

СЛОЖНЫЕ СЛАБОФОРМАЛИЗУЕМЫЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Щербатов И.А.¹, Проталинский О.М.²
*(Астраханский государственный технический
университет, Астрахань)*

В работе введено понятие сложной слабоформализуемой многокомпонентной технической системы. Показаны механизмы образования организационных структур указанного класса систем, приведен способ описания компонент. Введено классификационное разделение компонент на активные и пассивные, сформулированы основные рациональные поведенческие признаки компонент. Показаны примеры активных (робот) и пассивных (слабоформализуемый технологический процесс) компонент.

Ключевые слова: компонента, сложная техническая система, неопределенность, организационная структура системы.

1. Введение

Структурные элементы сложных технических систем (СТС), вступающие в элементарные акты организационного взаимодействия, отличаются между собой не только своими внутренними свойствами, но прежде всего теми свойствами, которые возникают в результате синергетического эффекта [5]. В этой связи на первый план выходит задача описания таких

¹ Иван Анатольевич Щербатов, кандидат технических наук, доцент
(sherbatov2004@mail.ru)

² Олег Мирославович Проталинский, доктор технических наук,
профессор (prot@astu.org)

систем с позиций системного подхода. Традиционные методы анализа сложных технических систем подразумевают выделение подсистем внутри системы и описание связей между ними. Однако зачастую множество выделенных подсистем и связей между ними не позволяют получить полную картину функционирования СТС. Этот аспект обусловлен рядом причин, наиболее существенной из которых является проблема целостности, когда поведение коалиции выделенных подсистем отличается от поведения анализируемой СТС [4]. Недостатки разработанных методик системного анализа СТС определяются не достаточным вниманием к типу выделяемой подсистемы. В этой связи получение точного описания типа подсистемы и выделение признаков, позволяющих ее идентифицировать, является крайне актуальной задачей для получения точного описания СТС, поведение коалиции подсистем которой не будет существенным образом отличаться от оригинала.

2. Постановка задачи

Целью данной работы является выделение сложных слабоформализуемых многокомпонентных технических систем (МС) как отдельного класса сложных систем. Для достижения поставленной цели требуется ввести понятия МС, организационной структуры МС, а также компоненты МС.

3. Сложная слабоформализуемая техническая система

Существует 5 основных признаков сложных систем по Саймону. Основным признаком является развитая уровневая структура взаимодействия подсистем и элементов внутри подсистем. Современные СТС являются многомерными, нелинейными и многосвязанными. Этот аспект является определяющим, в связи с чем можно выделить набор узловых трудностей (свойств), возникающих при системном подходе к

анализу таких систем, их математическому моделированию и синтезу систем управления ими (рис. 1):

- развитая уровневая псевдоиерархичность, когда взаимодействие происходит не только сверху вниз, но и наоборот, в связи с чем возникает потребность в реализации адаптивных, в том числе интеллектуальных систем управления с изменяемой структурой – А1;
- множественность описания, которая фиксирует зачастую огромное число вариантов математического описания СТС, а значит, требует применения высокоскоростных методов и алгоритмов ранжирования и выбора возможной реализации модели системы (системного описания) – А2;
- различные виды неопределенности (рис. 2), которые зачастую выливаются в слабопрогнозируемые динамические процессы, возникающие в сложной системе в результате взаимодействия подсистем – А3;
- присутствие синергетического эффекта, приводящее к многовариантности поведения подсистем и элементов подсистем, а также многофакторность внешней и внутренней среды обуславливает наличие не единственного устойчивого состояния – А4.

По аналогии с [6] введем понятие слабоформализуемой технической системы – СТС, обладающая признаками А1, А2, А3 и А4, функционирующая в условиях неопределенности, обусловленной действием двух факторов: невозможностью получения данных (А3.1) и принципиальным незнанием закономерностей протекания процесса (А3.2) (рис.2). Не знание закономерностей протекания процесса обусловлено неопределенностью структуры (А.3.2.1) и неопределенностью цели (А.3.2.2). Неопределенность вида А.3.2.1 приводит к тому, что процесс построения математической модели крайне сложен (не возможен в ряде случаев). Неопределенность вида А.3.2.2 – отсутствие целенаправленного движения из-за невозможности сформулировать цель, что существенным образом сказывается на достижении глобальной цели и не позволяет или усложняет управление подсистемой СТС.

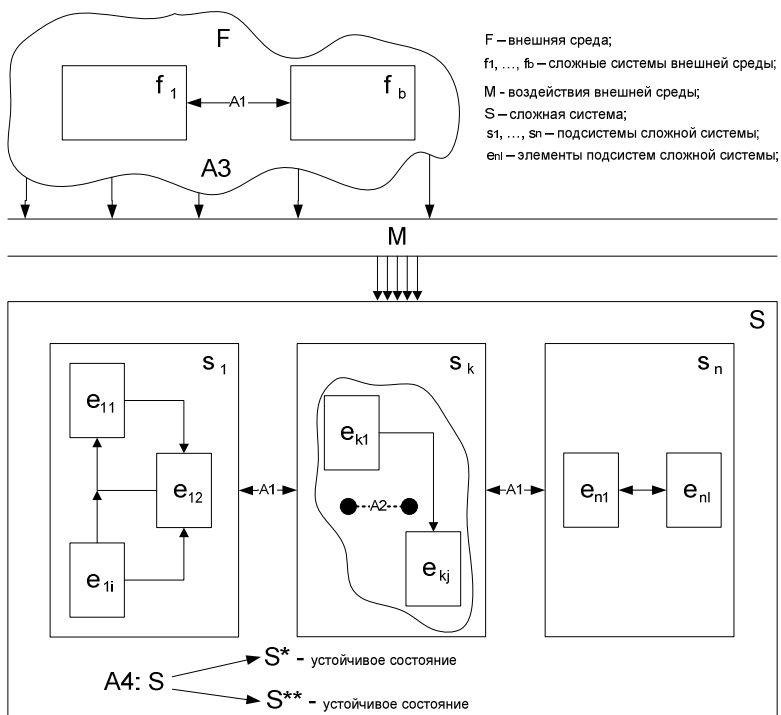


Рисунок 1. Концептуальное представление сложной системы

Неопределенность этапа функционирования			
Не статистическая			Статистическая
Не знание закономерностей протекания процессов		Невозможность измерения	
Неопределенность структуры	Неопределенность цели	Неопределенность этапа проектирования	
Сложность моделирования	Сложность управления		

Рисунок 2. Виды неопределенностей CTC

Тогда наличие условного кортежа $\langle A_1, A_2, A_3, A_4 \rangle$ при системном анализе СТС позволяет однозначно отнести ее к классу слабоформализуемых СТС (ССТС) - S.

4. Понятие организационной структуры

Взаимодействие внутри выделенного нами класса сложных систем осуществляется на основе типовых организационных структур. С позиций синергетического подхода это означает, что существует некоторое ограниченное множество устойчивых состояний ССТС, т.е. $\forall S \exists \{x_i \in X, i = \overline{1, n}\}$. Дадим

определение организационной структуры внутри ССТС.

По аналогии с [3] введем понятие организационной структуры – совокупность взаимодействующих подсистем внутри ССТС и механизмов образования связей между ними. Организационная структура образованная более чем двумя обособленными подсистемами является сложной в смысле множественности связей между подсистемами:

$$OS = \langle (S_1, \dots, S_j), P_{ij}(S_{ij}), M_k(P_{ij}) \rangle \quad (1)$$

где OS – сложная организационная структура ССТС; S_j – подсистема внутри ССТС; P_{ij} – связь между i-й и j-й подсистемами; M_k – механизм образования связей P_{ij} .

При этом k - число механизмов образования связей, не превышает число образованных связей между подсистемами S_i и S_j .

При анализе ССТС становится возможным выделить три обособленных группы взаимодействующих сложных организационных структур: взаимодействие непрерывный процесс – дискретный процесс; взаимодействие дискретный процесс – интеллектуальная система; взаимодействие интеллектуальных систем.

Организационное взаимодействие внутри группы «непрерывный процесс – интеллектуальная система» рассматривать не целесообразно ввиду того, что для данного вида коммуникаций разнородных подсистем крайне трудоемким

являются аспекты их стыковки. Кроме того, в промышленности такое взаимодействие почти не реализовано.

5. Понятие компоненты

В [2] введено понятие «компоненты» применительно к реализации замкнутой, изолированной от внешнего мира модели для целей имитационного моделирования. Понятие компоненты сформулировано как сложная система, не допускающая (не требующая) дальнейшей декомпозиции для целей моделирования, а совокупность таких компонент образует модель рассматриваемой СТС. Устройство компоненты похоже на объект классического анализа и обладает характеристиками, событиями и методами, однако несколько модифицированными. Понятие компоненты может быть расширено и выведено на уровень выше для описания не моделей ССТС, а непосредственно их организационных структур, т.е. перейти к рассмотрению многокомпонентных ССТС.

Возникает еще одно крайне важное интегративное вариативное свойство ССТС – многокомпонентность (А5). Наличие данного свойства в ССТС генерирует новый класс ССТС – многокомпонентную ССТС. Наличие данного аспекта, являющегося крайне важным в системно-синергетической парадигме рассмотрения ССТС, не позволяет рассматривать ССТС с позиций классического системного анализа сложных систем. Многокомпонентность приводит к необходимости разработки новых концептуальных принципов системного анализа таких систем [1].

Многокомпонентная ССТС (МС) – это сложная система, обладающая кортежем свойств $\langle A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 \rangle$ и образованная ограниченным множеством компонент $S = \{K_1, K_2, \dots, K_l\}$. Компонента представляет собой ССТС, образованную подсистемами ССТС. Для различных целей системного анализа одной ССТС число образованных компонент может различаться $l = \text{var}$. А значит различные

варианты объединения элементов ССТС в компоненты постулируют проблему множественности компонентного описания ССТС. Тогда организационная структура МС будет представленная следующим образом (обозначения аналогичны формуле 1):

$$OS = \{ \{ K_1, K_2, \dots, K_l \}, P_{ij} (K_{ij}), M_k (P_{ij}) \} \quad (2)$$

А проблема множественности компонентного состава МС в зависимости от поставленной цели I: $OS|_{I=\text{var}}^p$. Где p показывает число компонент, образованных элементами ССТС.

Поэтому возникающее противоречие, заключающееся в том, что МС являясь сложной системой, не может быть формализована с помощью методов, разработанных для сложных систем в классическом понимании, должно быть разрешено на основании разработки и применения новых (модифицированных) методов. Данные методы должны быть реализованы для учета свойства многокомпонентности.

Т.о. введенное нами понятие «компоненты» и МС неразрывно связано с множественностью организационных структур, которые могут варьироваться в зависимости от целей системного анализа, моделирования или управления.

Компонента обладает рядом характерных признаков, которые должны быть описаны при ее выделении в структуре ССТС:

$$K = \{ (X, Y, W), P_{ij}, M_k, I, L, T, N \} \quad (3)$$

К таким признакам относятся: входные (X), выходные (Y) и внутрикомпонентные переменные (W); связи между элементами внутри компоненты (P_{ij}); механизмы образования связей M_k ; цель образования компоненты или цель ее функционирования применительно к конкретной задаче I; уровень вложенности (L) – элементарная или составная (образованная совокупностью элементарных компонент); тип (T) – формализуемая (с помощью регулярных методов), слабоформализуемая (с помощью методов искусственного интеллекта), не формализуемая (в силу ряда причин не поддающаяся математическому описанию с помощью известных методов);

тип неопределенности (N), характеризующий различные неопределенности (статистические и не статистические), в которых функционирует компонента (рис. 2).

На основании вышеизложенного уточним определение МС. Многокомпонентная слабоформализуемая техническая система – сложная иерархическая система, обладающая свойством многокомпонентности, функционирующая в условиях неопределенности исходных данных, рассогласованности локальных целей и нарушении внутренней организации из-за вновь возникающих свойств, в процессе достижения глобальной цели.

6. Карта компоненты

Для графического отображения компонент введем понятие карты. Карта компоненты МС – это строго унифицированное табличное описание, позволяющее по результатам системного анализа реализовать модельное представление компоненты. В общем виде карта компоненты МС представлена в табл. 1.

В карте показываються графические связи между элементами, формирующими компоненту, а также приводятся описания самих элементов.

Кроме того, приводятся описания механизмов образования связей между элементами внутри компоненты. Наряду с определением цели образования компоненты, цель можно разделить на подцели и привести графическое изображение дерева целей с указанием вложенности и описания.

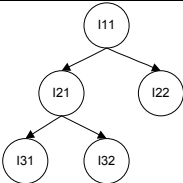
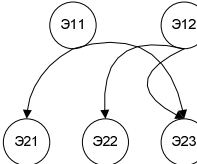
В предложенной форме карты компоненты должен быть также указан уровень вложенности компоненты и тип, к которому она относится.

Полученная таким образом карта может применяться для построения математической модели компоненты и ее реализации в виде имитационной модели.

Переменные разделяются на два вида – количественные (X, Y, W) и качественные (X^* , Y^* , W^*), представленные в вербальной

форме и формализуемые с помощью методов искусственного интеллекта.

Таблица 1. Карта компоненты

Переменные		Уровень вложенности L	элементар ная/состав ная
Тип	Название переменной		
Входные X, X*	x1 - ...; x1* -	Тип Т	формализу емая/ слабоформ ализуемая/ не формализу емая
Выходные Y, Y*	y1 - ...; y1* -		
Внутрикомпо нитные W, W*	w1 - ...; w1* -	Иерархия целей I	
Связи между элементами внутри компоненты Pij		Графическая структура	Описание целей
Графическая структура	Описание элементов		I11 - ... I21 - ...
	Э11 - ... Э21 - ...		
Механизмы образования связей Mk		Тип неопределенности	
Связь	Механизм образования	Статистическ ая	N11 - ...
Э11-Э21	...	Не статистическа я	N21 - ...

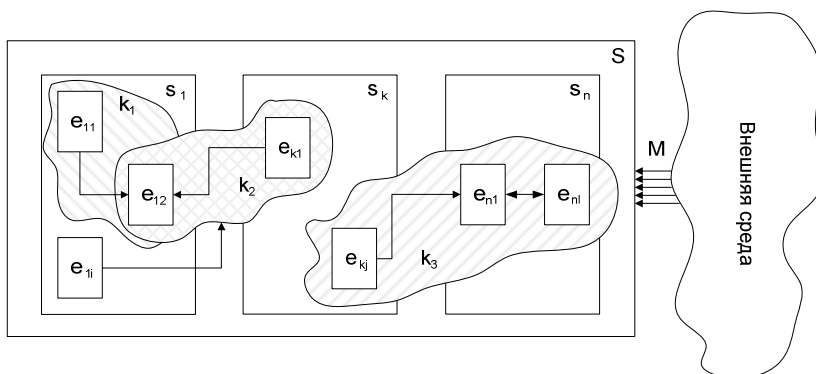


Рисунок 3. Образование компонент в сложной системе

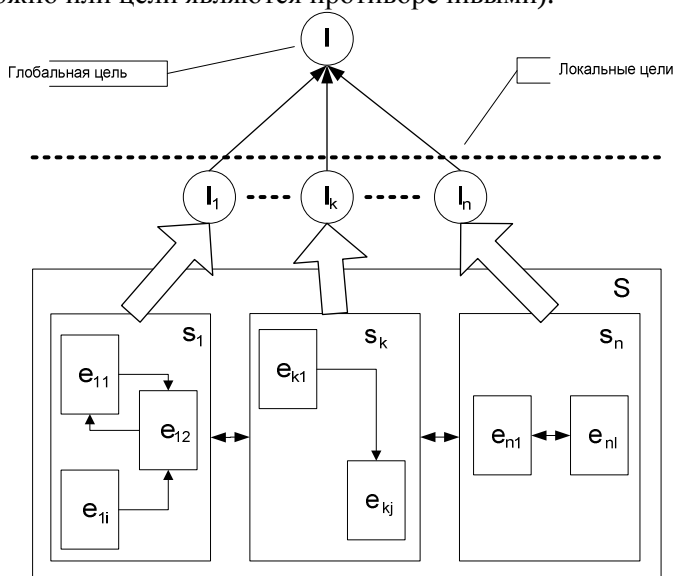
На рис. 3 представлено объединение элементов подсистем в компоненты (обозначения аналогичны обозначениям на рис.1). Т.о. компонента $K = \{e_{ij}\}$ - есть множество элементов CCTC S (входящих в различные подсистемы s_j) образующих единую структуру. Компоненты – виртуальные организационные структуры, которые формируются в CCTC двумя возможными способами:

- объединение части элементов одной подсистемы $K = \{e_{ij}\}$, где $j = const$ - номер подсистемы, а i - показывает число элементов подсистемы s_j $i \leq \gamma$ (γ - мощность множества элементов подсистемы s_j);
- объединение элементов различных подсистем $K = \bigcup_j \{e_{ij}\}$, где $j = var$ - номер подсистемы, а i - показывает номер элемента подсистемы s_j $i \leq n$ (n - число подсистем в S).

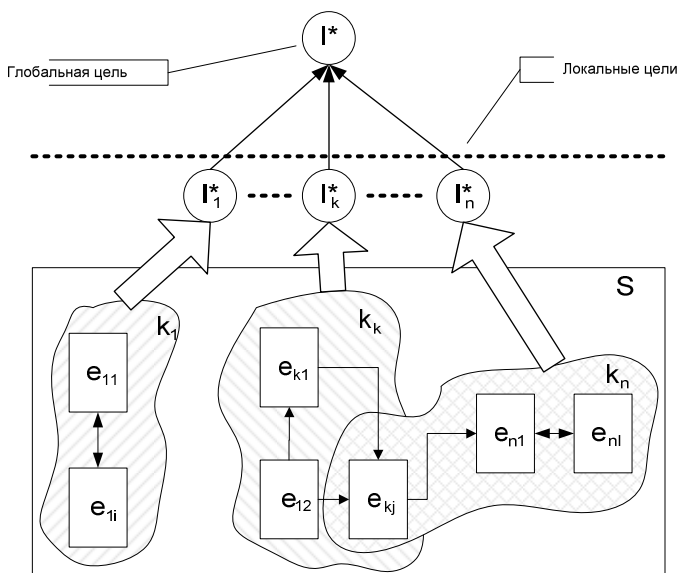
С помощью первого способа образована компонента k_1 , а с помощью второго способа образованы компоненты k_2 и k_3 , показанные на рис.1.2.

Формирование компонент в CCTC, обладающей свойством многокомпонентности, т.е. в смысле введенного определения

МС происходит на основании достижения единой цели или на основании агрегирования элементов по типу неопределенности. Образование компонент на основании единой цели происходит следующим образом. Пусть в МС S имеется j локальных целей, соответствующих числу компонент и образующих единую глобальную цель I (рис. 4-а). При этом достижение локальной цели каждой подсистемой позволяет достичь глобальную цель (возможны случаи, когда достижение части локальных целей не возможно или цели являются противоречивыми).



а) Начальное организационное состояние



б) Глобальная цель изменилась

Рисунок 4. Формирование компонент на основе единства целей.

В случае изменения глобальной цели МС происходит коррекция локальных целей, которая приводит к изменению структурной организации системы и образованию компонент (рис.4-б). При этом в общем случае $j \neq l$, где l – число вновь образованных компонент. Стоит отметить, что элементы подсистем образуют компоненты таким образом, чтобы они совместно позволяли достичь единую локальную цель.

Объединение компонент на основе типа неопределенности основано на предположении, что для перевода МС в целевое состояние и обеспечение устойчивости этого состояния ряд подсистем и их элементов могут образовывать структуры, на составные части которых действуют схожие по своей природе неопределенности.

Это означает, что устранение или компенсация некоторого вида неопределенности в двух компонентах значительно сложнее, чем если бы это осуществлялось внутри одной компоненты. На рис. 5 показано образование компонент на основе типа неопределенности.

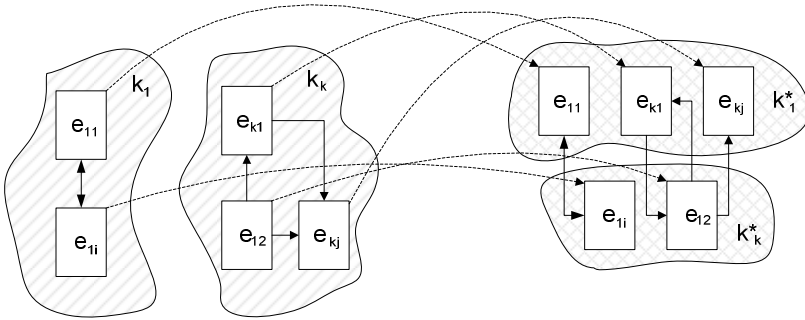


Рисунок 5. Формирование компонент на основе типа неопределенности

В исходной МС существуют 2 компоненты - k_1 и k_k . Допустим, что элементы исходных компонент $e_{1i} \rightarrow k_1$ и $e_{12} \rightarrow k_k$ обладают свойством структурной неопределенности, а значит, этим свойством обладают и сами компоненты. Тогда для устранения данного вида неопределенности, который влияет на обе компоненты, возможно образование новой организационной структуры, состоящей из компонент k^*_1 и k^*_k , одна из которых (k^*_1) свойством структурной неопределенности не обладает.

Связи между компонентами могут быть явными, когда прослеживается влияние одной компоненты на другую или опосредованными, когда связь наблюдается, однако выявить ее влияние на ту или иную компоненту системы сложно, а зачастую просто невозможно.

Компоненты находятся во взаимодействии между собой и внешней средой, реализуя это взаимодействие посредством организационных отношений. В контексте рассмотрения МС ключевым аспектом является устойчивость ее организационной структуры. При этом взаимное расположение компонентов может изменяться, но эта модификация не должна нарушать явные связи, обеспечивающие функционирование МС для выполнения предусмотренных потребительских функций и достижения глобальной цели. Сделаем замечание о том, что нарушение связей или структуры может кардинальным образом видоизменить целенаправленное движение МС, что в свою очередь не позволит перевести ее в целевое состояние.

7. Устойчивость организационной структуры МС

Под устойчивостью в общем случае понимается возможность организационной структуры МС перейти в другую организационную структуру, не нарушая явных связей и не порождая новых свойств и отношений, при любом изменении входных величин $x \in X$, поступлении возмущающих воздействий $f \in F$ и влиянии неопределенностей $\zeta \in Z$.

Т.о. $\forall x \in X, f \in F, \zeta \in Z \exists u \in U : OS' \xrightarrow[u]{} OS^* \rightarrow I$, где

u - управляющее воздействие, переводящее систему в устойчивое состояние и корректирующее ее организационную структуру $OS' \xrightarrow[u]{} OS^*$ для достижения глобальной цели I .

Поэтому обеспечение инвариантности МС по отношению к влиянию имеющихся неопределенностей различных типов обеспечит ее устойчивость при условии, что возмущающие воздействия компенсируются системой управления.

Коммуникационные возможности между компонентами МС обеспечиваются за счет явных и опосредованных связей. Поэтому каждую компоненту можно отнести к классу активных или пассивных в поведенческом смысле. Это означает, что именно поведение технической системы внутри организации

компонент, образующих единое целое, влияет на ее принадлежность к той или иной выделенной нами группе МС.

8. Активная и пассивная компоненты МС

Активная компонента - система, обязательно имеющая в своем составе органы технического зрения и сенсорного оучувствления, а также средства измерения, позволяющие строить сенсорные карты окружающего пространства, средства понимания сенсорных карт, осознанного планирования своих действий и реализации этого плана. Выделим основные поведенческие признаки компонент в условиях неопределенности (табл. 2).

Таблица 2. Основные рациональные поведенческие признаки компонент

Признак	Примечание
Наличие органов технического зрения и сенсорного оучувствления	Позволяет строить сенсорные карты среды с выбранным временным интервалом
Наличие механизма понимания сенсорной карты и распознавания сложившейся ситуации	Распознавание образа сложившейся ситуации с учетом имеющейся неопределенности
Умение формировать план поведения с учетом имеющейся сенсорной карты	Позволяет исключить влияние неопределенности на поведение подсистемы
Наличие механизма реализации плана поведения	Адаптация в меняющихся внешних условиях

Сенсорная карта среды – это образ ситуации, в которой находится компонента в текущий момент времени

$$\langle \Psi : \psi^L \leq \psi \leq \psi^H, \Omega : \omega^L \leq \omega \leq \omega^H \rangle.$$

где Ω - вектор измеренных и/или оцененных параметров состояния, ω^L, ω^H - нижняя и верхняя границы вектора Ω ; Ψ

- вектор измеренных и/или оцененных параметров внешней среды, ψ^L, ψ^H - нижняя и верхняя границы вектора Ψ .

Интервал времени построения сенсорной карты выбирается исходя из специфики предметной области. Размер сенсорной карты среды R равен числу параметров, измерение которых необходимо для выполнения текущей подзадачи.

Сенсорная карта среды является полной, если для формирования плана достижения цели I^* и его реализации все R параметров являются измеримыми с использованием имеющихся средств технического зрения и сенсорного очувствления [7]. Уточним определения компонент.

Пассивная компонента МС – техническая компонента, не обладающая признаками интеллектуальности.

Активная компонента – компонента, обладающая рациональными поведенческими признаками в условиях неопределенности.

Введение двух новых организационно-поведенческих компонент внутри МС (рис. 6), а именно активной и пассивной компоненты позволит рассматривать ее разнородные подсистемы не с классических позиций непрерывного и дискретного производства в статическом или динамическом режимах, а с позиций интеллектуальных самоорганизующихся систем с заданным поведением.

Этот аспект является ключевым в формировании новой концепции системного анализа МС в условиях неопределенности.

Это означает, что мы переходим к рассмотрению поведенческих аспектов технических систем, обладающих интеллектуальными признаками. Термин интеллектуальный в данном случае характеризует способность технической подсистемы варьировать стратегию поведения в составе организационной структуры МС с учетом изменяющихся условий внешней среды. Например, в качестве активной компоненты МС может выступать робототехническая система [8], а в качестве

пассивной слабоформализуемый технологический процесс (СФТП) [9].

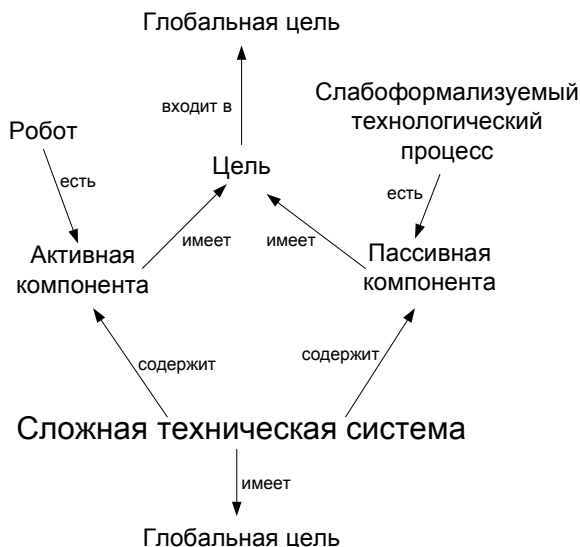


Рисунок. 6. МС с активной и пассивной компонентами

Наиболее подходящим математическим аппаратом построения моделей СФТП являются методы искусственного интеллекта (ИИ). Подробно классификация методов искусственного интеллекта применительно к характеру решаемых задач приведена в огромном количестве источников [2].

9. Заключение

В данной работе выделен новый класс технических систем - МС. На основании введенного определения организационной структуры МС становится возможным описать типовые организационные структуры, а также их взаимодействие для целей математического моделирования и управления МС.

Выделение обособленных компонент в организационной структуре МС позволяет строго унифицировать подходы для системного анализа указанного класса технических систем, что значительно повысит эффективность построения и реализации систем управления ими.

Список литературы.

1. SHCHERBATOV I. *Classification of pure formalized complex multicomponent technical systems under conditions of uncertainty* // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Серия: "Управление, вычислительная техника и информатика" №2/2012. - Астрахань, с.9-13.

2. БРОДСКИЙ Ю.И., ПАВЛОВСКИЙ Ю.Н. *Разработка инструментальной системы распределенного имитационного моделирования* // Информационные технологии и вычислительные системы.-2009. № 4.- С. 9-21.

3. ГУБКО М.В., КОРГИН Н.А., НОВИКОВ Д.А. *Классификация моделей анализа и синтеза организационных структур* / Управление большими системами. Выпуск 6. М.: ИПУ РАН, 2004. С.5-21.

4. ДУБОВ В.М., КАПУСТЯНСКАЯ Т.И., ПОПОВ С.А., ШАРОВ А.А. *Проблематика сложных систем (концептуальные основы модельных представлений)*. / Под общ. ред. С.А. Попова. – СПб.: «Элмор», 2006. – 184 с.

5. КОЛЕСНИКОВ А.А. *Синергетические методы управления сложными системами: Теория системного синтеза*. – М.: КомКнига, 2006. – 240 с.

6. ПРОТАЛИНСКИЙ О.М. *Применение методов искусственного интеллекта при автоматизации технологических процессов*: Моногр./Астрахан. Гос. Техн. Ун-т.- Астрахань: Изд-во АГТУ, 2004.- 184с.

7. ЩЕРБАТОВ И.А., ПРОТАЛИНСКИЙ И.О. *Координация работы промышленных манипуляторов на*

основе сенсорной информации // Датчики и системы – 2010. - № 8. – С. 28-32.

8. ЩЕРБАТОВ И.А., ПРОТАЛИНСКИЙ И.О.
Исследование эффективности группового управления роботами методом имитационного моделирования // Вестник Саратовского государственного технического университета №4(50)/2010. – Саратов, 2010. с.34-37.

9. ЩЕРБАТОВ И.А., ПРОТАЛИНСКИЙ О.М.
Система поддержки принятия решений для операторов слабоформализуемых ТП // Автоматизация в промышленности.-2009.- №7.-С. 41-45.

COMPLEX PUREFORMALIZABLE MULTICOMPONENT TECHNICAL SYSTEMS

Ivan Shcherbatov, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Cand.Sc., assistant professor (sherbatov2004@mail.ru).

Oleg Protalinskiy, Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Doctor of Science, professor (prot@astu.org).

Abstract: In article the concept of complex pureformalizable multicomponent technical system is entered. Formations mechanisms of organization structures of the specified class of systems are shown, the method of the description of components is given. Classification division of components into the active and passive is entered, the main rational behavioral signs of components are formulated. Examples of the active (robot) and passive (pureformalizable technological process) components are shown.

Keywords: component, complex technical system, uncertainty, organization structure of the system.