот, означает такое развитие этой системы, при котором отношение объёма её критериальной схемы к объёму реализуемых функций прогрессивно уменьшается (как выражение принципа необходимой простоты общесистемного отражения).

В КТС показано, что противоречие между локальными оптимизациями и общесистемной оптимизацией реализуется на основе сформулированного в КТС объективного закона общесистемной оптимизирующей адаптации. (Сознательное выполнение принципа общесистемной оптимизирующей адаптации позволяет разрешить «диалектическое противоречие» волевых (а поэтому искусственных) локальных оптимизаций, переводя его в конструктивно взаимосогласованную форму функциональной дополненности в общей, целостной системе функционального взаимодействия). Поэтому для реализации общесистемной методологии КТС в процессах эффективного решения современных проблем оптимизирующего управления необходима конструктивная оценка сложности общих систем.

Для оценки сложности систем в КТС предложена формула оценки сложности, основанная на соотношении эффективно вычисляемого объёма неопределённости к объёму определённости потенциально полного объёма актуализации модели сложной системы. При этом объём неопределённости модели сложной системы вычисляется как конструктивно дополнительный, на основании методологической реализации сформулированных в КТС объективно-теоретических законов существования общих систем и вытекающих из них методологических правил, таких, как: закон структурно-функциональной симметрии, закон конструктивного согласования, закон конструктивного синтеза, принцип иерархически-процессуального построения конструктивной модели пространственно-временного континуума (как модели Универсума).

Так, например (на основании закона структурно-функциональной симметрии), если в структурном определении системы актуализирован некоторый её элемент  $m^{(+d)(n(+,-)i)} \in V^{(+d)\pm N}_{\alpha}$ , фиксируемый на конкретном уровне иерархии  $U^{n(+,-)j}_{\{\alpha\}}$  в общесистемном пространстве  $Sp^{\pm N \max}_{\{\alpha\}}$ , то на симметричном (относительно собственного



уровня моделируемого объекта  $U^{n\pm i}_{\alpha}$  в общесистемном пространстве) уровне иерархии  $U^{n(-,+)}_{\alpha}$  актуализируемой области общесистемного пространства, в структурное определение системы этого объекта вводится т. н. «номинальный» элемент  $m^{(-d)(n(-,+))}_{\alpha} \in V^{(-d)\pm N}_{\alpha}$ , характеризующий конструктивно дополнительную область неопределённости этой модели:  $(V^{(+d)\pm N}_{\alpha}, V^{(-d)\pm N}_{\alpha}) \in Sp^{\pm Nmax}_{\alpha}$ . (Здесь обозначения  $n(+, -)$  и  $n(-, +)$  обозначают структурно симметричные номера соответствующих структурных уровней в актуализированной области общесистемного пространства  $Sp^{\pm Nmax}_{\alpha}$ , представленной актуализируемой, развивающейся областью общесистемного ИП.) К примеру, если фирма планирует реализовывать те или иные цели во внешней, актуализирующей среде, то закономерно каждой из этих целей должна быть определена соответствующая подсистема функционально согласованная с со всеми подсистемами её внутренней среды, и наоборот: смысл существования той или иной подсистемы полностью определён наличием реализуемых целей во внешней среде.

Далее, если в модели системы объекта актуализированы некоторые функциональные состояния её подсистем, то на основании объективной структуры логико-временного построения общесистемного пространства (как иерархической конструктивной модели пространственно-временного континуума с определёнными (для каждого структурно-функционального уровня пространства  $U^{\pm N}$ ) временными дискретами (квантами) -  $\Delta t^{\pm N}$ ) каждый структурный уровень определения процесса реализации этой системы дополняется номинальными состояниями всех «промежуточных» состояний, объективно необходимых для определения полного цикла её функциональной реализации. И т. д. В результате получаем актуально полную структурно-симметричную модель сложной системы как конструктивный синтез взаимно дополнительных областей определённости  $V^{(+d)\pm N}_{\alpha}$  и неопределённости  $V^{(-d)\pm N}_{\alpha}$  модели этой системы  $S^{\pm N}_{\alpha}$ :

$$V^{(+d)\pm N}_{\alpha} = \&(V^{(-d)\pm N}_{\alpha}, V^{(+d)\pm N}_{\alpha}) \tag{1}$$

Достоинство такого подхода к определению номинальных элементов состоит также и в том, что на них переносятся свойства общесистемного пространства в соответствии с их местом в его структуре (в соответствии с их общесистемными «координатами»: номером структурно-функционального уровня, номером состояния в логико-временной последовательности общесистемного представления, функциональным аспектом реализации в актуализированной области этого пространства, представляющей актуализированный образ соответствующей объектной области). Это свойство вносит в концепцию конструктивного пространства элемент предсказательности, аналогичный свойствам известной таблицы химических элементов Д. И. Менделеева.

Построение формулы оценки сложности систем  $CS^{\pm N}_a$ , основано на оценке отношения объёмов определённости  $V^{(+d)\pm N}_a$  и неопределённости  $V^{(-d)\pm N}_a$  их к-моделей:

$$CS^{\pm N}_a = C^{\pm N}_a = F(\&[|V^{(+d)\pm N}_a|, |V^{(-d)\pm N}_a|]), \tag{2}$$

$$|C^{\pm N}_a| = F(|V^{(+d)\pm N}_a|, |V^{(-d)\pm N}_a|) = |V^{(+d)\pm N}_a| (|V^{(+d)\pm N}_a| + |V^{(-d)\pm N}_a|) : |V^{(+d)\pm N}_a| = |V^{(+d)\pm N}_a|^2 : |V^{(+d)\pm N}_a|. \tag{2.1}$$

Это эффективная оценка, так как не требует привлечения внеметодологических средств и усложняющих математических вычислений или усложняющих алгоритмических схем. (Тем не менее такие математические или алгоритмические усложнения всё же могут появиться в процессе развития самой технологии конструктивизма, но лишь как естественное усложнение функциональной структуры внутренних технических элементов, с неукоснительным соблюдением принципов: «необходимого разнообразия для управляющей подсистемы», «необходимой простоты технологической системы обеспечения конструктивной методологии» и «необходимого обеспечения достаточными функциональными ресурсами объекта управления».)

При этом в соответствии с правилами автоматического формирования номинального объёма к-модели  $V^{(-d)\pm N}_a$  в процессе актуализации к-потенциала конструктивного объекта этот объём всегда актуально определим, то есть – оценка всегда эффективно вычислима (на достигнутом уровне актуализации к-развития модели сложной системы). А тот факт, что все предельно-теоретические объёмы развития к-моделей совпадают с к-моделью Общей системы (как к-модели Универсума), обеспечивает конструктивное основание для объективной сравнимости всех форм функциональных организаций Универсума и к-образов к-пространства на основании этой сходимости к Общесистемному пределу.

При этом необходимо отметить, что ввиду этого принципа сходимости конструктивного развития всех моделей, в **теоретическом пределе**, к Общей системе как модели функциональной организации Универсума сумма объёмов определённости и неопределённости конструктивной модели системы потенциально (в формально-теоретическом смысле) всегда постоянна:

$$\lim_{N \rightarrow \infty} (\forall \alpha) \sum (|V^{(+d)\pm N}_a| + |V^{(-d)\pm N}_a|) = \infty \quad (3)$$

В реальном моделировании эта сумма всегда конечна и равна оценке полного объёма актуализированного уровня развития модели - N:

$$|V_a(N)| = \sum (|V^{(+d)\pm N}_a| + |V^{(-d)\pm N}_a|) = |V^{\pm d\pm N}_a| \quad (4)$$

Актуально полный учёт определяющих параметров к-модели обеспечивается реализацией принципов вложенности (обуславливающим свойство фрактальности к-пространства) и к-развития моделей. Другими словами, большой объём множества параметров (представляемых в КТС критериальными элементами критериальной схемы) объясняется тем, что они (в соответствии с концепцией критериальной схемы) входят в конструктивно определяющие составы друг друга: чем «ниже» уровень определения критериального элемента  $Kre^{-\alpha(i)}$ , тем больше его значимость (конструктивный вес  $|Kre^{-\alpha(i)}|$ ), определяющая объективное содержание поведения системы  $S^{\pm N}_\alpha$ . Структурно-симметричный ему критериальный элемент на «концептуальном» уровне  $Kre^{+\alpha(i)}$  отражает объём синтезируемой модели как понятия и обладает таким же значением конструктивного веса. (Очевидно, именно поэтому А. А. Богданов [16] особо выделял роли «вторичных» элементов (реализуемых на «нижних» структурно-функциональных уровнях) в организациях и консерватизм идеологических факторов, реализуемых на «концептуальных» («верхних») уровнях структурно-симметричного представления систем в КТС.)

Впервые аналогичная концепция построения структурной схемы модели сложной системы была представлена автором в 1991 г.

Исключительно важная, фундаментальная роль конструктивного представления объективного содержания подсистем управления разработанной в КТС концепцией критериальной схемы состоит в том, что синтез составляющих её критериальных элементов, по построению, обеспечивается включением критериальных элементов смежных структурных уровней в конструктивные составы их к-определений. Такая схема включения даёт явное представление механизма определяющего (управляющего) влияния «глубинных» элементов на функционирование (критериальных) элементов (подсистем) верхних уровней и отражение этого влияния в соответствующих, структурно-симметричных им (критериальных) элементах «концептуальных» уровней. Этим же в КТС дано структурно-процессуальное представление образования иерархии уровней нелинейности как уровней конструктивного развития модели системы [17].

Значение оценки сложности -  $|C^{\pm N}_a| = |V^{\pm d\pm N}_a|^2 : |V^{(+d)\pm N}_a|$  (2.1):

- равно  $\infty$ , если объём определённости равен 0,  $|V^{(+d)\pm N}_a| = 0$ ,

- равно оценке полного объёма к-определения,  $|C^{\pm N}_a| = |V^{\pm d\pm N}_a| = |V^{(+d)\pm N}_a|$ , если к-модель полностью определена (то есть  $\{|V^{(+d)\pm N}_a| \neq 0$  и  $|V^{(-d)\pm N}_a| = 0\}$ ),

- пропорционально уменьшается при росте объёма определённости -  $|V^{(+d)\pm N}_a| \rightarrow \max = |V^{\pm d\pm N}_a|$  (и, следовательно, пропорциональном уменьшении объёма неопределённости,  $|V^{(-d)\pm N}_a| \rightarrow \min = 0$ ),

- увеличивается при росте объёма неопределённости -  $|V^{(-d)\pm N}_a| \rightarrow \max = |V^{\pm d\pm N}_a|$  (и, следовательно, пропорциональном уменьшении объёма определённости,  $|V^{(+d)\pm N}_a| \rightarrow \min = 0$ ).

Отсюда следует, что предложенная форма оценки действительно может служить сравнительной оценкой сложности к-систем как в общесистемном пространстве, так и в любой его объектно-ориентированной области актуализации.

При полностью определённой к-модели объекта его сложность полностью определена экстенсивной компонентой – объёмом его актуализации:  $|V^{(+d)\pm N}_a| = |V^{\pm d\pm N}_a|$ . То есть из двух полностью определённых объектов всё же будет сложнее тот объект, который имеет больший объём собственной актуализации (и, соответственно, требует больших объёмов ресурсов для своей реализации):

$$\{ (|V^{(+d)\pm N(\delta)}_a| > |V^{(+d)\pm N(\lambda)}_a|) \Rightarrow (|C^{\pm N(\delta)}_a| > |C^{\pm N(\lambda)}_a|) \} \quad (5)$$

На основании предложенной концепции определения понятия сложности системы и оценки её значения можно

провести классификацию систем по сложности, представленную в виде нижеследующего комплекса конструктивно взаимосвязанных и взаимообусловленных определений, формы которых непосредственно вытекают из вышеприведенных определений понятия сложности и её оценки.

Опр. 1. **Большой системой** (т. н. «Large scale system» [3]) называется система, которая характеризуется величиной объёма ресурсообеспечения своей реализации (в том числе и информационного ресурсообеспечения).

Этот фактор сложности определяет **технологическую сложность** реализации системы, тогда как фактор неопределённости определяет **методологическую сложность** представления (проектирования или управления) системы. Подобная концепция понятия большой системы использовалась и ранее [18].

Например, в соответствии с такой комплексной оценкой сложная радиоэлектронная система, уже спроектированная по определённой теории в соответствии с техническим заданием, далее должна характеризоваться как **технологически сложная** система.

В начале своего проектирования эта же потенциальная система должна характеризоваться как **методологически сложная**, с соответствующей оценкой сложности в целях планирования требуемых затрат соответствующих ресурсов на проектирование.

Таким образом, определение понятия **сложности** в КТС представляет конструктивный синтез **сложности** определения **информации** о системе,  $CI$  и **сложности** её **функциональной реализации**,  $CR$ :  

$$C^{\pm N}_a = \&(CI^{\pm N}_a, CR^{\pm N}_a).$$

Введение понятия **большой** (или **технологически сложной**) системы позволяет сразу, без предварительных оценок, отнести её к классу полностью **информационно определённых** объектов, не снимая проблемы оценки **сложности ресурсообеспечения** его **реализации**.

Опр. 2. К **простым** к-системам отнесём к-системы с полностью определённой информацией о составах и объёмах актуализации их моделей:  $V^{\pm N}_a = V^{(+d)\pm N}_a, V^{(-d)\pm N}_a = \emptyset$ .

Проблемы реализации относительно простых систем определяются значением оценки объёмов их актуализации. Поэтому решение проблем в классе простых систем сводится к **выбору вариантов** их реализации.

Проблема реализации **больших** к-систем на практике состоит в том, что их реализация требует **альтернативного перераспределения общих ресурсов** между конструктивно взаимосвязанными системами в составе общей системы их функционального взаимодействия.

Таким образом **простая** к-система может быть в то же время **большой** для своей реализации **в конкретных актуальных условиях** (актуализированном объёме среды) **реализации**.

Опр. 3. **Сложными к-системами** назовём такие к-системы, у которых область неопределённости не пуста:  $V^{(-d)\pm N}_a \neq \emptyset$ .

Общее **решение проблемы в классе сложных систем** состоит в **их упрощении**, т. е. переводе в класс простых систем путём их конструктивного доопределения (посредством расширения объёма их актуализации – конструктивного развития их моделей):

$$V^{(-d)\pm N}_a \rightarrow \emptyset.$$

Далее решение проблемы продолжается, но уже в классе простых к-систем по соответствующим методическим стратегиям.

К сложным системам относятся: система природы, человека, общества, познания, технологий, «человеко-машинные» системы, системы исследуемых явлений, новые проектируемые системы, внедряемые технологии, системы постановки исследовательского эксперимента, эксплуатации объективно конфликтных систем, управление «сложными» объектами и т. п.

Опр. 4. **Сложными и большими** к-системами назовём такие системы, реализация **объёма определённости** которых ограничена требованиями к ресурсам в соответствии с определением **больших** систем (опр. 1).

Опр. 5. **Существенно сложными** системами назовём такие системы, **область неопределённости** которых **имманентно не пуста**:  $\{\forall N \mid V^{(-d)\pm N}_a(N) \neq \emptyset\}$ .

Класс **существенно сложных** систем образуют системы: **Природы**, **Познания** (как самоотражения **Природы**), **Человека** (как саморазвития **самопознающей Природы**), **Человеческого Общества** (как развитие системы **Человека** в среде системы **Природы**), **Технологии** и системы её **совокупной продукции** (как антропогенного синтеза **Природы** и её самоотражения), а также их **всевозможных синтезов** (например, **система научного эксперимента** – как **антропогенный синтез** **Познания**, **Технологии** и **Природы**).

**Имманентный принцип существования этих систем состоит в непрерывной динамичной трансформации онтологического многообразия их состава в результате взаимодействия.** Поэтому для такого класса систем полное снятие сложности принципиально нереализуемо (по определению), т. к. в любой период времени мы всегда имеем изменившийся и неполный объём реализации формы их объективно-конструктивного существования.

Отсюда следует, что адекватная методологическая стратегия решения проблем в **классе существенно сложных** систем состоит в их **«актуальном упрощении»** путём перевода их **собственных компонент** в **более простые** классы. При этом **мера упрощения принимается равной оценке сложности решенной системы этих частных проблем.**

А оптимальное функционирование в среде **существенно-сложных** систем состоит **в приоритете** реализации **оптимизирующих адаптивных стратегий**, упрощающих проблемы **сосуществования функциональных компонент** путём гармонизации (конструктивного согласования) их конструктивного взаимодействия, что **полностью соответствует самой целевой сущности представления Универсума в к-теории его к-моделью – Общей системой.**

Таким образом сложность «**существенно-сложной**» системы  $S^*_a$  характеризуется в КТС двумя факторами:

1) **объёмом актуализации её к-модели**  $V^*_a$ , и 2) **мерой её динамического упрощения**  $C^{\pm N_{ij}}_{a\{j\}}$  ( $\Delta t_a$ ), выполняемого в фиксированные периоды  $\Delta t_a$  на актуально имеющихся основаниях:

$$S^*_a = (V^*_a, C^{\pm N_{ij}}_{a\{j\}}(\Delta t_a)) \quad (6)$$

$$|C^*_a| = |V^*_a| \cdot |C^{\pm N_{ij}}_{a\{j\}}(\Delta t_a)|, \quad (7)$$

где  $C^{\pm N_{ij}}_{a\{j\}}(\Delta t_a)$  означает суммарную сложность решённых частных проблем

$Prb_{a\{j\}} = \{ Prb_{aj} \}$  в к-составе **существенно-сложной** системы  $S^{\pm N_{max}}_a$  в период  $\Delta t_a$ .

Главные достоинства предлагаемой концепции оценки сложности систем состоят:

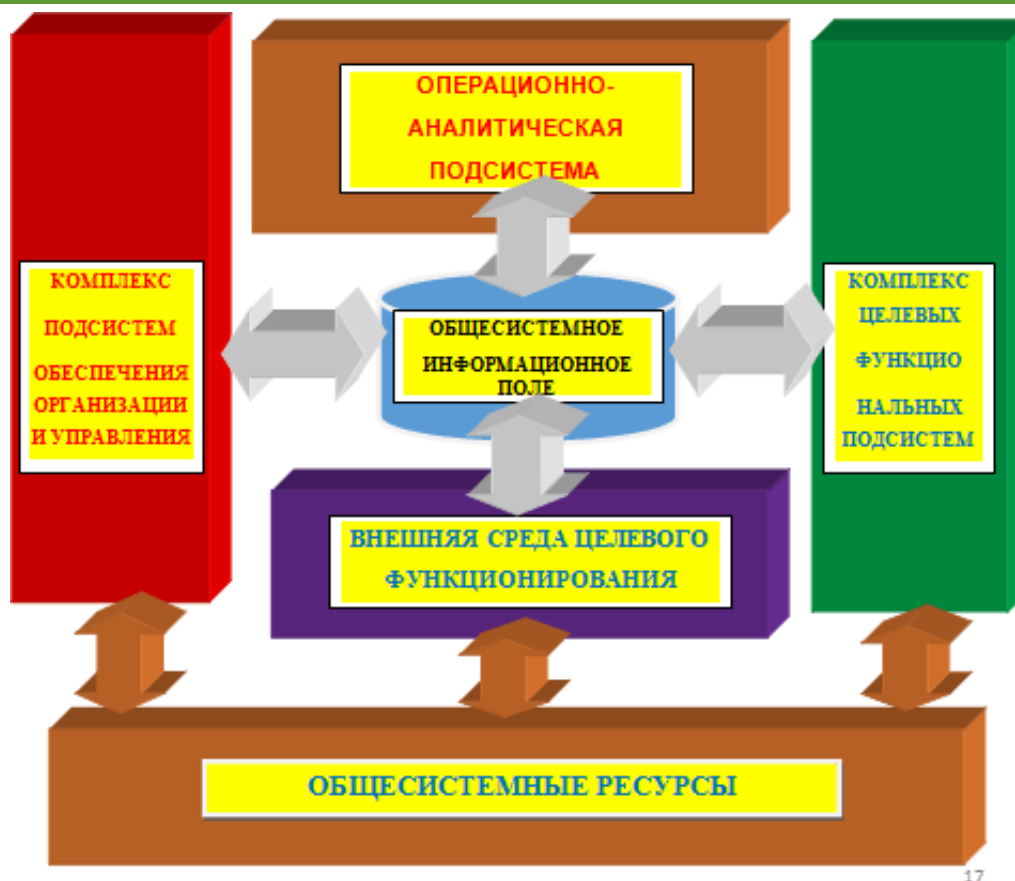
- в полной «представимости» всех необходимых и достаточных компонент для вычисления оценки сложности,
- простоте и эффективности её реализации,
- едином способе оценки сложности всех классов систем, необходимом для обеспечения эффективности представления конструктивной взаимосвязи между системами различных классов в общих системах их конструктивного взаимодействия (а также при переходе, в результате эволюции, систем из одного класса по сложности в другой).

Применение данной оценки (как и всех оценок общесистемной методологии КТС) особенно эффективно при реализации общесистемного программного обеспечения (пакета прикладных программ, ППП), обеспечивающего построение актуализированных областей к-пространства и реализующих в нём основные принципы, правила и алгоритмы функциональной организации информации и оценки параметров синтезируемых моделей. Однако уже сейчас, на качественно-методологическом уровне применение этой оценки является несомненно полезным.

Главная роль эффективной оценки сложности систем состоит в её применении для оптимизации функциональных структур и подсистем их управления. Поэтому в организациях с развитой подсистемой управления и информационного обмена предлагается введение следующей схемы (см. рисунок) развития функциональной организации информационно-технологического обеспечения (с перспективой поэтапной его эволюции в РП).

Исходя из концепции необходимого упрощения функциональных организаций, предлагается минимизировать непосредственный обмен информацией между подразделениями, направив все информационные и запросно-ответные потоки через общесистемное информационное поле.





17

Схема организации обработки потоков управляющей информации с использованием общесистемного информационного поля

При этом непосредственные информационные запросы между подразделениями должны минимизироваться.

Это информационное поле должно обеспечиваться постоянным, технологически развивающимся, автоматизированным контролем со стороны операционных подсистем аналитического подразделения. Эта реализуемая надстройка должна проверять запросно-ответные потоки на повторяемость элементов, исключая дублирование заменой его на установление транзакционных связей.

Предлагаемое решение, реализованное в одной организации, может являться важнейшим инновационным продуктом, оптимизирующим любые подсистемы управления, а значит, является перспективным коммерческим продуктом. Такая концепция оптимизации подсистем управления сложными системами может быть применена к системам любых уровней структурно-функционального развития в иерархии их функционального взаимодействия. Но для организации, не имеющей достаточных ресурсов на содержание специального информационно-аналитического подразделения, внедрение концепции РП может быть выполнено посредством приобретения соответствующего комплекта ППП.

Следует также отметить имманентно конструктивно согласующий и прогрессивно развивающий подход, объективно реализуемый применением общесистемной методологии КТС, как исключительно важное явление в современном деструктивно конфликтующем, нестабильном мире.

Представленная в данной работе концепция оценки сложности систем как оценки основного свойства организаций (в общесистемном его выражении) является исключительным достижением в современных системных исследованиях, и поэтому так важно широкое ознакомление с этим результатом широкой научной и практической общественности с целью его конструктивного обсуждения и прикладного применения, а также с целью привлечения интереса квалифицированных программистов для реализации концепции РП, при которой вычисление оценок сложности станет максимально эффективным.

© 11.02.2014 г. О.Г. Захарчук

#### Список литературы

1. Бир С. Мозг фирмы. - М.: Радио и связь, 1994.
2. Саймон Г. Науки об искусственном. М., УРСС, 2004.

3. Классификация систем по сложности структуры и поведения — простые и сложные. [Электронный ресурс]: <http://koriolan404.narod.ru/tipis/14.htm>.
4. Грэхэм Л. Р. Естествознание, философия и науки о человеческом поведении в Советском Союзе. М., «Политиздат», 1991, 271 с.
5. Уёмов А. И. и др. Логика и методология системных исследований. Ответственный редактор Л. Н. Сумарокова. — Киев–Одесса: Вища школа, 1977.
6. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. — М.: Наука, 1978.
7. Поваров Г. Н. Об уровнях сложности систем. / Сб. Методологические проблемы кибернетики (материалы к Всесоюзной конференции), т.2, М., 1970.
8. Венда В. Ф. Системы гибридного интеллекта: Эволюция, психология, информатика. — М.: Машиностроение, 1990.
9. [Гайдес М. А. Общая теория систем \(системы и системный...](#)  
Гайдес М.А. Общая теория систем. (Системы и системный анализ). ... Сложность систем 147. Иерархия целей и систем 152. [Электронный ресурс]: [albookerk.ru/dshs/gajdes...obhhaja\\_teorija...sistemy...](http://albookerk.ru/dshs/gajdes...obhhaja_teorija...sistemy...)
10. Казиев В.М. Введение в системный анализ и моделирование / В. М. Казиев. 2001. — Л.: Энергия, 2001. [Электронный ресурс]: <http://victor-safronov.narod.ru/systems-analysis/lectures/kaziev.html>.
11. Соколов В.В. Подход к оценке сложности систем. [Электронный ресурс]: [http://www.ait.org.ua/p/pub\\_podhod.html](http://www.ait.org.ua/p/pub_podhod.html).
12. Захарчук О. Г. Начала конструктивной методологии актуального моделирования общих систем. Р№ ВНИЦ: 72200300053. — М.: ФГУП «ВНИЦ», 2003.
13. Захарчук О. Г. Основы конструктивной теории общих систем. Решающее поле как функциональная модель подсистемы оптимизирующей адаптации ноосферы. [Электронный ресурс]: <http://zakharchuk.dialog21.ru>.
14. Информационные системы в экономике: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальностям «Финансы и кредит», «Бухгалтерский учёт, анализ и аудит» и специальностям экономики и управления (060000) / Под ред. Г. А. Титоренко. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2008.
15. Эшби У. Р. Введение в кибернетику. Пер. с англ./Под ред. В. А. Успенского. Предисл. А. Н. Колмогорова. Изд. 2-е, стереотипное. — М.: КомКнига, 2005.
16. Богданов А. А. Тектология. Всеобщая организационная наука. — М.: Финансы, 2003.
17. Захарчук О. Г. Концепция применения методологии конструктивного моделирования сложных экономических систем. — В сб.: Моделирование финансово-экономических процессов. Сборник научных трудов преподавателей и аспирантов кафедры экономико-математических методов и моделей и смежных кафедр. / Под ред. д. э. н. В. А. Половникова. — М.: ВЗФЭИ, 2008.
18. Денисов А. А., Колесников Д. Н. Теория больших систем управления: Учебное пособие для вузов. — Л.: Энергоиздат, Ленингр. отд-ние, 1982.