



Основы управления сложными организационно-техническими системами

Доктор технических наук, профессор Соколов Б.В.

***С.-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН,
С.-Петербург,
14 линия ВО, 39, СПИИ РАН,***

КИБЕРНЕТИКА

- **Н.Винер (1948)**. Наука об управлении и связи в животном и машине
- **А.И.Берг**
(1959) - Представляет собой теоретическую основу изучения процессов управления и строения управляющих систем
(1959) - Наука о целеустремленном управлении развивающимися процессами. **Содержание кибернетики заключается в сборе, переработке и передачи информации с целью улучшения управления для достижения поставленной задачи**
- **Энциклопедия кибернетики (1974)**. **Наука об общих закономерностях получения, хранения, передачи и преобразования информации в сложных управляющих системах**

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КЛАССИЧЕСКОЙ КИБЕРНЕТИКИ

- ***Доказано, что важнейшим атрибутом любой системы (биологической, технической, социальной и т.п.) являются механизмы управления, поддерживающие систему в целостном состоянии и обеспечивающие целесообразное ее поведение в пространстве и времени;***
- ***Доказано, что управление в системе любой природы есть целенаправленный процесс, предполагающий наличие вполне определенной цели;***
- ***Доказано, что управление в системе любой природы есть информационный процесс, заключающийся в сборе, передаче и переработке информации;***
- ***Доказано, что регулярное и целенаправленное управление возможно только в замкнутом контуре, состоящем из управляющих и управляемых объектов, соединенных между собой прямыми и обратными линиями (цепями) связи;***
- ***Доказано, что управление есть циклический процесс, а само управление должно быть оптимальным***

Кибернетика свела все ранее существовавшие взгляды на процессы управления в единую систему и доказала ее полноту и всеобщность, она предметно продемонстрировала повышенную мощность системного подхода к решению сложных проблем

Вместе с тем, объявленная кибернетикой всеобщность рассмотренных выше положений, принявших характер законов, остается пока преимущественно декларацией, слабо подтвержденной конструктивным обоснованием именно ее всеобщности (это касается, прежде всего, социально-экономических систем)

НЕОБХОДИМОСТЬ ДАЛЬНЕЙШЕЙ ЭВОЛЮЦИИ КИБЕРНЕТИКИ

Особенности современных объектов управления:

- *повышенная сложность и размерность, избыточность, многофункциональность, распределенность, унификация, однородность основных элементов, подсистем и связей;*
- *структурная динамика, нелинейность и непредсказуемость поведения; иерархически-сетевая структура;*
- *неравновесность, неопределенность от вмешательства и выбора наблюдателя;*
- *постоянное изменение правил и технологий функционирования, изменение правил изменения технологий и самих правил функционирования;— наличие как контуров отрицательной, так и положительной обратной связи, приводящих к режимам самовозбуждения (режимам с обострением);*
- *наряду с детерминированным и стохастичным поведением, возможно хаотическое поведение;*
- *ни один элемент не обладает полной информацией о системе в целом;— избирательная чувствительность на входные воздействия (динамическая робастность и адаптация)*
- *время реагирования на изменения, вызванные возмущающими воздействиями, оказывается больше, чем время проявления последствий этих изменений, чем интервал между этими изменениями;— абсолютную полноту и достоверность информации описания реального объекта получить принципиально невозможно в соответствии с пределом Бремерманна и теоремой Геделя..*

ЭВОЛЮЦИЯ КИБЕРНЕТИКИ

1. Second cybernetics – кибернетика второго порядка – КВП
 - М.Марума (1963). КВП рассматривает контуры положительной обратной связи для усиления полезных возмущающих воздействий и флуктуаций. Модель КВП более правдоподобно объясняет природу процессов, обучения, адаптации, социальных взаимодействий.
 - Х.Фёрстер (1974). КПП – кибернетика наблюдаемых систем. КВП – кибернетика наблюдения, включающая наблюдателя. КВП изучает взаимодействие между наблюдателем и тем, что наблюдается, и ориентирована на сложные и живые системы, причем не столько на управление, сколько на познание процессов развития и нарастания биологической и социальной сложности.

ЭВОЛЮЦИЯ КИБЕРНЕТИКИ (продолжение)

2. Редько В.Г. и др. (с 1993 г.). Эволюционная кибернетика – изучает кибернетические свойства живых систем и принципы, методы и модели обработки информации в них.
3. Фрадков А.Л. (с 1998 г.). Кибернетическая физика – исследование физических систем кибернетическими методами.
4. Юсупов Р.М. (1978-1998) . Геофизическая кибернетика – теоретические основы управления объектами неживой природы (геофизики).

Неокибернетика

междисциплинарная наука, ориентированная на разработку методологии постановки и решения проблем анализа и синтеза интеллектуальных процессов и систем управления сложными объектами произвольной природы; неокибернетика это— кибернетика II порядка, исследующая системы управления, обладающие свойством избирательности и операциональной замкнутости, а также способностью моделировать среду и себя в ней (кибернетика наблюдения, включающего и самого наблюдателя).

«ИНФОРМАТИКА – научная дисциплина, изучающая структуру и общие свойства научной информации, а также закономерности всех процессов научной коммуникации»

*(Энциклопедия кибернетики, 1974;
Словарь по кибернетике, 1979)*

ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНФОРМАТИКИ

- Наука о преобразовании информации, которая базируется на вычислительной технике. Предметом информатики является вычислительная технология как социально-исторический феномен...состав информатики – это три неразрывно и существенно связанные составные части: технические средства, программные и алгоритмические (Дородницын А.А.).
- Некая синтетическая дисциплина, которая включает в себя разработку новой технологии научных исследований и проектирования, основанное на использовании ЭВТ, и несколько крупных научных дисциплин, связанных с проблемой общения с машиной, и наконец, с созданием машины (Мусеев Н.Н.).
- Комплексная научная и технологическая дисциплина, которая изучает, прежде всего, важнейшие аспекты разработки, проектирования, создания, “встраивания” машинных систем обработки данных, а также их воздействия на жизнь общества (Михалевич В.С.).
- Фундаментальная естественная наука, изучающая процессы передачи и обработки информации (Ершов А.П.).
- Наука о проблемах обработки различных видов информации, создании новых высокоэффективных ЭВМ, позволяющая предоставлять человеку широкий спектр различных информационных ресурсов (Якубайтис Э.А.).
- Информатика (наука об инфокоммуникациях) – наука, которая изучает, как преобразуется, репрезентируется (представляется), хранится и воспроизводится информация, а также как она передается и используется (Кузнецов Н.А.).
- Информатика – научное направление, являющееся составной частью кибернетики, основные задачи которого заключаются в изучении информационных потребностей общества и разработке путей, средств и методов наиболее рационального их удовлетворения (Герасименко В.А.).
- Наука об осуществляемой преимущественно с помощью автоматических средств целесообразной обработке информации, рассматриваемой как представление знаний и сообщений в технических, экономических и социальных областях (Французская Академия наук).
- Наука, техника и применение машинной обработки, хранения и передачи информации (М.Брой, Германия).


ИНФОРМАТИКИ



Теоретические основы информатики

- 1**
 - статистическая теория информации
 - философские аспекты
 - качественная теория информации
 - криптография
 -
- 2**
 - теория информационных процессов
 -
- 3**
 - теоретические основы вычислительной техники
 - базы данных
 - теория связи

- 4**
 - теория моделирования
 - теория языков программирования
 - теория алгоритмов
 - теория программирования
 - числовые и символьные вычисления
 - искусственный интеллект
 - многоагентные системы
 -
- 5**
 - теория синтеза организационных структур
 - методы управления разработками и программами
 -



ИНФОРМАТИКА – наука о методах и
средствах сбора, хранения,
передачи, представления,
обработки и **защиты информации**

РАЗВИВАЮЩИЕСЯ РАЗДЕЛЫ ИНФОРМАТИКИ:

- извлечение знаний из данных;
- машинное обучение;
- многоагентные системы
- компьютерное зрение;
- речевая информатика;
- стеганография и стеганоанализ;
- интеллектуальные сенсорные сети;
- защита компьютерных сетей;
- новые технологии компьютерного моделирования и супервычислений
- биометрия и т.д. и т.п.

ОСНОВНЫЕ ПРИЧИНЫ «БЛИЗОСТИ» ИНФОРМАТИКИ И КИБЕРНЕТИКИ

- Информатика развивалась в недрах кибернетики, практически на единой технической базе – вычислительная техника и средства связи и передачи данных (кибернетика-теория управления-информационные процессы-информатика-кибернетические машины (ЭВМ))
- Основным объектом исследования в кибернетике является управление. Управление – в значительной мере информационный процесс. Поэтому кибернетика объективно была вынуждена заниматься вопросами сбора, обработки, хранения и передачи информации

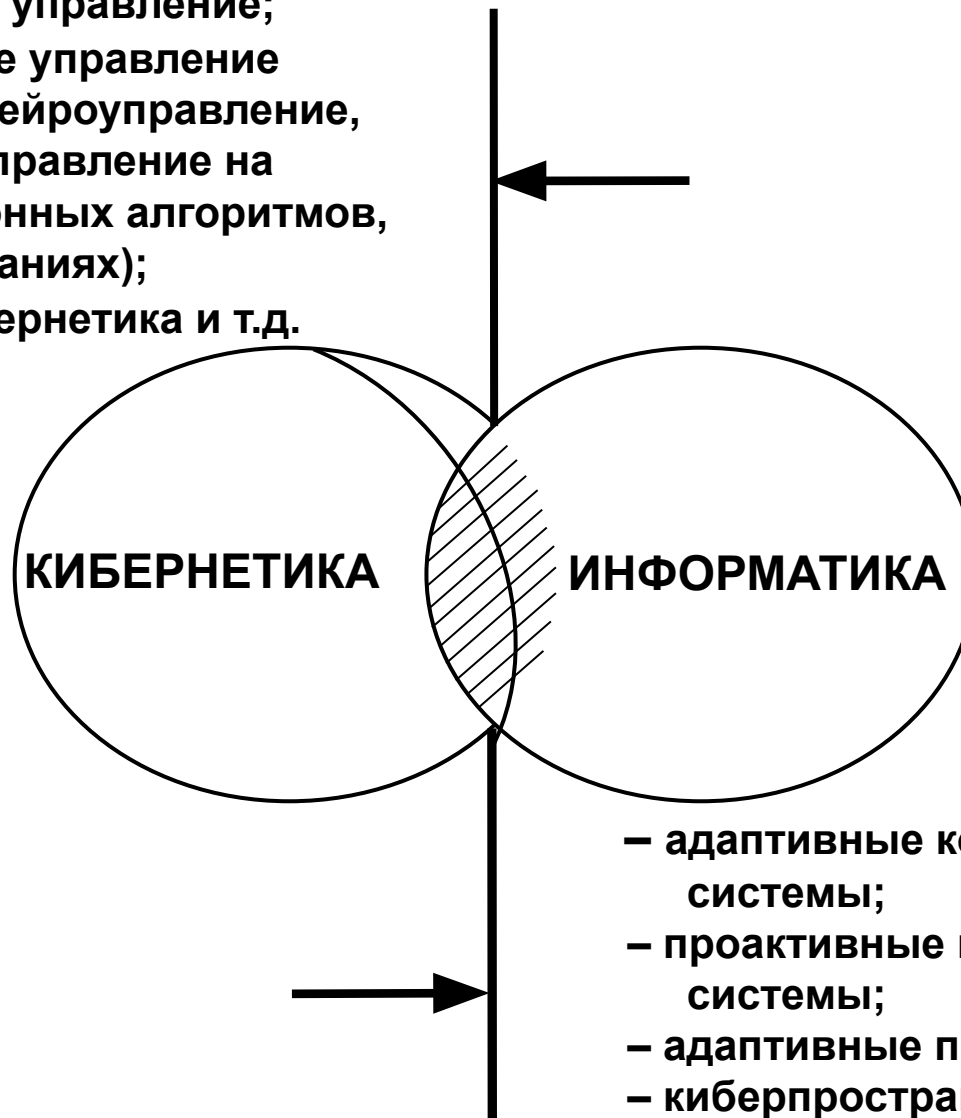
- «Информатика – кибернетика на современном этапе»
(Бирюков Б.В., 1989)
- «... совокупность научных направлений, называемых теперь информатикой, именовалась по разному. Сначала объединяющим названием был термин «кибернетика», затем на роль общего названия той же области исследований стала претендовать «прикладная математика» ... Поэтому, говоря об истории информатики в бывшем СССР и теперешней России, по сути, надо излагать историю отечественной кибернетики и частично прикладной математики и вычислительной техники»
(Поспелов Д.А. «Становление информатики в России», 1998)

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ КИБЕРНЕТИКИ И ИНФОРМАТИКИ

	КИБЕРНЕТИКА		ИНФОРМАТИКА
Определение	Наука об общих законах и закономерностях управления и связи в сложных системах различной природы		Наука об информации, методах и средствах обработки, хранения, передачи, представления и защиты информации
Объект исследования	Управление, процессы управления		Информация, информационные процессы
Предмет исследования	Системы и технологии управления		Информационные системы и технологии
Основные понятия	Управление, процессы управления, система управления, обратная связь, модель, информация, технология управления ...		Информация, информационные процессы, системы, технологии, каналы связи и передачи данных, модель
Основная прикладная задача	Анализ и синтез технологий и систем управления		Создание информационных технологий и информационных систем

ИНТЕГРАЦИЯ ИНФОРМАТИКИ И КИБЕРНЕТИКИ

- информационное управление;
- интеллектуальное управление (ситуационные, нейроуправление, многоагентное, управление на основе эволюционных алгоритмов, основанное на знаниях);
- программная кибернетика и т.д.



- адаптивные компьютерные системы;
- проактивные компьютерные системы;
- адаптивные предприятия;
- киберпространство;
- киберпреступление и т.д.

ИНФОРМАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Под информационным управлением понимается процесс выработки и реализации управленческих решений в ситуации, когда управляющее воздействие носит неявный, косвенный характер, и объекту управления представляется определяемая субъектом управления информация о ситуации (информационная картина), ориентируясь на которую этот объект как бы самостоятельно выбирает линию своего поведения

АДАПТИВНЫЕ И ПРОАКТИВНЫЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

(proactive computing)

Адаптивные и проактивные компьютерные (proactive computing) системы призваны для решения проблем, ограничивающих развитие ИКТ на современном этапе, в частности за счет придания системам таких адаптационных способностей, как самоконтроль, самовосстановление, самоконфигурирование, самооптимизация, самообслуживание, самоорганизация. Свойства проактивных систем расширяют наши представления о применении компьютеров за счет необходимости мониторинга окружающей среды (мира) и влияния на него. Одна из основных задач адаптивных систем и адаптивного управления – приспособляемость к требованиям бизнеса. *IBM, HP, Sun, Microsoft, Intel ...*

ПРОГРАММНАЯ КИБЕРНЕТИКА

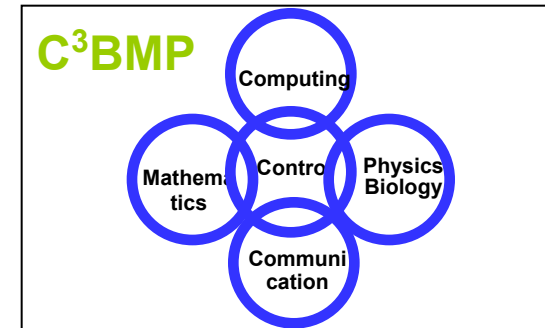
Первый семинар по программной кибернетике – 2004 г., Гонконг, 28-я Международная конференция по ПО

Основная идея программной кибернетики – более тесно и формализованно объединить процессы создания и функционирования ПО с управлением и дать ответы на вопросы типа:

- как формализовать механизмы обратной связи в программных процессах и системах, как ввести в них соответствующие меры;
- как интегрировать программную инженерию с инженерией управления;
- как адаптировать принципы теории управления (кибернетики) к программным процессам и системам и т.д.

ИНТЕГРАЦИЯ ИНФОРМАТИКИ И КИБЕРНЕТИКИ

1. Предварительный отчет – рекомендация для рамочной программы РП-7 «Исследование по системам управления в Европе» (2005).
2. К.Острем. Доклад «Present Development in Control Applications»
3. юбилейное заседание ИФАК (Хайдельберг, 12-14 сентября 2006 г.);
 - 1-я Российская мультikonференция по проблемам управления (Санкт-Петербург, 10-12 октября 2006 г.).
C³=control+communication+computing.
3. Р.М.Юсупов «К 90-летию академика Е.П.Попова (Информационно-управляющие системы, №1, 2005)



КИБЕРНЕТИКА + ИНФОРМАТИКА = НЕОКИБЕРНЕТИКА

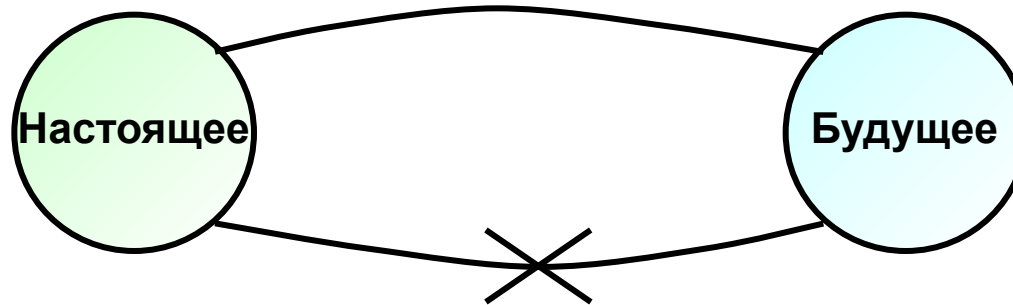
Определение статической и динамической моделей

С т а т и ч е с к а я модель описывает связь между компонентами состояний или между этими компонентами и другими характеристиками системы в условиях равновесия и других условиях «замораживания» изменения состояния.

Д и н а м и ч е с к о й называется модель, в которой в той или иной форме раскрываются причинно-следственные связи (реализуется принцип причинности), определяющие развивающийся во времени процесс перехода системы из одного состояния в другое.

Первое условие принципа причинности

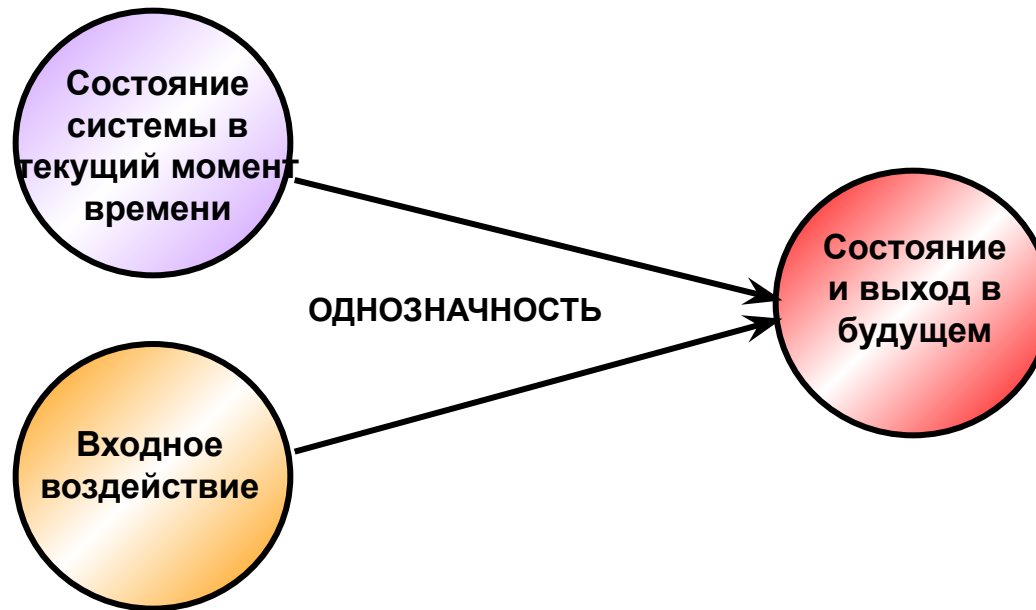
Упорядоченность причинно-следственных связей во времени. Это означает, что состояние и выходная ситуация (выход) системы в любой момент времени не зависит от ситуаций, которые могут возникнуть на входном полюсе системы в более поздние моменты времени.



Второе условие принципа причинности

Однозначность причинно-следственных связей. Это означает, что состояние и выходная ситуация (выход) системы в любой момент времени в будущем может быть определена совершенно точно (однозначно), если точно известны:

- все сведения о системе, характеризующие ее, и воздействие на нее среды в прошлом и настоящем;**
- входное воздействие на систему в будущем.**



Динамическая система

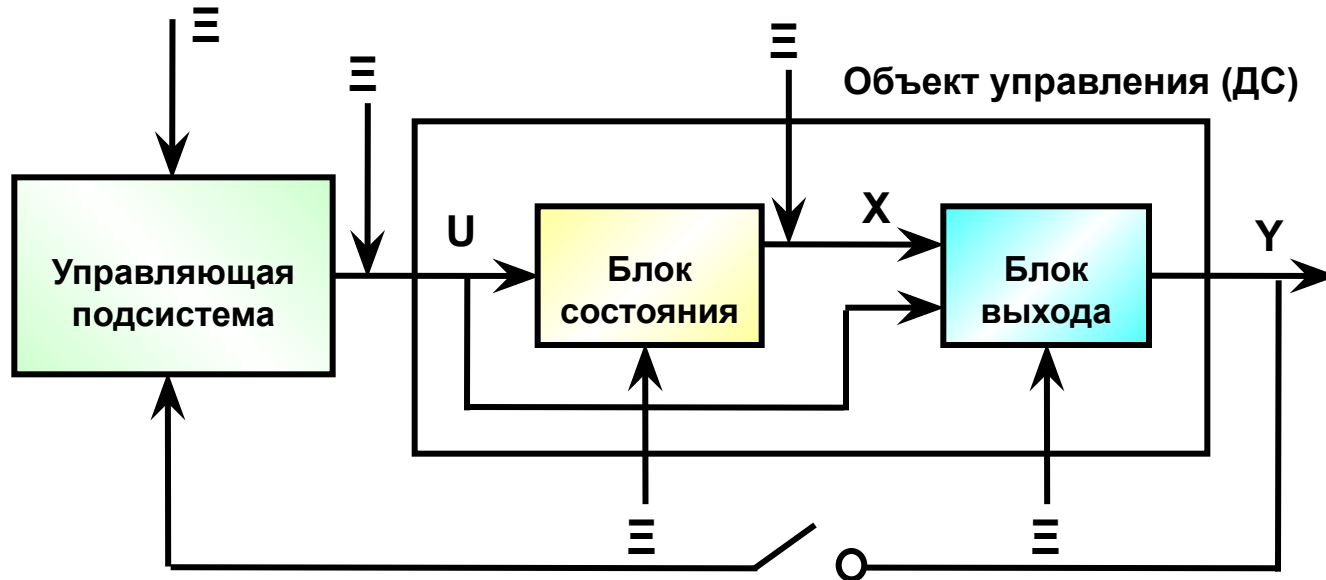
Первая часть этого принципа эквивалента утверждению о том, что будущее системы не влияет на прошлое и констатирует необратимость явлений во времени.

Вторая часть данного принципа отражает принципиальную познаваемость причинно-следственных связей в системе и возможность точного предсказания выхода системы при наличии необходимой информации.

Таким образом, система, удовлетворяющая принципу причинности, является **динамической системой.**

Кинематическая модель

Кинематической моделью называется модель динамической системы, описывающая изменение состояния как функции времени и не раскрывающая причинно-следственные связи, вызывающие это изменение.



Динамическая система (ДС) задается с использованием 4-х основных (базисных) множеств: X, Y, V, T и 2-х отображений: φ, ψ . $ДС = \langle X, Y, U, \Xi, T, \varphi, \psi \rangle$ - классическая ДС.

X – множество состояний ДС;

Y – множество выходов ДС;

U – множество управляющих воздействий;

Ξ – множество возмущающих воздействий;

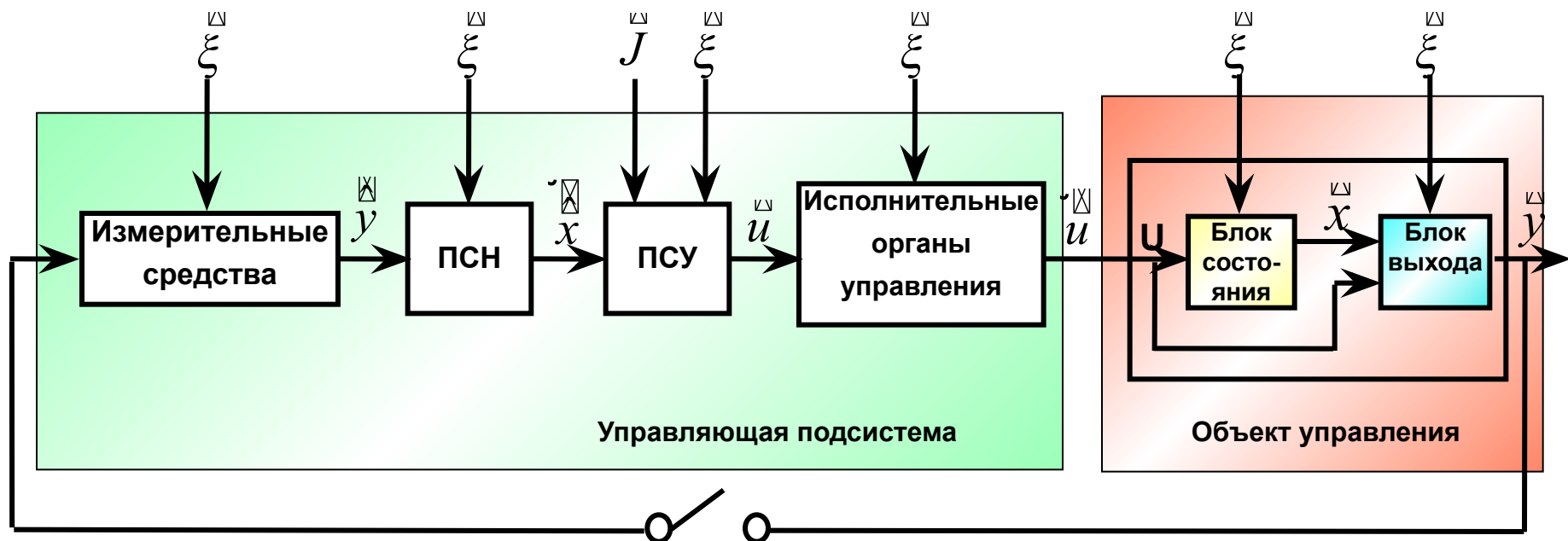
T – множество моментов времени;

$V = U \times \Xi$ – множество входных воздействий;

$\varphi: X \times V \times T \rightarrow X$ – переходное отображение;

$\psi: X \times V \times T \rightarrow Y$ – выходное отображение.

Расширенная схема кинематической модели



Динамическая система (ДС) задается с использованием 4-х основных (базисных) множеств: T, X, V, Y и 2-х отображений: φ, ψ . При этом

- x - вектор состояния;
- y - вектор выхода;
- u - вектор управляющих воздействий;
- \bar{u} - преобразованный вектор управляющих воздействий;
- J - вектор целей;
- \hat{y} - оценка вектора [измеряемых параметров] выхода;
- \hat{x} - оценка вектора состояния;
- ξ - вектор возмущающих воздействий.

Динамическая система

Каждое из множеств X, V, Y может быть в свою очередь конечным, счетным, континуальным, превышающим мощность континуума; множество T может быть континуальным и дискретным (счетным либо конечным).

Обобщенное описание ДС позволяет, анализируя свойства множеств и отображений:

- образовывать различные конкретные частные классы моделей ДС;*
- устанавливать взаимосвязи между указанными классами;*
- организовывать многомодельные исследования реально протекающих процессов.*

**Основные классы задач теории управления ДС (ТУ ДС)
(детерминированный вариант задания исходных данных)**

Элементы ДС Классы задач ТУ ДС	U	X	Y
Задачи анализа	+	+	?
Задачи наблюдения (мониторинга)	+	?	+
Задачи управления	?	+	+

Примеры динамических систем

Конечномерные дифференциальные динамические системы (КДДС)

X, V, Y – представляет собой конечномерные пространства

$T(t_0, t_f] \subset \mathbb{R}^1$;

$$\frac{\partial x}{\partial t} = \varphi(t, x, u) \Leftrightarrow \dot{x} = \varphi(t, x, u)$$

$$x(t_0) = x_0$$

$$y = \psi(t, x, u)$$

Нестационарная линейная ДДС

(НЛДДС)

$$\begin{aligned} \dot{x} &= A(t)x + B(t)u \\ y &= L(t)x + D(t)u \end{aligned}$$

Стационарная линейная ДДС (СЛДДС)

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Lx + Du \end{aligned}$$

Билинейная КДДС

$$\begin{aligned} \dot{x} &= A(t)x + B(t)u + \Phi(t)xu \\ y &= L(t)x + D(t)u + \Pi(t)xu \end{aligned}$$

Конечные автоматы (1)

Рассмотрим частный случай ДС — конечные автоматы (КА) (конечные ДС).

В общем случае КА задаются на 3-х основных множествах с использованием 2-х отображений вида:

$$\varphi: X \times V \times T \rightarrow X$$

$$\psi: X \times V \times T \rightarrow Y$$

Будем рассматривать детерминированные КА (возмущающее воздействие отсутствует $\Xi = \emptyset$). Тогда $X = \{x_1, \dots, x_n\}$, $Y = \{y_1, \dots, y_n\}$, $U = \{u_1, \dots, u_n\}$ — конечные множества.

Функционирование КА интерпретируется как переходы КА из состояния t_0, t_1, t_2, \dots , имеющие нумерацию 0, 1, 2. В этом случае, базисное множество $T = \{t_0, t_1, t_2, \dots\}$ представляется в виде счетного множества вида $T = \{0, 1, 2, \dots\}$.

КА является ДС со счетным множеством моментов времени и относится к классу ДС с дискретным временем. Если интервалы между последовательными тактами равны, говорят о синхронной конечной ДС, в противном случае об асинхронной.

$$\check{\varphi}: X \times V \times T \rightarrow X$$

$$\check{\psi}: X \times V \times T \rightarrow Y$$

Из анализа выражений следует, что переходная функция $\check{\varphi}$ сопоставляет каждой паре символов $\langle x[i-1], u[i] \rangle$ (\langle состояние предыдущего такта, текущий вход \rangle) символ текущего состояния.

Конечные автоматы (2)

$$\begin{array}{l} \text{Автомат 1 рода} \\ \text{Автомат 2 рода} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} x[i] = \tilde{\varphi}(x[i-1], u[i]) \\ x[i] = \tilde{\psi}(x[i-1], u[i]) \\ x[i] = \tilde{\varphi}(x[i-1], u[i]) \\ y[i] = \tilde{\psi}(x[i], u[i]) \end{array} \right. \begin{array}{l} \text{— несдвинутая выходная ф-ция} \\ \text{— сдвинутая выходная ф-ция} \end{array}$$

Возможен вариант задания автомата, когда выходная функция имеет вид:

$$\tilde{\psi} : X \rightarrow Y$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x[i] = \tilde{\varphi}(x[i-1], u[i]) \\ y[i] = \tilde{\psi}(x[i]) \end{array} \right. \text{— автомат типа «вход-выход» или автомат Мура 2-го рода.}$$

Иногда при определении автомата рассматривают не пятерку $\langle X, Y, U, \varphi, \psi \rangle$, а шестерку $\langle X, Y, U, x^0, \varphi, \psi \rangle$ где $x^0 = a_i \in X$ — начальное состояние автомата.

Наиболее часто встречаются 5 основных способа задания КА:

- задание КА табличный способ задания КА,
- задание КА с помощью оргсевдографов,
- задание КА с помощью специальных булевых матриц,
- задание КА с помощью специальных грамматик,
- задание КА с помощью рекуррентных отношений.

Способы задания конечных автоматов (1)

$X=\{a_1, a_2, a_3, a_4\}$, $Y=\{c_1, c_2\}$, $U=\{b_1, b_2\}$,

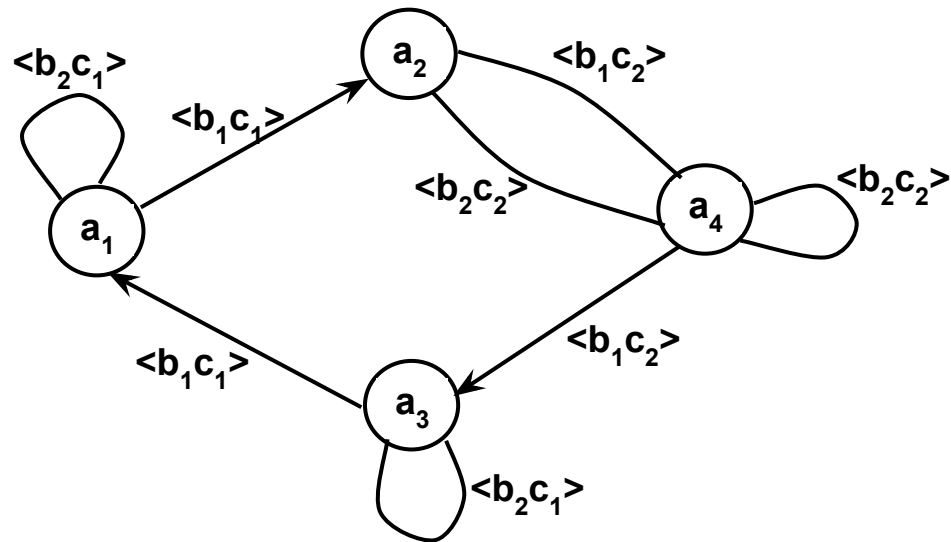
возможен вариант задания автомата, когда выходная функция имеет вид:

$$\begin{cases} x[i] = \tilde{\varphi}(x[i-1], u[i]) & \text{— автомат типа «вход-выход» или автомат Мура 2-го рода.} \\ y[i] = \tilde{\psi}(x[i]) \end{cases}$$

а) Табличный способ задания КА

Вход \ Состояние	u1=b1	u2=b2
$x_1=a_1$	$\langle a_2, c_1 \rangle$	$\langle a_1, c_1 \rangle$
$x_2=a_2$	$\langle a_4, c_2 \rangle$	$\langle a_4, c_2 \rangle$
$x_3=a_3$	$\langle a_1, c_1 \rangle$	$\langle a_3, c_1 \rangle$
$x_4=a_4$	$\langle a_3, c_1 \rangle$	$\langle a_4, c_2 \rangle$

б) Графический способ задания КА. Орпсевдограф (допускается наличие петель в вершинах графа и множественность ребер).



Способы задания конечных автоматов (2)

в) Матричный вариант задания КА

(используются специальные булевы матрицы)

Число строк и столбцов матрицы соответствует количеству состояний КА.

$$M_{B_1} = \begin{matrix} & a_1 & a_2 & a_3 & a_4 \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{matrix} & \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{vmatrix} \end{matrix}$$

$$M_{B_2} = \begin{matrix} & a_1 & a_2 & a_3 & a_4 \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{matrix} & \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \end{matrix}$$

$$N = \begin{matrix} & c_1 & c_2 \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \end{matrix} & \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \end{matrix}$$

Состоянию a_i отвечает вектор-строка $\alpha^T(a_i)$ в которой все элементы нулевые, кроме элемента, соответствующего a_i и принимающего значение равно единице.

$$\alpha^T(a_i) = \|0 \ 0 \ \dots \ 1 \ \dots \ 0 \ 0\|$$

Например, $\alpha^T(a_3) = \|0 \ 0 \ 1 \ 0\|$

Выходному элементу c_j соответствует булева вектор-строка вида:

$$\beta^T(c_j) = \|0 \ 0 \ \dots \ 1 \ \dots \ 0 \ 0\|$$

Введенное представление позволяет рассчитать матричными методами выход КА при любом начальном состоянии и любой последовательности входных воздействий.

Способы задания конечных автоматов (3)

Пример.

Дано $\alpha^T(a_i)$ — начальное состояние КА,

M_{B_1}, M_{B_2} — сценарий задания входного воздействия (2 такта).

Найти β^T .

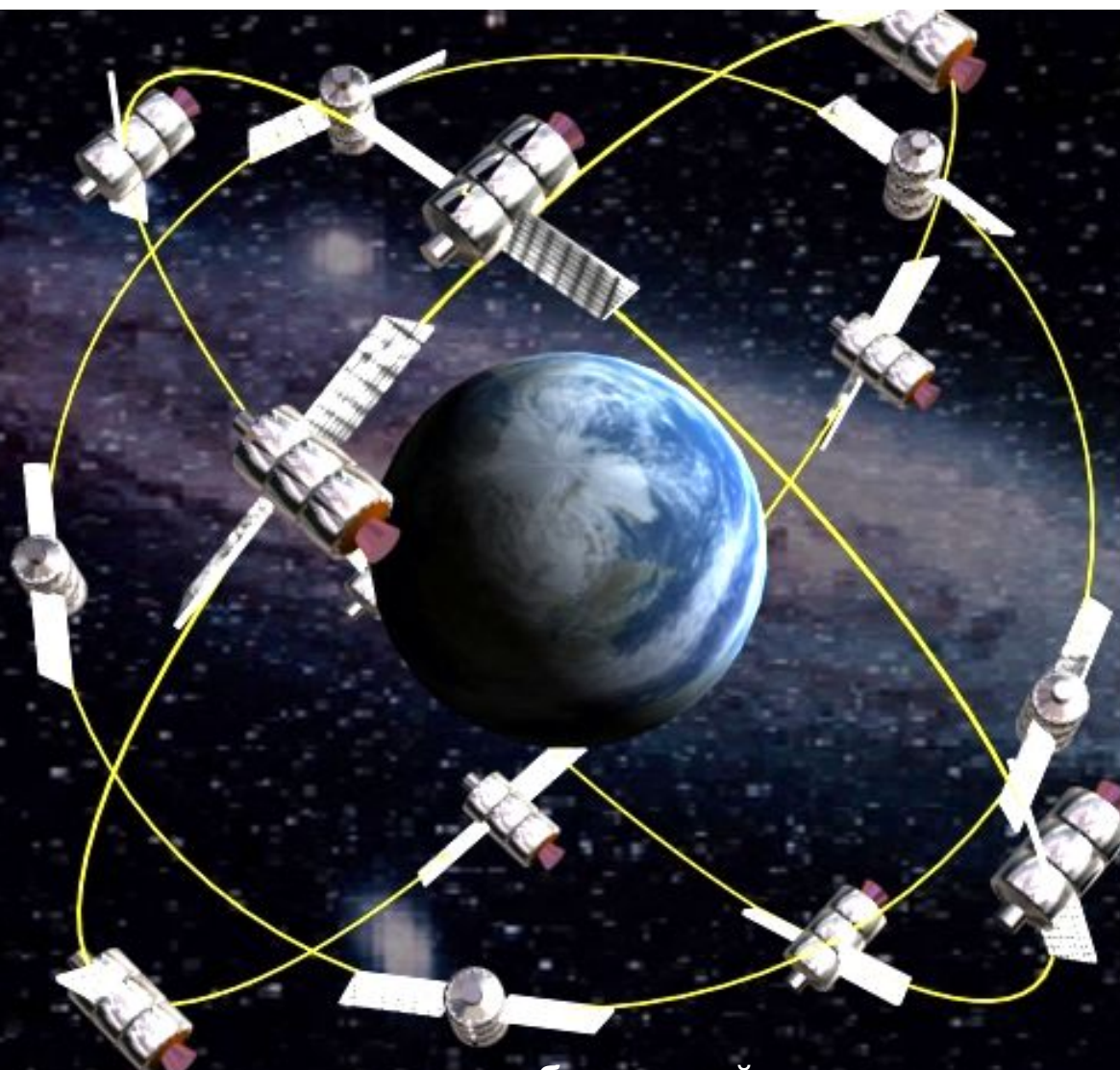
Переходное состояние автомата определяется по формуле

$$\alpha^T = \alpha^T(a_i)M_{B_1}M_{B_2}$$

Тогда выход автомата определится по следующей формуле

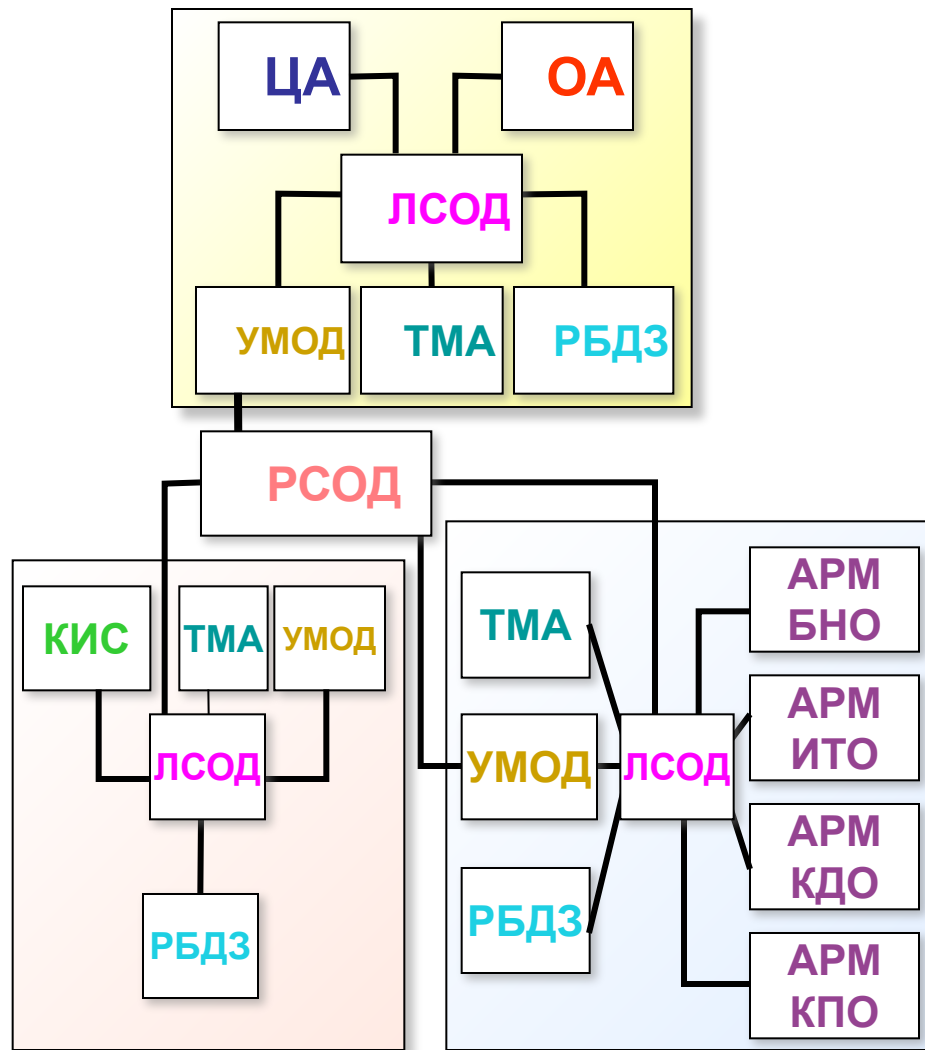
$$\beta^T = \alpha^T(a_i)M_{B_1}M_{B_2}N$$

1. Примеры сложных технических систем



Топологическая структура орбитальной системы навигационных космических аппаратов

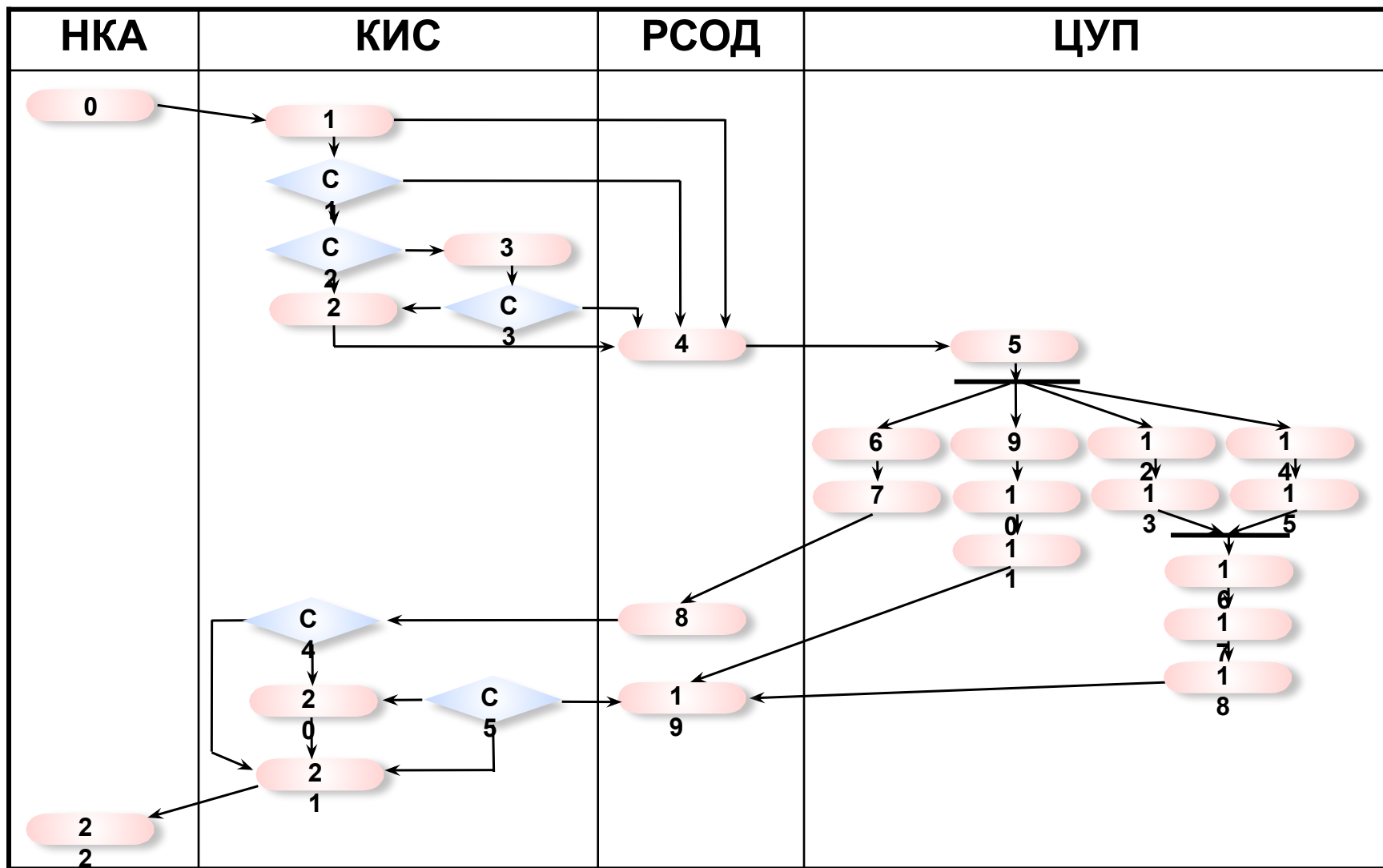
1. Примеры сложных технических систем



Техническая структура НКА, КИС, ЦУП НКА

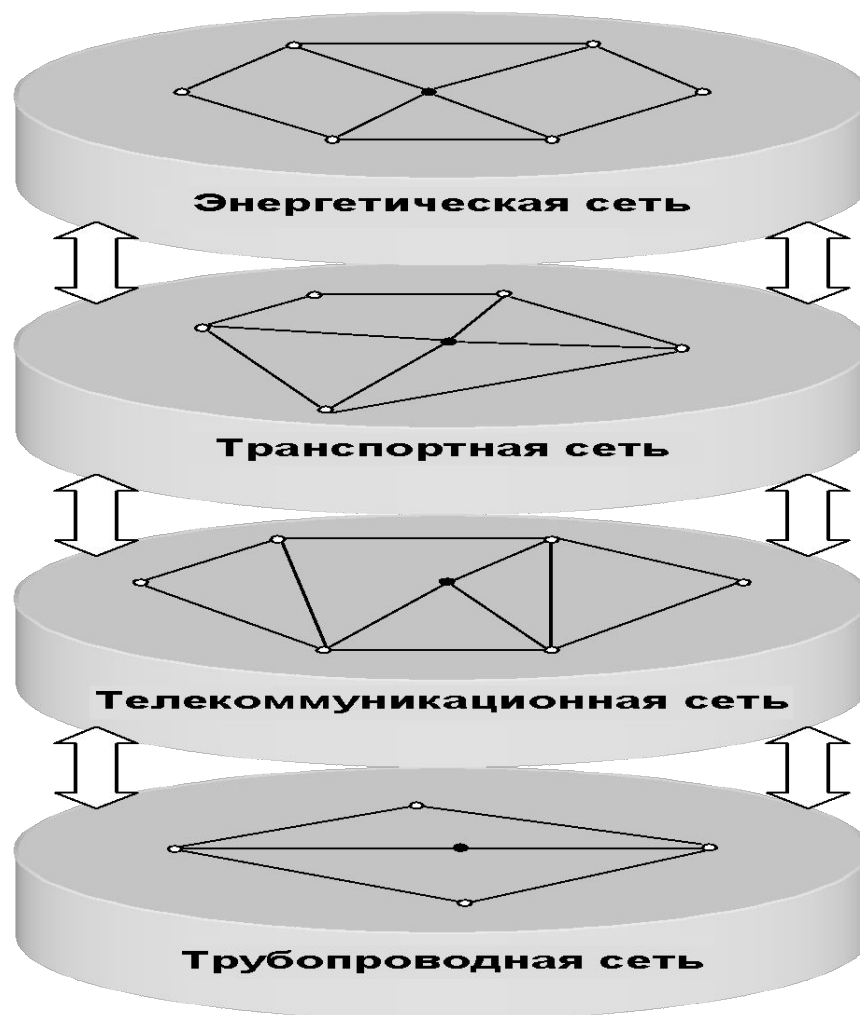
ЦА целевая аппаратура НКА; **ОА** обеспечивающая аппаратура НКА; **РБДЗ** распределенная база данных (знаний); **ТМА** типовой модуль автоматизации; **ЛСОД** локальная система обмена данными; **УМОД** унифицированный модуль обмена данными; **КИС** командно-измерительная система; **АРМ** автоматизированное рабочее место, **БНО** баллистическое и навигационное обеспечение; **ИТО** информационно-телеметрическое обеспечение; **КДО** контрольно-диагностическое обеспечение; **КПО** командно-программное обеспечение; **РСОД** распределенная сеть обмена данными.

1. Примеры сложных технических систем

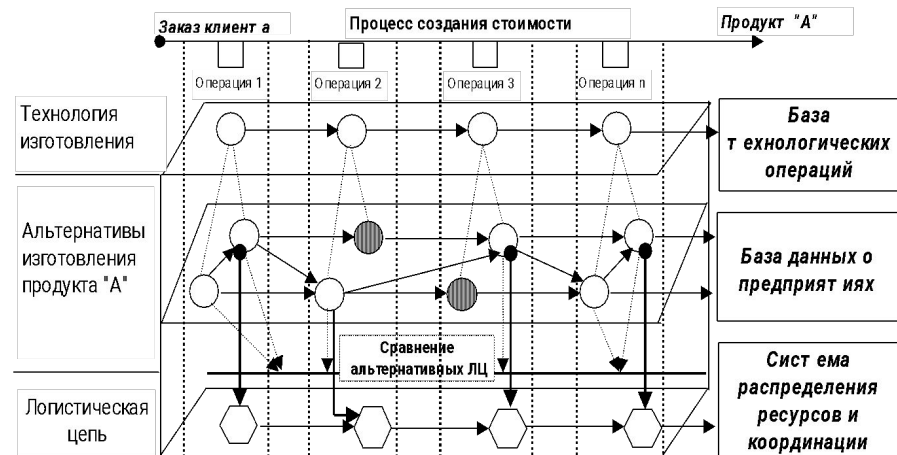
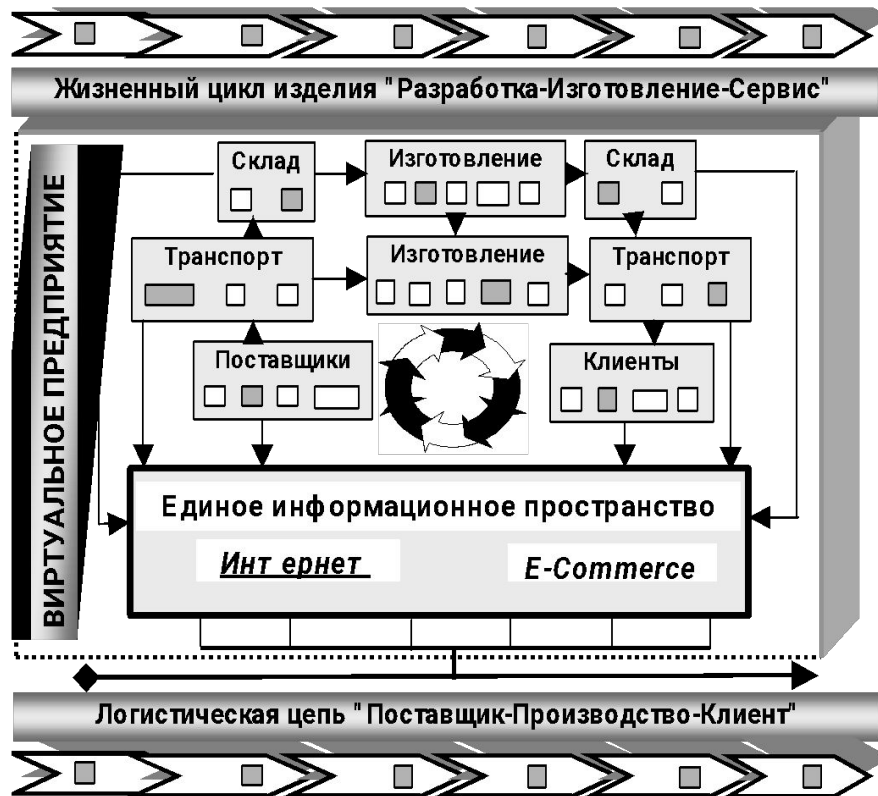


Структура технологии автоматизированного управления космическими средствами.

1. Примеры сложных технических систем (СТС)



1. Примеры сложных технических систем



1. Примеры сложных технических систем

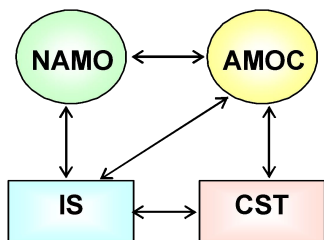


Рис. 1.1

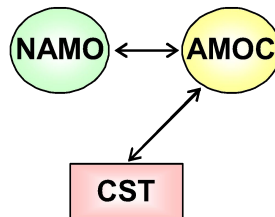


Рис. 1.2

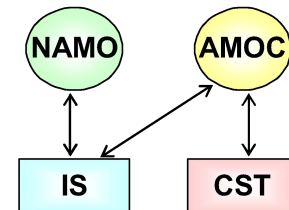


Рис. 1.3

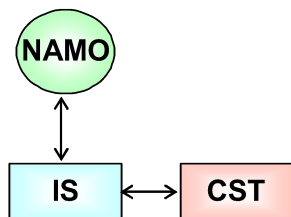


Рис. 1.4

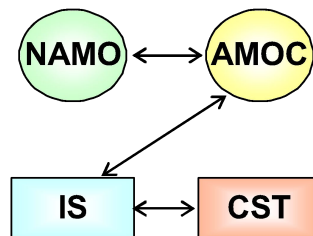


Рис. 1.5

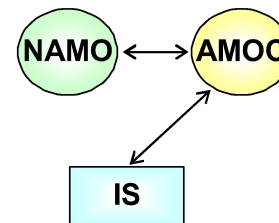


Рис. 1.6

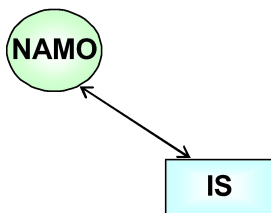


Рис. 1.7

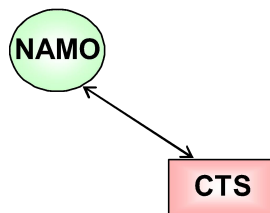


Рис. 1.8

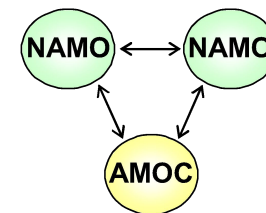


Рис. 1.9

2. Структурная динамика СТС : основные понятия, определения, концепции

Макросостояния	i/h level of CTS			
	$S_0^{(j)}$	$S_1^{(j)}$...	$S_k^{(j)}$
Варианты структур				
Топологическая структура $S_{top}^{(j)}$...	
Техническая структура $S_t^{(j)}$...	
Технологическая структура $S_{tec}^{(j)}$...	
Структура ПМО $S_{sf}^{(j)}$...	
Структура ИО $S_{in}^{(j)}$...	
Организационная структура $S_{or}^{(j)}$...	

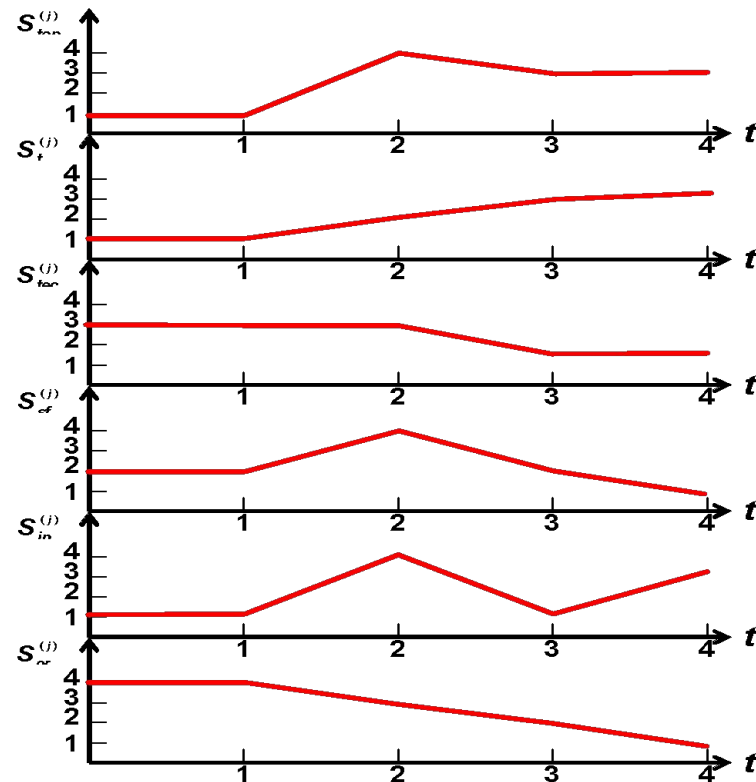
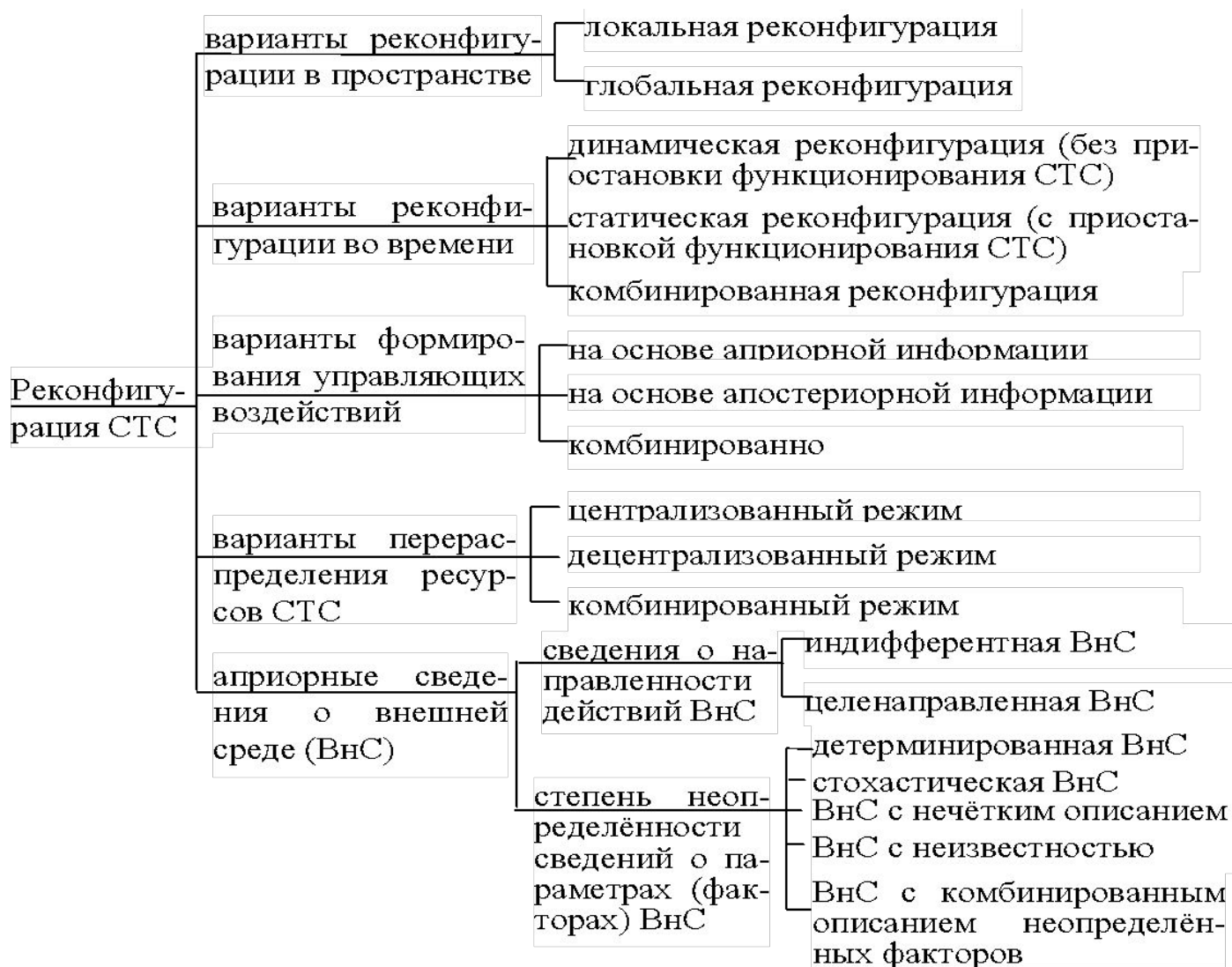


Рис..2.1. Диаграммы структурной динамики СТС. Рис.2.2. Графики изменения структурных состояний СТС

2. Структурная динамика СТС : основные понятия, определения, концепции

- изменение способов, целей функционирования СТС, их содержания, последовательности выполнения в различных условиях,**
- перемещение в пространстве отдельных элементов и подсистем СТС,**
- перераспределение и децентрализация функций, задач, алгоритмов управления, информационных потоков между уровнями СТС,**
- управление резервами,**
- использование гибких и сокращенных технологий управления СТС,**
- реконфигурация структур СТС при ее деградации**

2. Структурная динамика СТС : основные понятия, определения, концепции



2. Структурная динамика СТС : основные понятия, определения, концепции

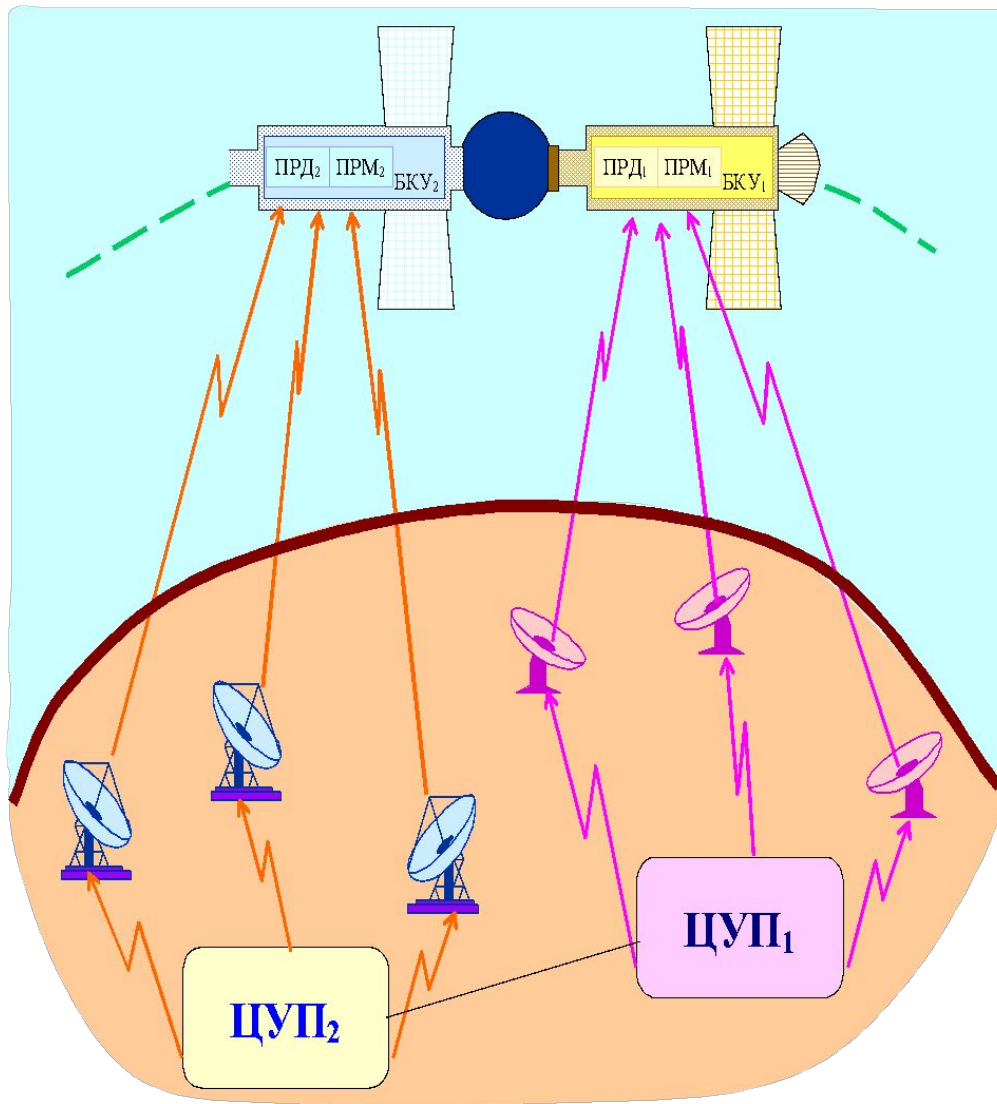
Стандартная технология реконфигурации СТС при отказе одного из её ресурсов включает в себя следующие основные шаги:

Шаг1. Определение и анализ момента времени и места отказа ресурса, снятие с решения задачи, выполняемой на данном ресурсе, передача задачи на другой ресурс (с сохранением / без сохранения полученных промежуточных результатов);

Шаг2. Исключение отказавшего ресурса из конфигурации СТС, попытка замены его резервным (однотипным), либо резервным другого типа, с близкими функциональными возможностями;

Шаг3. Исключение связей с отказавшим ресурсом, запрет на доступ к нему, а для самого отказавшего ресурса – попытка его восстановления.

2. Структурная динамика СТС : основные понятия, определения, концепции



1- ПРД ТК

2 – ПРМ ТК

3 – ТК “Прогресс”

4 – ПРД ОРС

5 – ПРМ ОРС

6 – ОРС “Мир”

ЦУП – центр управления ТК

ЦУП – центр управления ОРС

3. Современное состояние исследований проблем управления структурной динамикой СТС

В современных условиях исследование проблем управления структурной динамикой осуществляется в рамках следующих направлений:

- синтез технической структуры СТС при известных законах функционирования основных элементов и подсистем,
- синтез функциональной структуры СТС (синтез программ управления основными элементами и подсистемами СТС) при известной технической структуре СТС,
- структурно-функциональный синтез облика СТС на различных этапах ее жизненного цикла (одновременно могут синтезироваться различные виды структур : топологические, технико-технологические, организационные структуры, структуры программно-математического и информационного обеспечения и т.п.).

3. Современное состояние исследований проблем управления структурной динамикой СТС

Главная трудность решения задач управления структурной динамикой состоит в следующем:

- Определение оптимальных программ управления основными элементами и подсистемами СТС может быть выполнено лишь после того, как будет известен перечень функций и алгоритмов обработки информации и управления, который должен быть реализован в указанных элементах и подсистемах
- В свою очередь, распределение функций и алгоритмов по элементам и подсистемам СТС зависит от структуры и параметров законов управления данными элементами и подсистемами
- Трудность разрешения данной противоречивой ситуации усугубляется ещё и тем, что под действием различных причин во времени изменяется состав и структура СТС.

3. Современное состояние исследований проблем управления структурной динамикой СТС

- проблемы большой размерности и нелинейности моделей, описывающих структуру и варианты функционирования элементов и подсистем СТС;
- проблемы конструктивного учета в моделях факторов неопределенности, связанных с воздействием на СТС внешней среды
- проблемы многокритериальной оптимизации программ управления структурной динамикой СТС на полимодельных комплексах.

3. Современное состояние исследований проблем управления структурной динамикой СТС

Проблема управления структурной динамикой СТС предполагают решение четырех основных классов задач:

- *задачи комплексного моделирования процессов управления структурной динамикой СТС,*
- *задачи анализа структурной динамики СТС;*
- *задачи наблюдения (контроля) структурных состояний СТС, ситуаций, обстановки;*
- *задачи формирования, выбора и реализации программ управления структурной динамикой СТС.*

3. Современное состояние исследований проблем управления структурной динамикой СТС



Рис.3.1. Место теории управления структурной динамикой СТС в системе междисциплинарных исследований

3. Современное состояние исследований проблем управления структурной динамикой СТС

Основополагающие научные работы

◆ Системный анализ

- Пospelов Г.С. 1981
- Афанасьев В.Г. 1980
- Клир, 1985
- Касти, 1979
- Саати, 1972, 1990
- Гвишиани,
Прангвишвили, 1998

◆ Исследование Операций

- Акофф, 1978
- Цвиркун, 1982, 1985, 1993, 1997
- Шеннон, 1975
- Форрестер, 1970
- Вентцель, 1964
- Петросян, 1996
- Моисеев 1982
- Гермейер, 1971

3. Современное состояние исследований проблем управления структурной динамикой СТС

Основополагающие научные работы

◆ Теория систем

- Месарович, Такахара, 1975
- Уемов 1978
- Урсул 1981
- Калинин, Резников, 1974
- Гиг Дж, 1978
- Бурбакии, 1953, 1955
- Эшби, 1956, 1963

◆ Искусственный интеллект

- Russel, 1995
- White, Sofge, 1992
- Gupta, Sinha, 1996
- Васильев, 1992, 1998
- Harrison, Chess, 1995
- Пospelов Д.А. 1985
- Wooldridge, Jennings, 1998
- Городецкий, 1993, 1998, 2001

3. Современное состояние исследований проблем управления структурной динамикой СТС

Основополагающие научные работы

◆ Теория управления

□ Athaus, Falb, 1966

□ Понтрягин, 1961

□ Bellmann, 1957

□ Моисеев, 1974

□ Цурков, 1989

□ Siliak, 1990

□ Singh, Titli, 1979

□ Ranch, Schmidt, Natoki, 1996

□ Bellmann, Zadeh, 1970

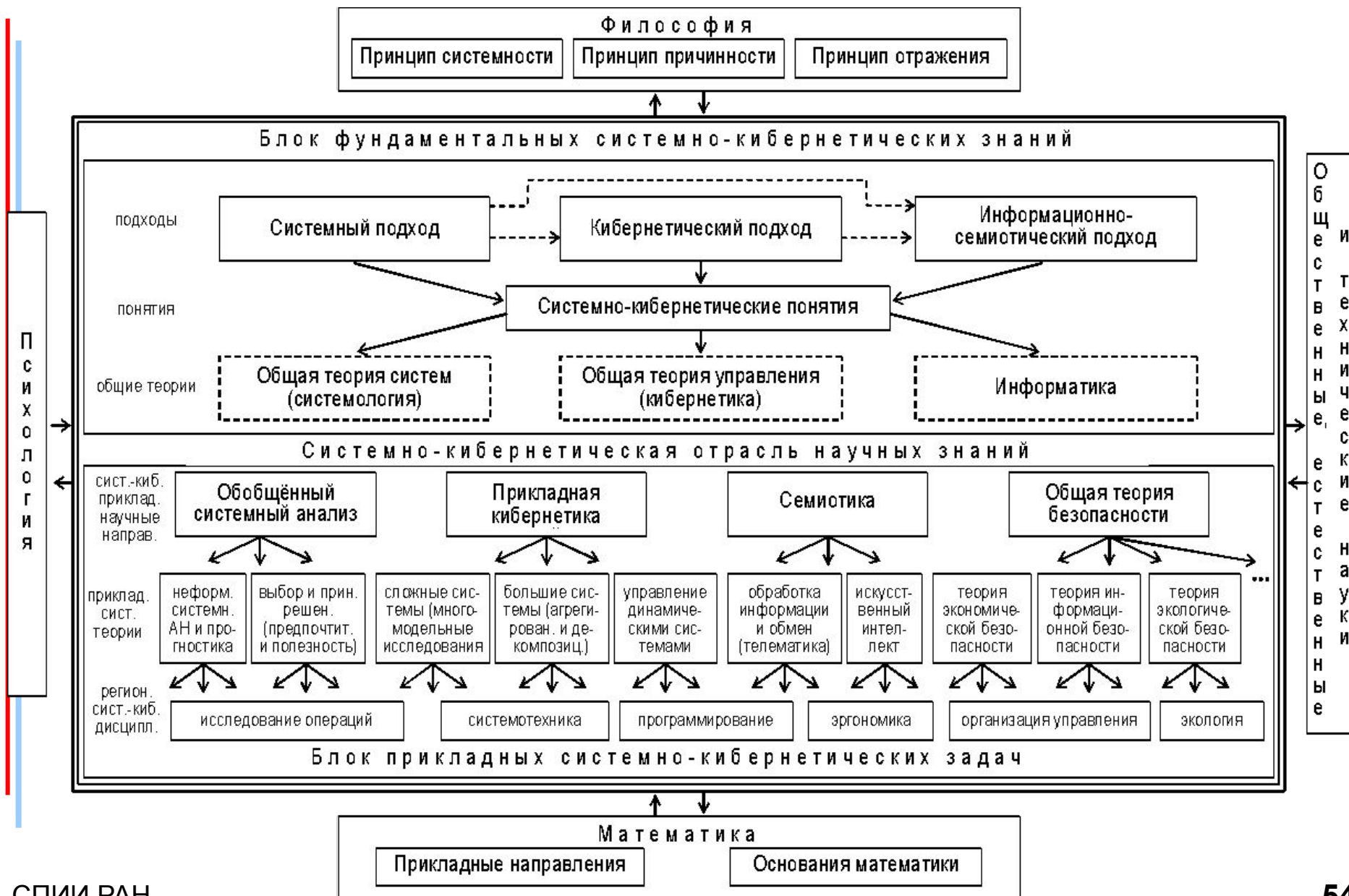
□ Moore, Harris, 1992

□ Nerode, Kokh, 1993

□ Юсупов, Розенвассер, 1999

□ Павловский, 1994

4. Методологические основы управления структурной динамикой СТС



4. Методологические основы управления структурной динамикой СТС

Методологические основы теории УСД СТС включают в себя:

- **Концепции**: системного анализа и моделирования, теории систем и управления сложными динамическими системами с перестраиваемой структурой;
- **Принципы**: программно-целевого управления, полимодельности и многокритериальности, внешнего дополнения и погружения, необходимого разнообразия и неокончателных решений, первого руководителя;
- **Подходы**: интегративный, структурно-математический, категорийно-функторный;
- **Требования (к облику СПМО и ИО)**: требования системного подхода к организации процессов управления, универсальности и проблемной ориентации, адекватности, гибкости, адаптивности.

5. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой СТС

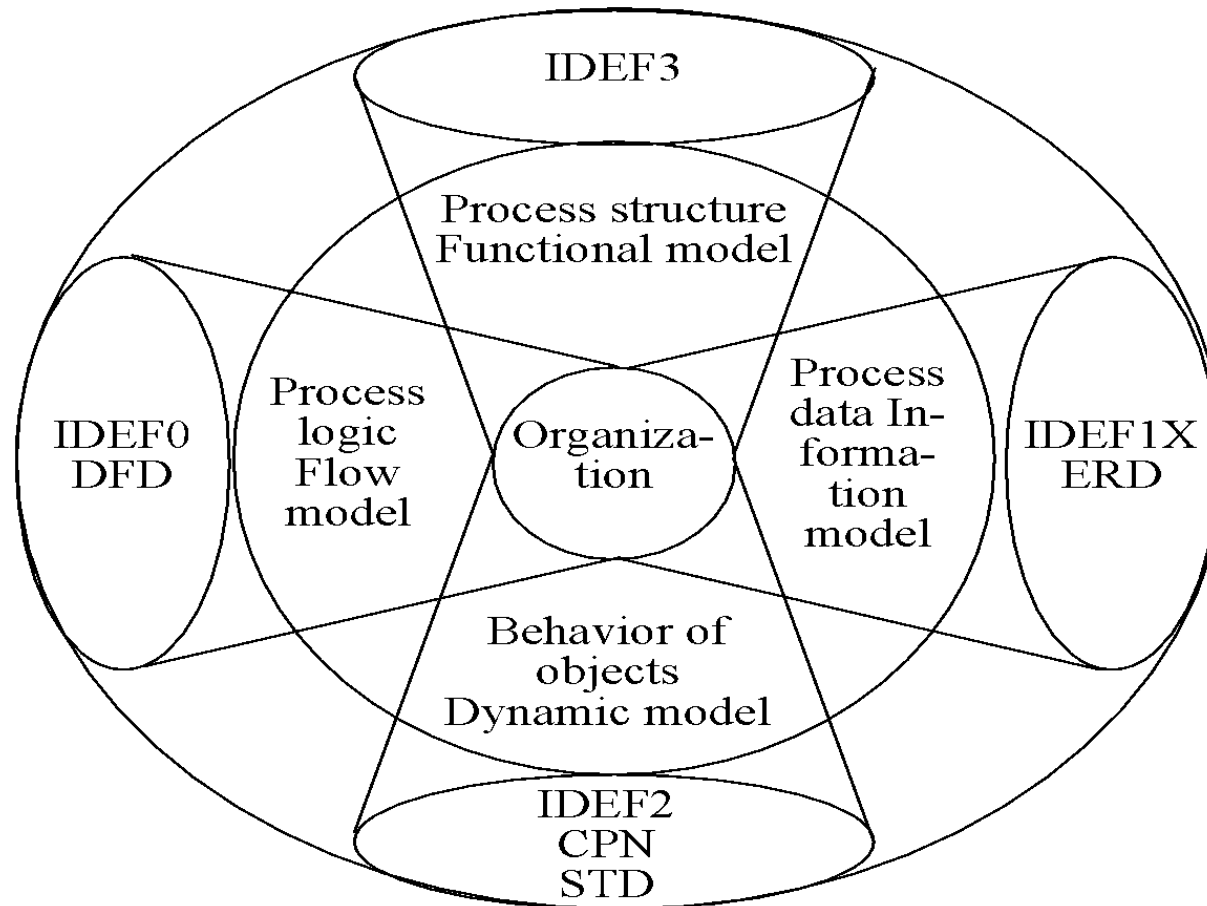
Таблица 1

Модели УСД СТС Сценарии- взаимодей- ствия моделей	$f_0^{(a)} \rightarrow \text{extr}_{\Delta^{(a)}}$	$f_0^{(a)} \rightarrow \text{extr}_{\Delta^{(u)}}$	$f_0^{(a)} \rightarrow \text{extr}_{\Delta^{(a)} \cap \Delta^{(u)}}$	$f_0^{(u)} \rightarrow \text{extr}_{\Delta^{(a)}}$	$f_0^{(u)} \rightarrow \text{extr}_{\Delta^{(u)}}$	$f_0^{(u)} \rightarrow \text{extr}_{\Delta^{(a)} \cap \Delta^{(u)}}$
$\text{АОМ} \rightarrow \text{АН} \rightarrow \text{К}$ 	+					
$\text{ИОМ} \rightarrow \text{АН} \rightarrow \text{К}$ 				+	+	+
$\text{АОМ} \rightarrow \text{ИОМ} \rightarrow \text{АН} \rightarrow \text{К}$ 		+	+			
$(\text{АОМ} \subset \text{ИОМ}) \rightarrow \text{АН} \rightarrow \text{К}$ 			+			
$(\text{ИОМ} \subset \text{АОМ}) \rightarrow \text{АН} \rightarrow \text{К}$ 			+		+	+
$\left(\begin{array}{c} \text{АОМ}_1 \\ \cup \\ \text{ИОМ} \\ \cup \\ \text{АОМ}_2 \end{array} \right) \rightarrow \text{АН} \rightarrow \text{К}$ 				+	+	+

5. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой СТС

Метод вычислительного интеллекта и интеллектуальные системы на его основе	Комбинация		
	из двух методов	из трёх методов	из четырёх методов
Системы нечёткого вывода Fzelips 6.04 Matlab	Нечёткие нейронные сети	Нечёткие нейронные вероятностные сети	Нечёткая вероятностная нейронная сеть с использованием генетического алгоритма (*)
Нейронные сети Neurosolution 3.0	Системы нечёткого и вероятностного вывода Guru	Вероятностные нейронные сети с использованием генетического алгоритма (*)	–
Вероятностные рассуждения. Экспертная система Prospector	Системы нечёткого вывода с использованием генетического алгоритма	Нечёткие нейронные сети с использованием генетического алгоритма Fungen 1.2	–
Генетические алгоритмы Professional Version 1.2	Вероятностные нейронные сети Trajan 2.1 Matlab	Системы нечёткого вероятностного вывода с использованием генетического алгоритма (*)	–
NeuroGenetic Optimezer	Нейронные сети с использованием генетических алгоритмов		
	–	–	
	Системы вероятностного вывода с использованием генетических алгоритмов	–	–

5. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой СТС

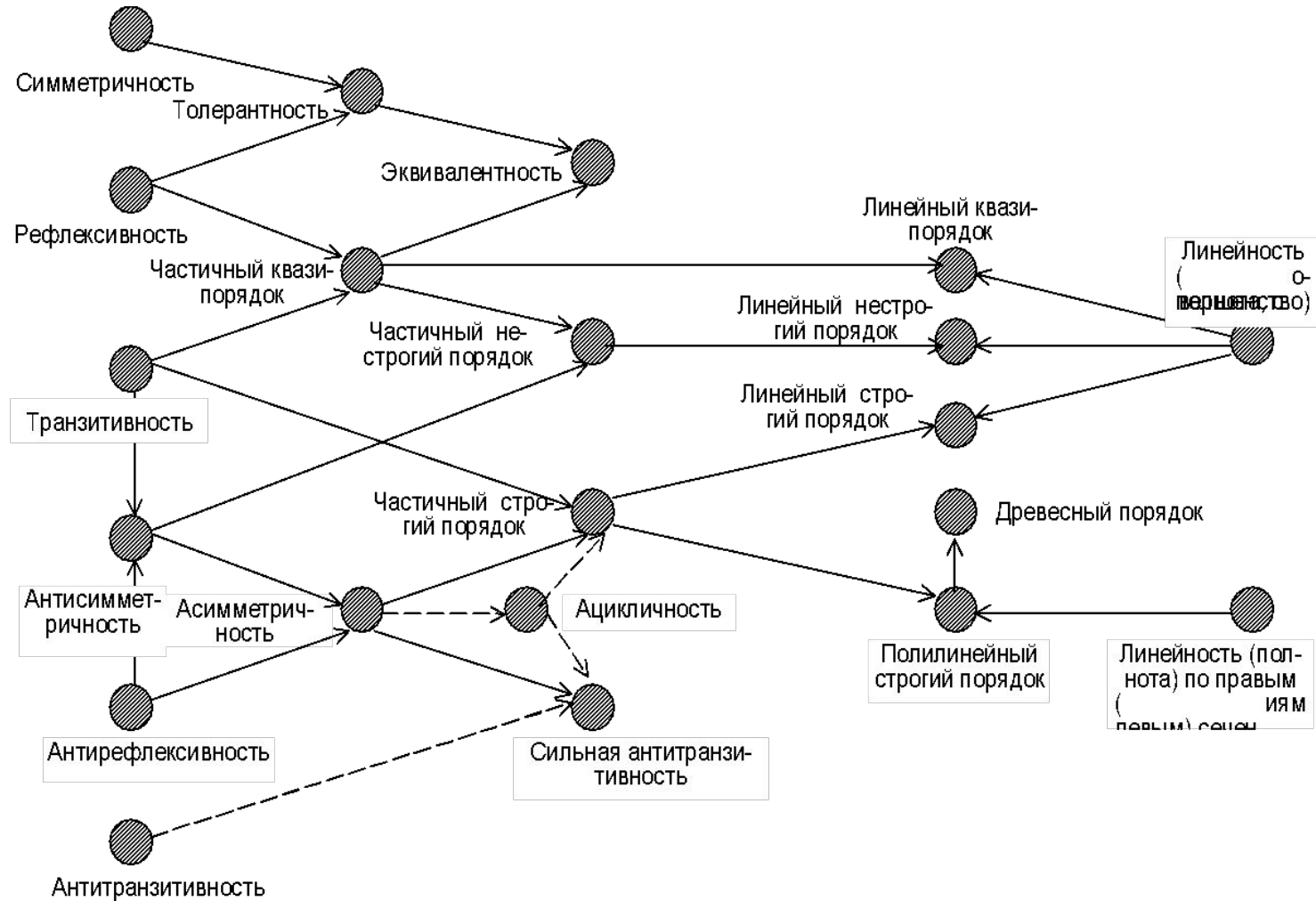


5. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой СТС

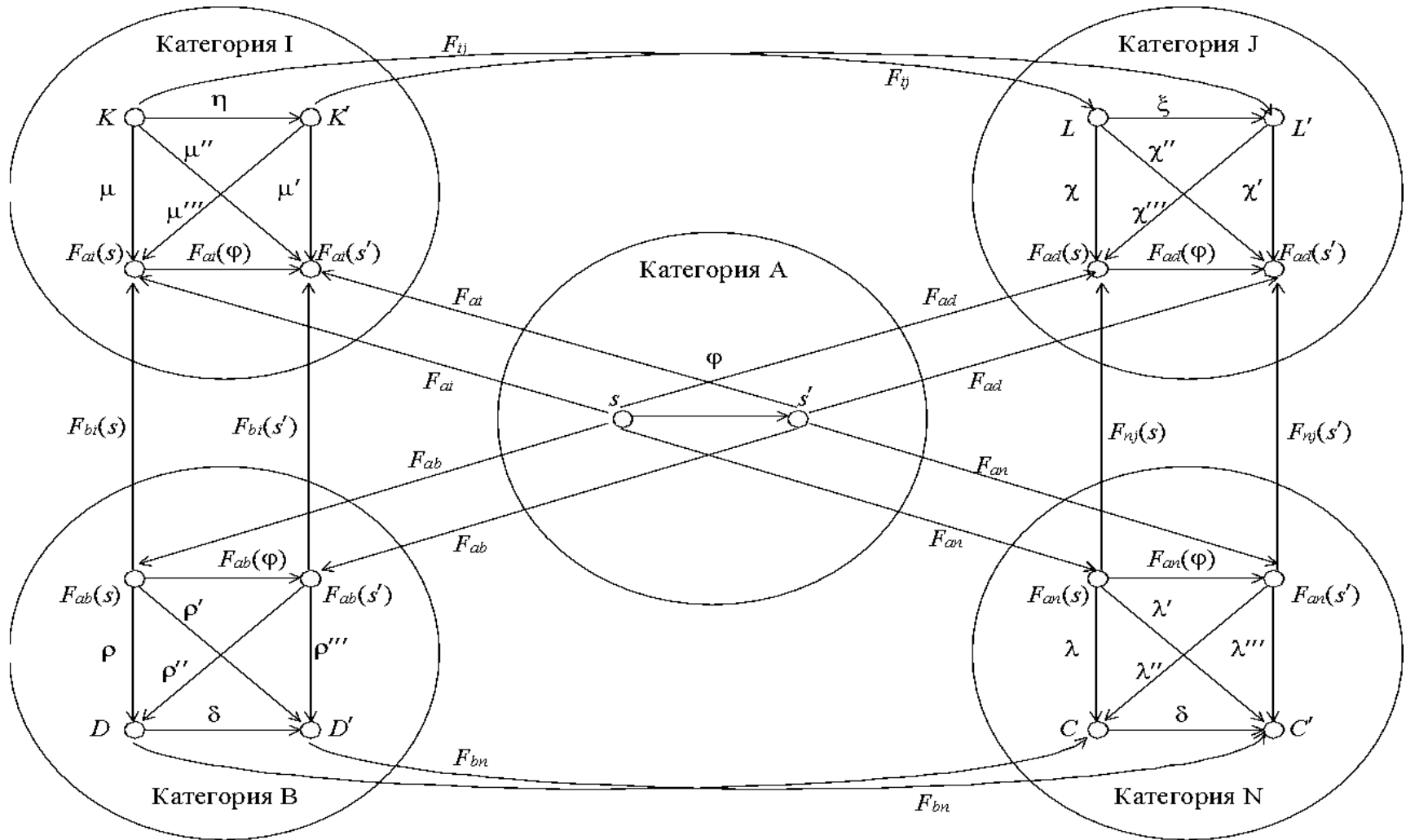
card X	dim X	Конструкция основной ступени шкалы множеств								·
		$\chi \times \chi$	$\frac{\chi \times \chi}{X \rightarrow X}$	$\chi \times J$	$\frac{\chi \times J}{X \rightarrow Y}$	$\chi \times \chi \times \chi$	$\frac{\chi \times \chi \times \chi}{X \times X \rightarrow X}$	$\chi \times \chi \times J$	$\frac{\chi \times \chi \times J}{X \times X \rightarrow Y}$	
1	1	M_{11}	M_{12}	M_{13}	M_{14}	M_{15}	M_{16}	M_{17}	M_{18}	·
n	m	M_{21}	M_{22}	M_{23}	M_{24}	M_{25}	M_{26}	M_{27}	M_{28}	·
Φ_0	1	M_{31}	M_{32}	M_{33}	M_{34}	M_{35}	M_{36}	M_{37}	M_{38}	·
Φ_0	m	M_{41}	M_{42}	M_{43}	M_{44}	M_{45}	M_{46}	M_{47}	M_{48}	·
Φ_1	1	M_{51}	M_{52}	M_{53}	M_{54}	M_{55}	M_{56}	M_{57}	M_{58}	·
Φ_1	m	M_{61}	M_{62}	M_{63}	M_{64}	M_{65}	M_{66}	M_{67}	M_{68}	·
Φ_2	∞	M_{71}	M_{72}	M_{73}	M_{74}	M_{75}	M_{76}	M_{77}	M_{78}	·
...	·

Классы моделей систем

5. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой СТС



5. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой СТС



5. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой СТС



Рис. 5.1. Обобщенная структурная схема активного подвижного объекта

5. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой СТС

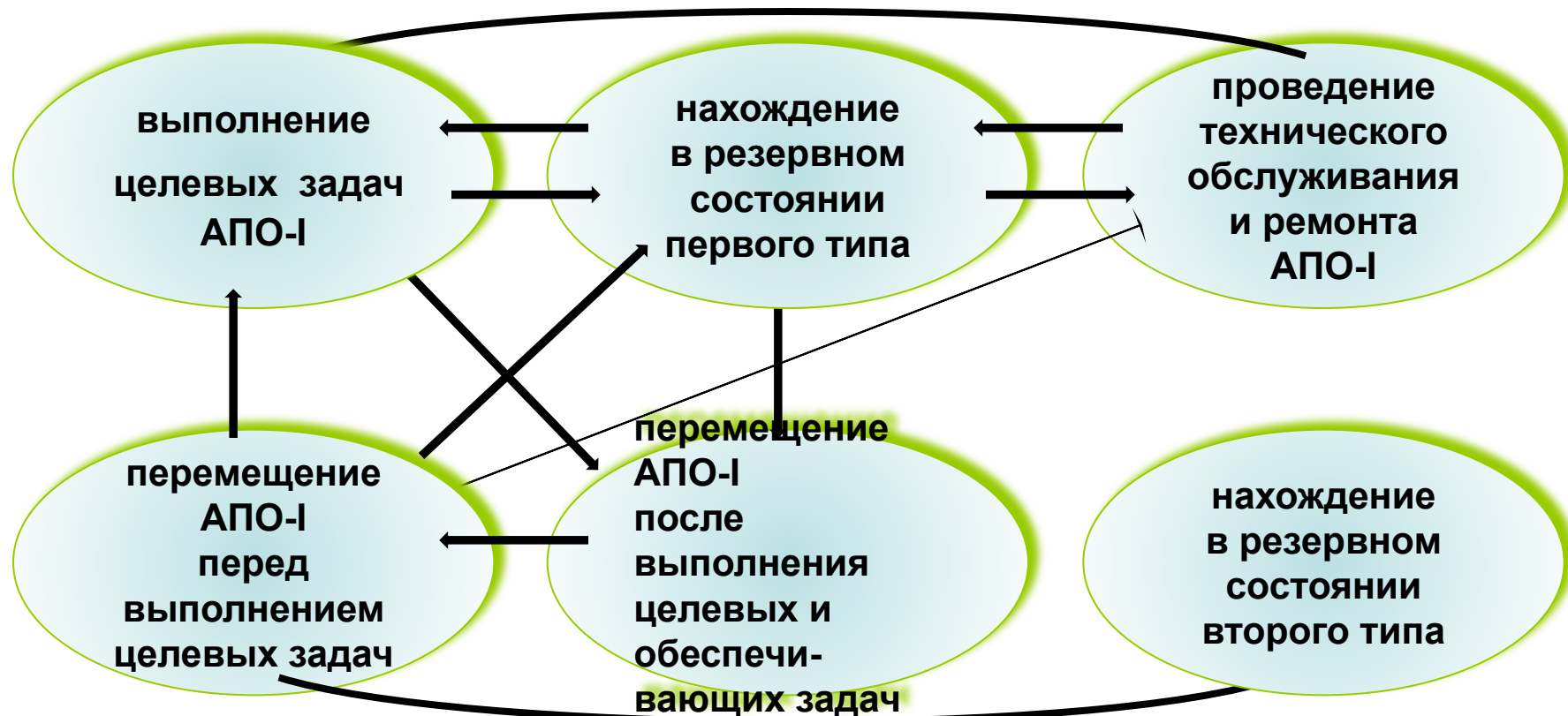


Рис.5.2. Фрагмент диаграммы переходов из обобщенных состояний АПО первого типа

5. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой СТС

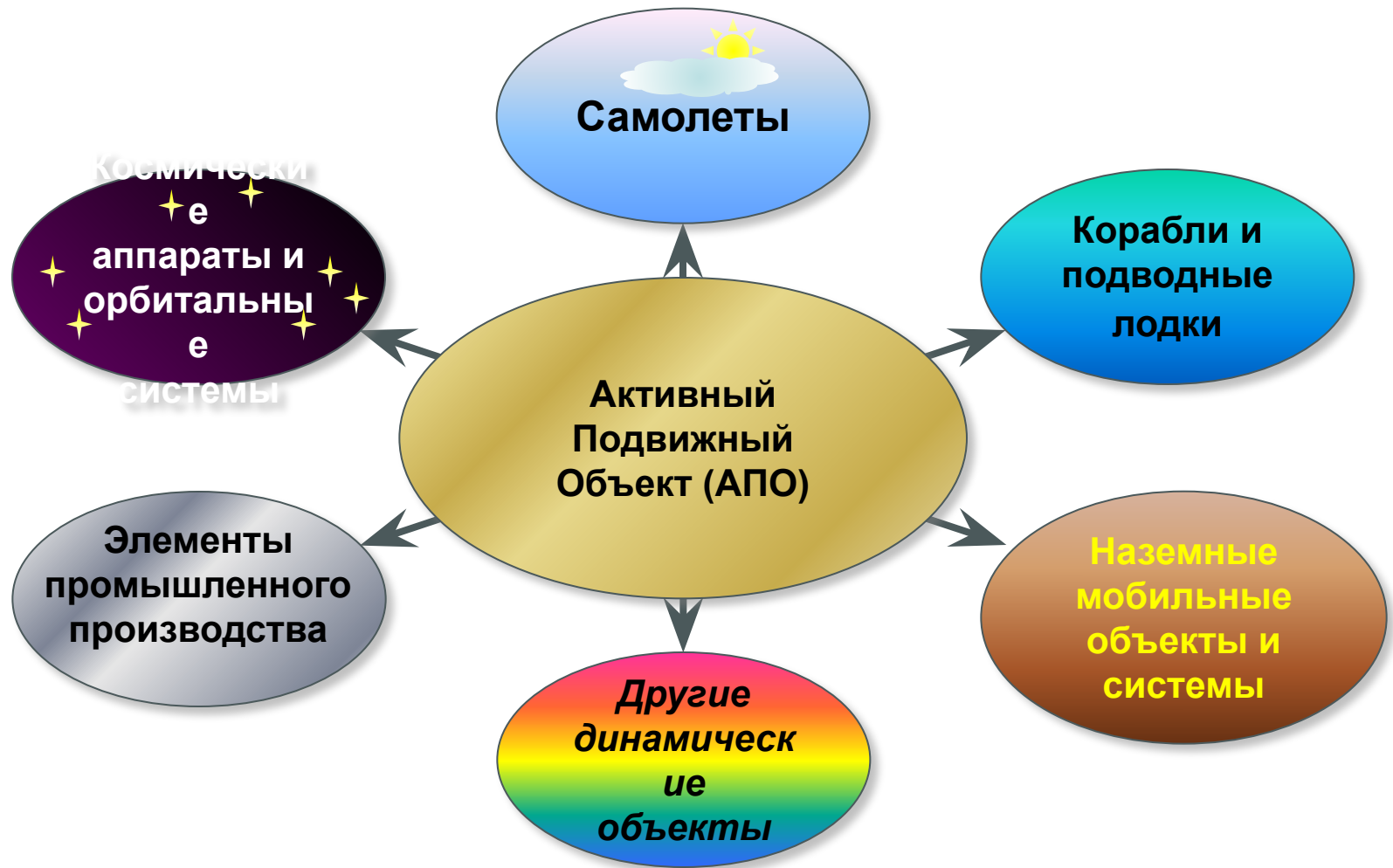


Рис.5.3. Возможные варианты интерпретации АПО первого типа

5. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой СТС

- Пусть перед системой АПО стоит двойственная задача:
- 1) создание в заданных областях физического пространства таких условий («информационных полей»), при которых каждый АПО, пункты управления (ПУ), пункты обслуживания (ПО), находящиеся в указанных областях, могут определять своё местоположение, обмениваться информацией друг с другом, определять и оценивать состояние ОБО;
- 2) создание и поддержание в пространстве такой структуры АПО, которая позволит за заданное (либо минимальное) время осуществлять непосредственное либо энергетическое взаимодействие с ОБО, в ходе которого будет выполняться целевая задача, стоящая перед системой АПО.

5. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой СТС

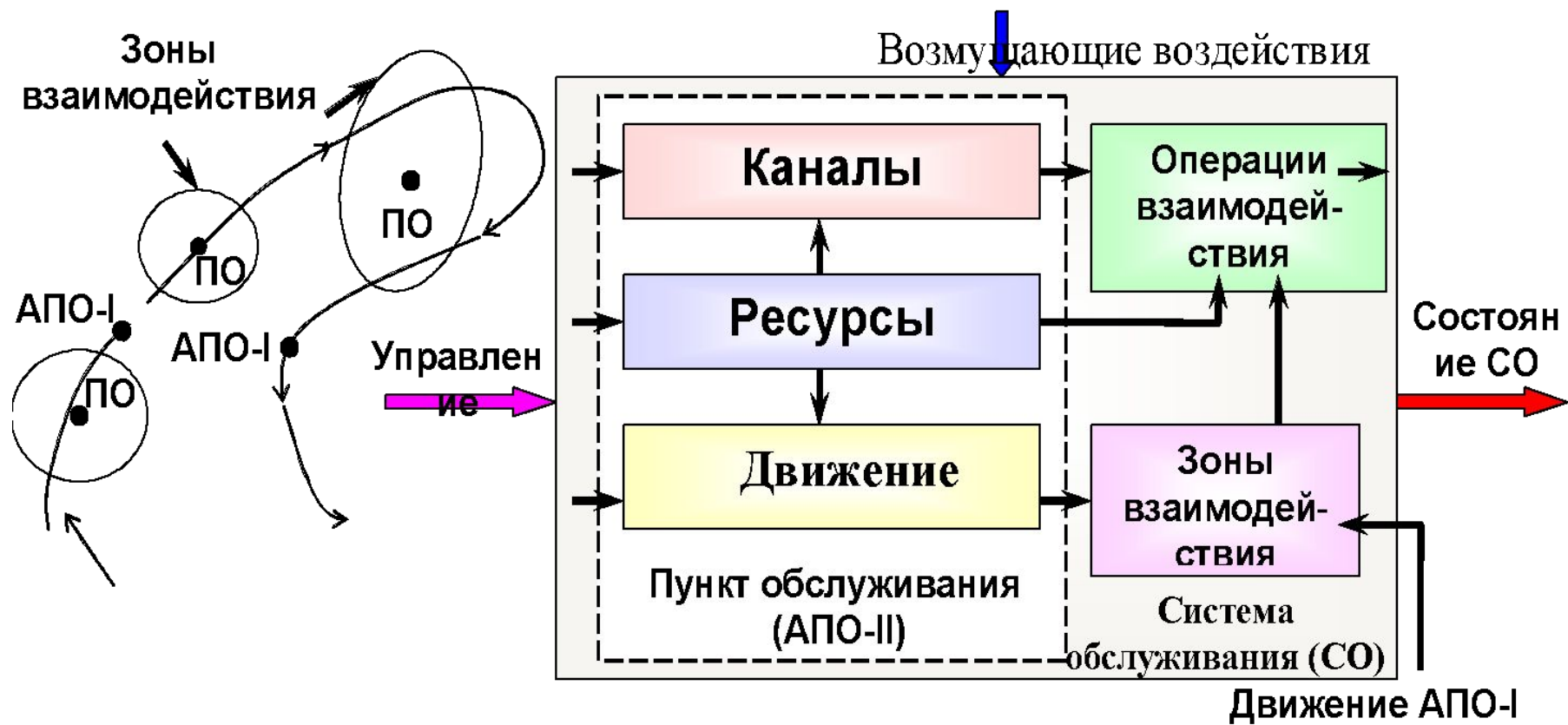


Рис.5.4. Обобщенная структурная схема системы обслуживания (АПО второго типа)

5. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой СТС

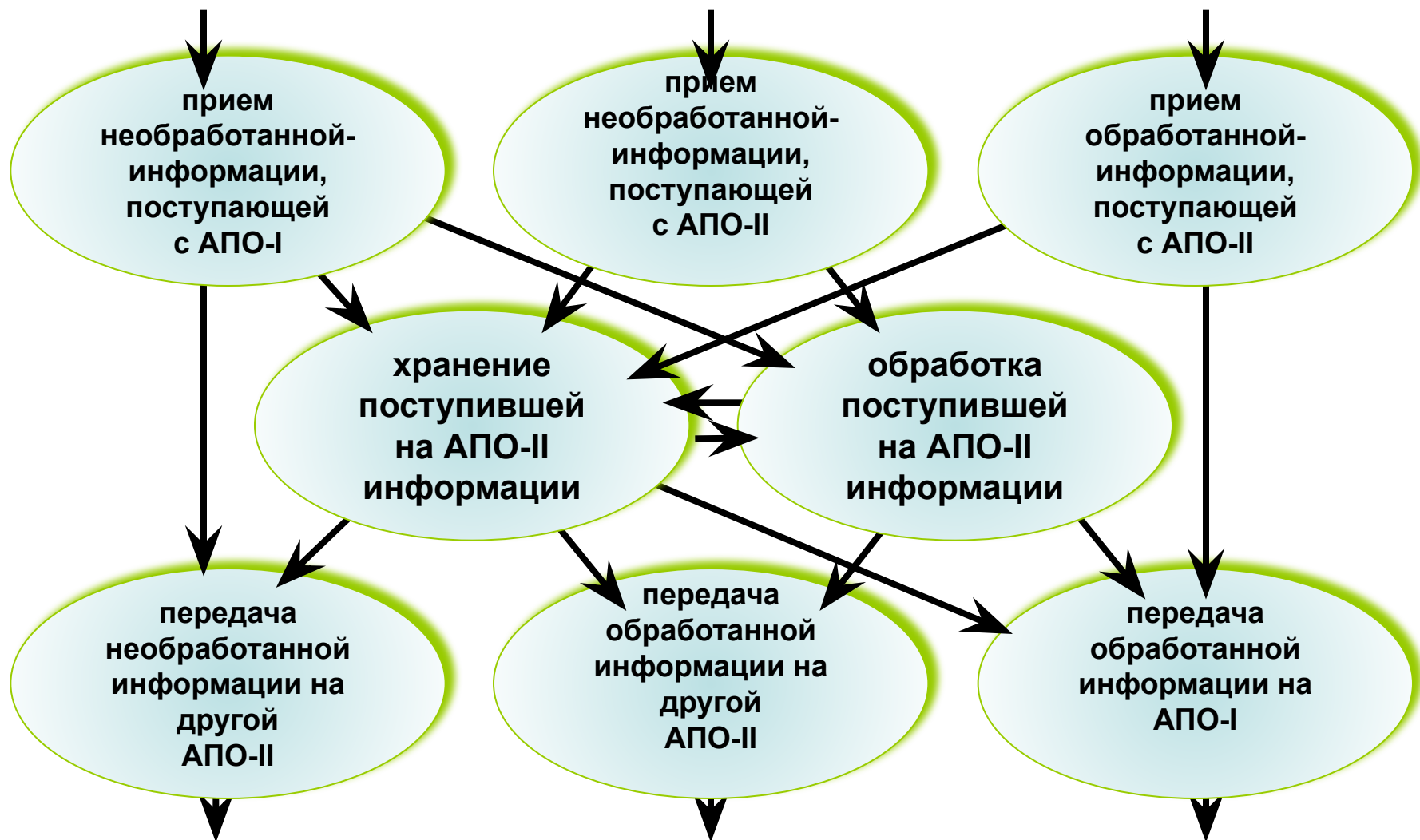


Рис.5.5. Фрагмент диаграммы переходов из обобщенных состояний АПО второго типа

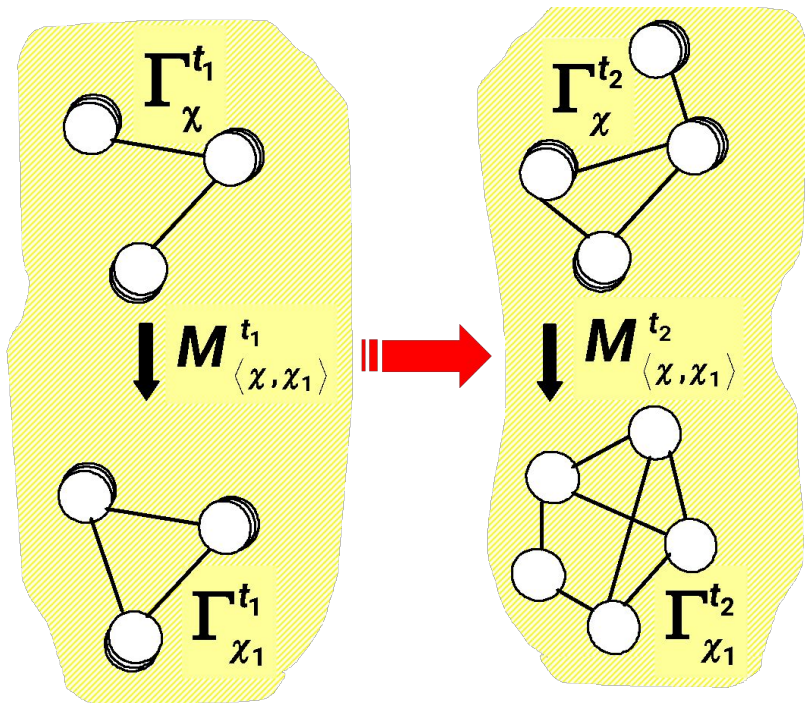
5. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой СТС

Пример теоретико-множественной модели структурной динамики группировки АПО:

$\Gamma_{\chi}^{t_1}$ - функциональная структура группировки АПО в момент времени " t_1 "
 $\Gamma_{\chi_1}^{t_1}$ - техническая структура группировки АПО в момент времени " t_1 "

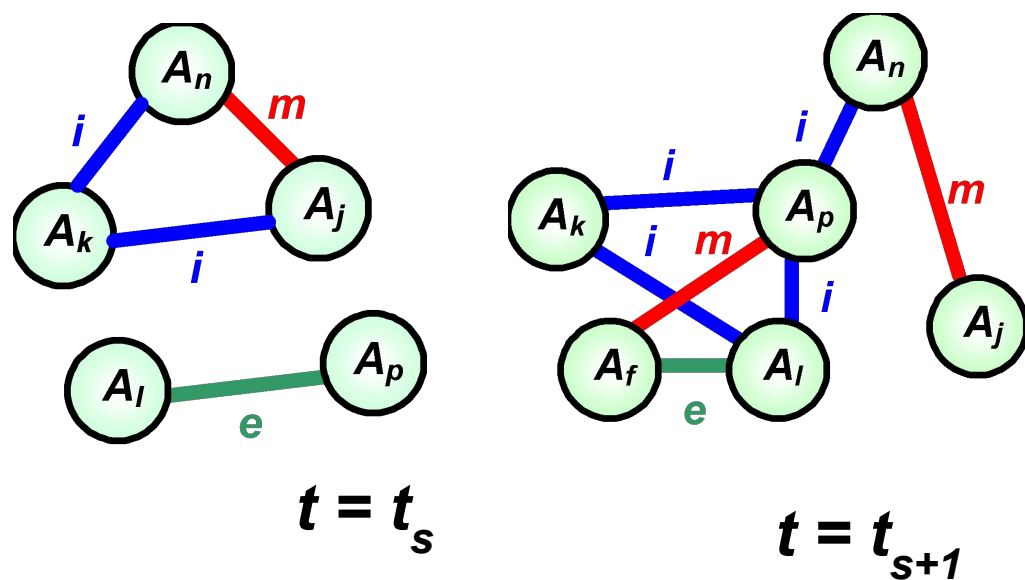
Динамические альтернативные мультиграфы $\mathbf{G}_{\chi}^{t_1}$, $\mathbf{G}_{\chi_1}^{t_1}$ и их отображения друг на друга описывают структурную динамику СТС

Рис. 5.6. Графическая и теоретико-множественная интерпретация структурной динамики СТС



5. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой СТС

Пример структурной динамики группировки АПО



A_n – Активный Подвижный Объект с номером “ n ”
 m – материальные потоки
 e – энергетические потоки
 i – информационные потоки

Рис. 5.7. Поточковая интерпретация структурной динамики СТС

5. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой СТС

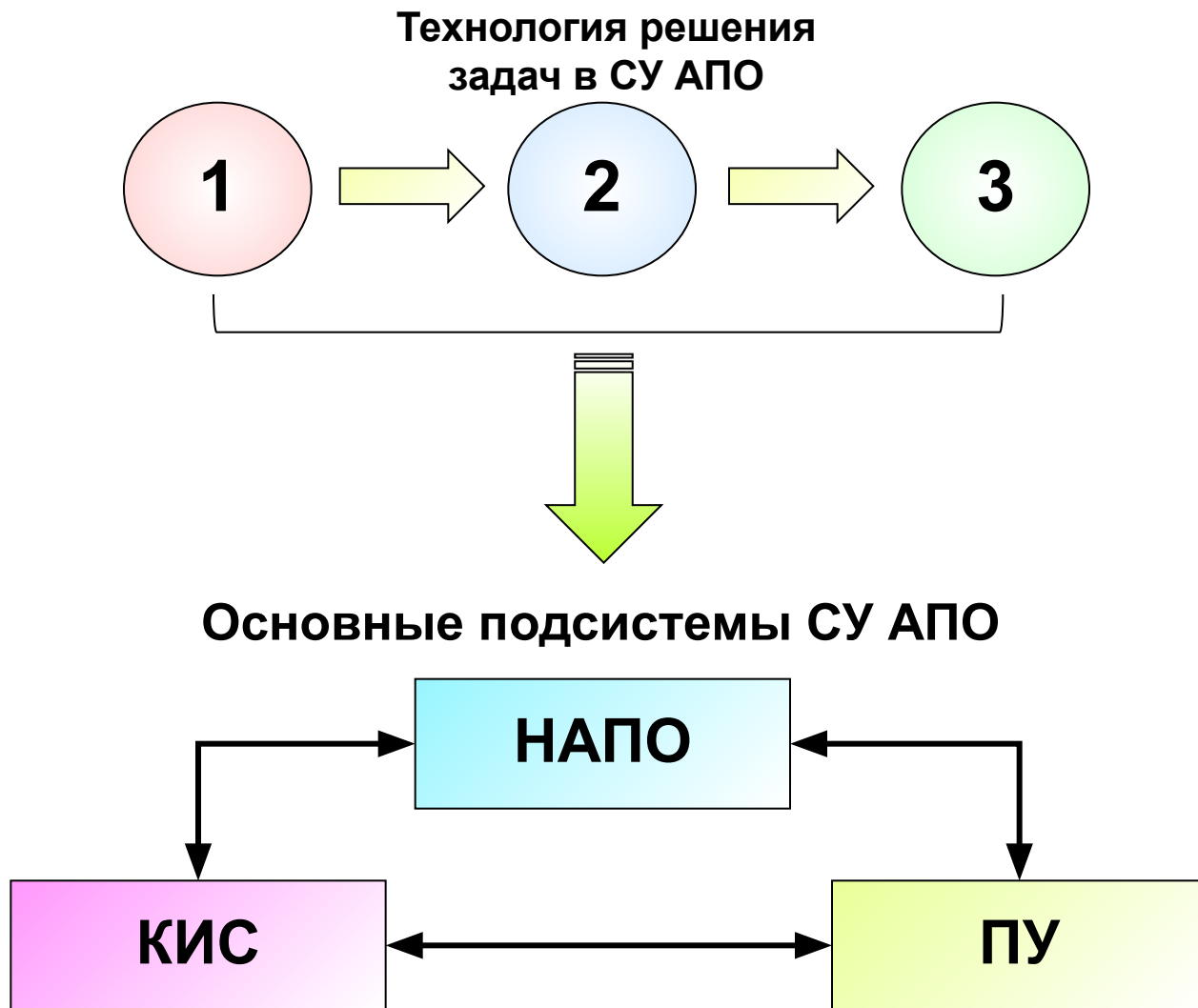
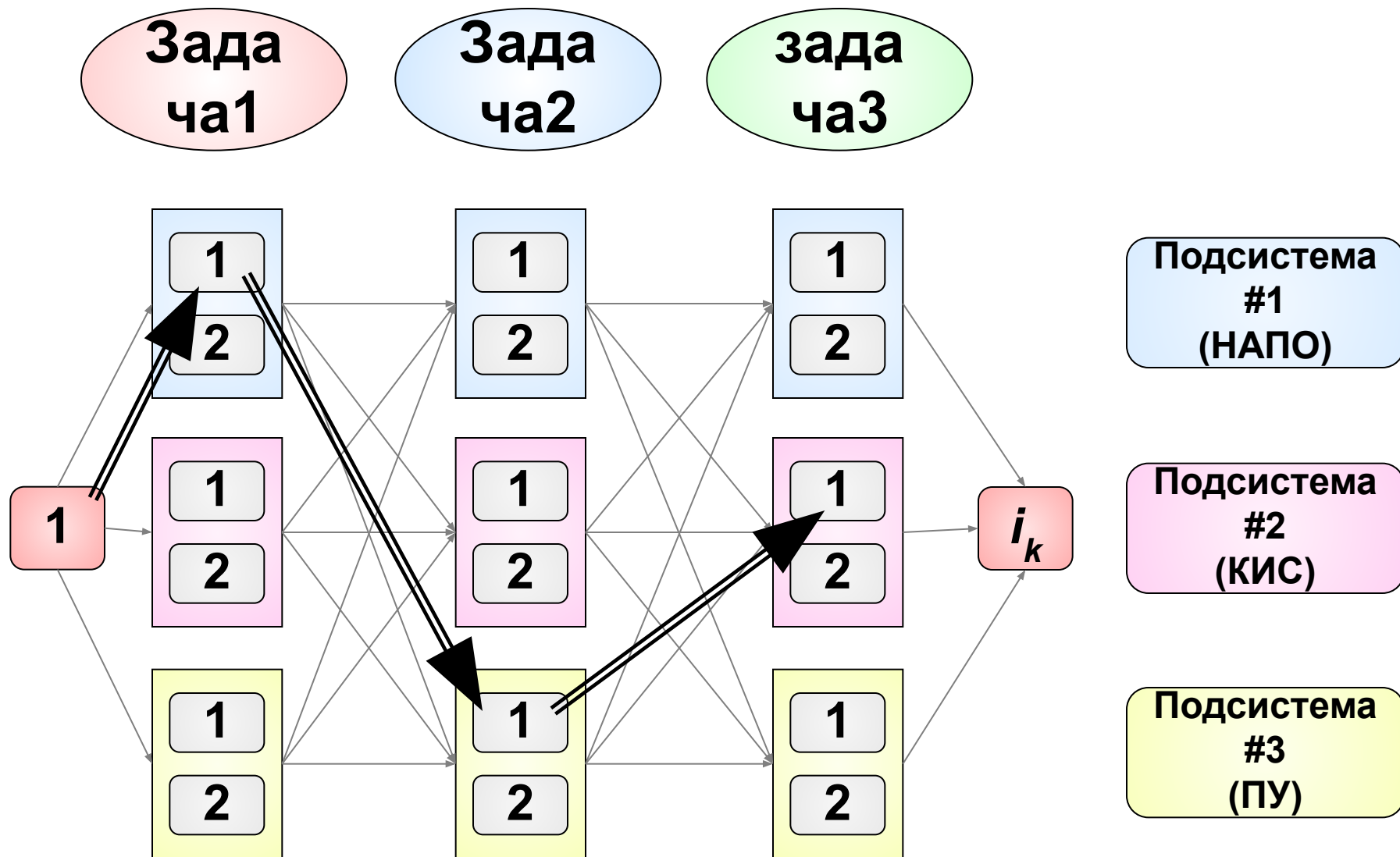


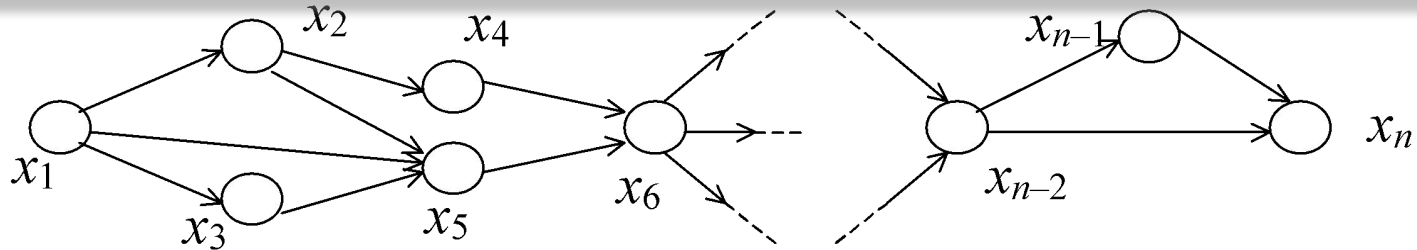
Рис. 5.8. Геометрическая интерпретация задачи распределения функций управления между подсистемами СУ АПО

5. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой СТС СТС



5. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой СТС

Динамическая интерпретация выполнения комплексов операции



1. Традиционный подход (статические PERT-модели)

$$x_i \Leftrightarrow T_i = \frac{Q_i}{v_i}$$

где:

x_i – состояние операции;

T_i – время выполнения операции;

Q_i – объем операции,

v_i – интенсивность выполнения операции

5. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой СТС СТС

- Зимин И.Н., Иванюков Ю.П., Лернер А.Я. (1971)

$$\frac{dx_i^{(o)}}{dt} = \dot{x}_i^{(o)} = u_i^{(o)} \gamma_+ (a_i^{(o)} - x_i^{(o)}) \left[\prod_{\alpha \in \Gamma_{i1}^-} \gamma_- (x_\alpha^{(o)} - a_\alpha^{(o)}) + \sum_{\beta \in \Gamma_{i2}^-} \gamma_- (x_\beta^{(o)} - a_\beta^{(o)}) \right]$$

$$x_i^{(o)}(t_0) = 0; x_i^{(o)}(t_f) = a_i^{(o)}; 0 \leq u_i^{(o)} \leq b_i^{(o)}; J = \sum_{i=1}^n (a_i^{(o)} - x_i^{(o)}(t_f))^2 + \int_{t_0}^{t_f} \varphi(u(\tau)) d\tau;$$

- Моисеев Н.Н. (1975)

$$\dot{x}_i^{(o)} = u_i^{(o)}; c_i = x_i^{(o)} \left[\prod_{\alpha \in \Gamma_{i1}^-} (a_\alpha^{(o)} - x_\alpha^{(o)}) + \sum_{\beta \in \Gamma_{i2}^-} (a_\beta^{(o)} - x_\beta^{(o)}) \right] = 0$$

$$x_i^{(o)}(t_0) = 0; x_i^{(o)}(t_f) = a_i^{(o)}; 0 \leq u_i^{(o)} \leq b_i^{(o)}; J_p = J + \int_{t_0}^{t_f} \sum_{i=1}^n \lambda_i c_i(\tau) d\tau;$$

5. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой СТС

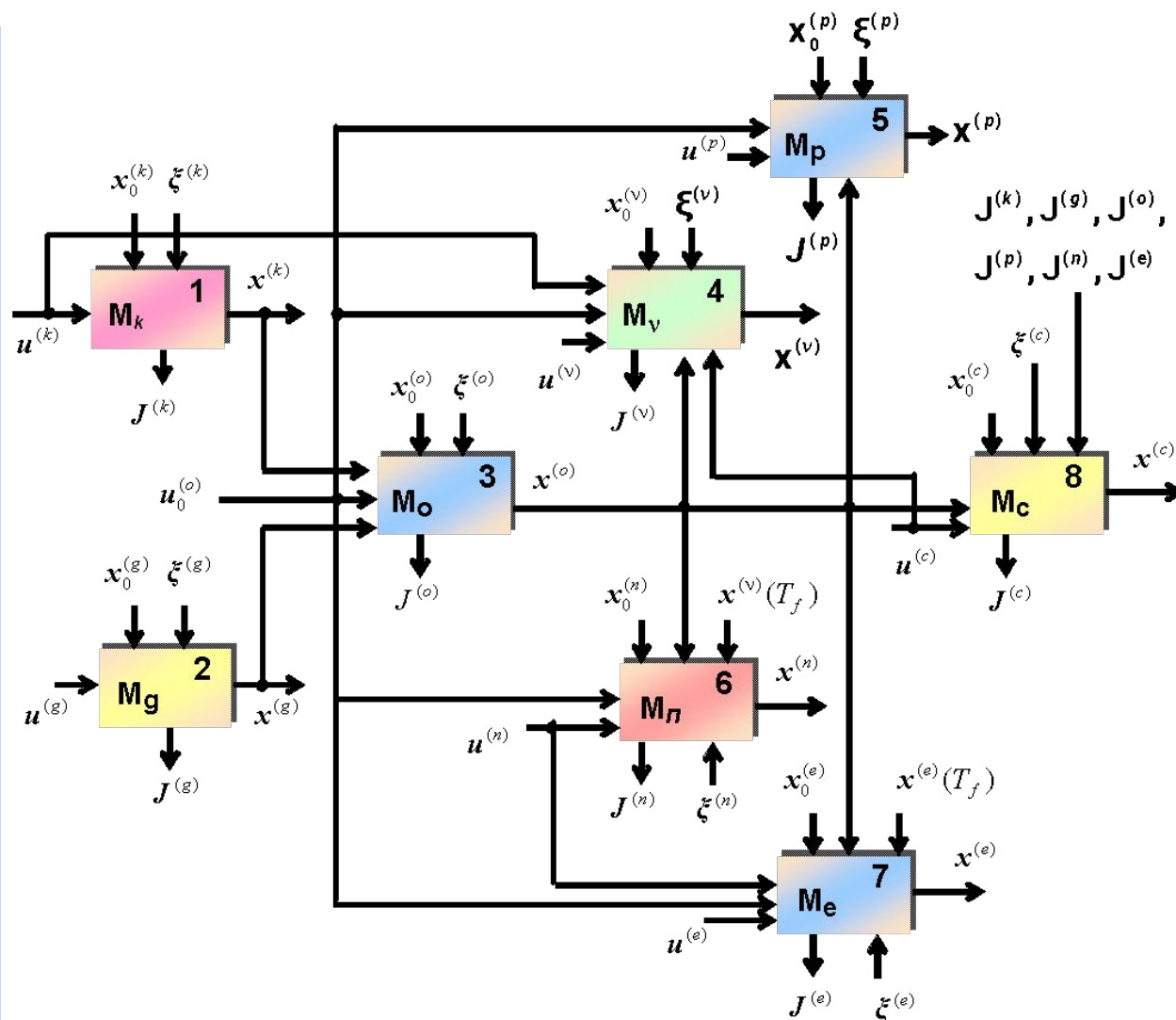
Предлагаемый подход

$$\mathbf{x}_i^{(o)} = \mathbf{u}_i^{(o)}; \mathbf{x}_i^{(n)} = \mathbf{u}_i^{(n)}; \mathbf{u}_i^{(o)} \left[\prod_{\alpha \in \Gamma_{i1}^-} (\mathbf{a}_\alpha^{(o)} - \mathbf{x}_\alpha^{(o)}) + \sum_{\beta \in \Gamma_{i2}^-} (\mathbf{a}_\beta^{(o)} - \mathbf{x}_\beta^{(o)}) \right] = \mathbf{0}$$

$$\mathbf{u}_i^{(o)}(t_0) \in \{0, 1\}; 0 \leq \mathbf{u}_i^{(n)} \leq b_i^{(o)} \mathbf{u}_i^{(o)}; \mathbf{x}_i^{(o)}(t_0) = \mathbf{0}; \mathbf{x}_i^{(o)}(t_f) = \mathbf{a}_i^{(o)};$$

$$J = \sum_{i=1}^n (\mathbf{a}_i^{(o)} - \mathbf{x}_i^{(o)}(t_f))^2 + \int_{t_0}^{t_f} \varphi(\mathbf{u}(\tau)) d\tau.$$

5. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой СТС



- M_g** – динамические модели управления движением СТС;
- M_k** – динамические модели управления каналами СТС;
- M_o** – динамические модели управления операциями в СТС;
- M_n** – динамические модели управления потоками СТС;
- M_p** – динамические модели управления ресурсами СТС ;
- M_e** – динамические модели управления параметрами операций в СТС;
- M_c** – динамические модели управления структурной динамикой СТС;
- M_n** – динамические модели управления вспомогательными операциями

Рис. 5.9 Обобщенная схема взаимодействия моделей управления СТС

5. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой СТС

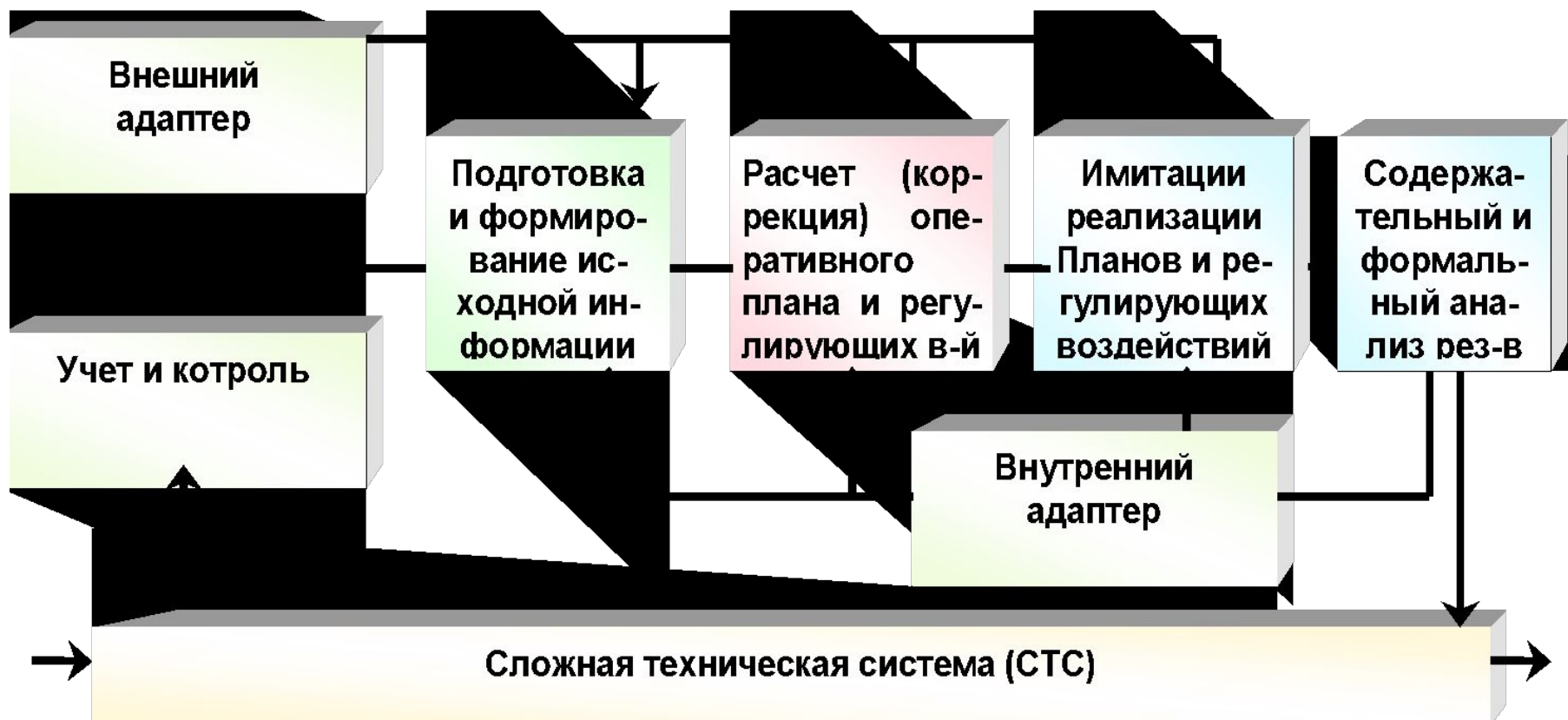


Рис.5.10. Обобщенная технология параметрической и структурной адаптации аналитико-имитационных моделей УСД СТС

5. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой СТС

$$J_{\Theta}(\overset{\forall}{x}(t), \overset{\forall}{u}(t), \overset{\forall}{\beta}, \overset{\forall}{\xi}(t), t) \rightarrow_{\overset{\forall}{u}(t) \in \Delta_{\Theta}} \text{extr} \quad (5.1)$$

$$\Delta_{\Theta} = \left\{ \overset{\forall}{u}(t) \mid \overset{\forall}{x}(t) = \overset{\forall}{\Phi}_{\Theta}(T_0, \overset{\forall}{x}(T_0), \overset{\forall}{x}(t), \overset{\forall}{u}(t), \overset{\forall}{\xi}(t), \overset{\forall}{\beta}_{\Theta}, t) \right\} \quad (5.2)$$

$$\overset{\forall}{y}(t) = \overset{\forall}{\Psi}_{\Theta}(\overset{\forall}{x}(t), \overset{\forall}{u}(t), \overset{\forall}{\xi}(t), \overset{\forall}{\beta}_{\Theta}, t) \quad (5.3)$$

$$\overset{\forall}{x}(T_0) \in X_0(\overset{\forall}{\beta}_{\Theta}), \quad \overset{\forall}{x}(T_f) \in X_f(\overset{\forall}{\beta}_{\Theta}) \quad (5.4)$$

$$\overset{\forall}{u}(t) = \|\overset{\forall}{u}_{pl}^T(t), \overset{\forall}{v}^T(\overset{\forall}{x}(t), t)\|^T; \quad \overset{\forall}{u}_{pl}(t) \in Q_{\Theta}(\overset{\forall}{x}(t), t); \quad \overset{\forall}{v}(t)(\overset{\forall}{x}(t), t) \in V_{\Theta}(\overset{\forall}{x}(t), t) \quad (5.5)$$

$$\overset{\forall}{\xi}(t) \in \Xi_{\Theta}(\overset{\forall}{x}(t), t); \quad \overset{\forall}{\beta}_{\Theta} \in \mathbf{B} \quad (5.6)$$

$$\overset{\forall}{x}(t) \in X(\overset{\forall}{\xi}(t), t) \quad (5.7)$$

$$\overset{\forall}{x}(t) = \|\overset{\forall}{x}^{(g)T}(t), \overset{\forall}{x}^{(o)T}(t), \overset{\forall}{x}^{(k)T}(t), \overset{\forall}{x}^{(p)T}(t), \overset{\forall}{x}^{(n)T}(t), \overset{\forall}{x}^{(e)T}(t), \overset{\forall}{x}^{(c)T}(t), \overset{\forall}{x}^{(v)T}(t)\|^T$$

$$\overset{\forall}{y}(t) = \|\overset{\forall}{y}^{(g)T}(t), \overset{\forall}{y}^{(o)T}(t), \overset{\forall}{y}^{(k)T}(t), \overset{\forall}{y}^{(p)T}(t), \overset{\forall}{y}^{(n)T}(t), \overset{\forall}{y}^{(e)T}(t), \overset{\forall}{y}^{(c)T}(t), \overset{\forall}{y}^{(v)T}(t)\|^T$$

$$\overset{\forall}{u}(t) = \|\overset{\forall}{u}^{(g)T}(t), \overset{\forall}{u}^{(o)T}(t), \overset{\forall}{u}^{(k)T}(t), \overset{\forall}{u}^{(p)T}(t), \overset{\forall}{u}^{(n)T}(t), \overset{\forall}{u}^{(e)T}(t), \overset{\forall}{u}^{(c)T}(t), \overset{\forall}{u}^{(v)T}(t)\|^T$$

$$\overset{\forall}{\xi}(t) = \|\overset{\forall}{\xi}^{(g)T}(t), \overset{\forall}{\xi}^{(o)T}(t), \overset{\forall}{\xi}^{(k)T}(t), \overset{\forall}{\xi}^{(p)T}(t), \overset{\forall}{\xi}^{(n)T}(t), \overset{\forall}{\xi}^{(e)T}(t), \overset{\forall}{\xi}^{(c)T}(t), \overset{\forall}{\xi}^{(v)T}(t)\|^T$$

5. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой СТС

$$\begin{aligned} \beta_{\Theta} &= \|\beta_{\Theta}^{(g)\top}, \beta_{\Theta}^{(o)\top}, \beta_{\Theta}^{(k)\top}, \beta_{\Theta}^{(p)\top}, \beta_{\Theta}^{(n)\top}, \beta_{\Theta}^{(e)\top}, \beta_{\Theta}^{(c)\top}, \beta_{\Theta}^{(v)\top}\|^\top \\ \beta_{\Theta} &= \|\beta_0^\top, w^\top\|^\top; \quad w = \|w^{(1)\top}, w^{(2)\top}, w^{(3)\top}\|^\top; \quad w^{(1)} = \|w^{(1,n)\top}, w^{(1,p)\top}\|^\top \\ w^{(2)} &= \|w^{(2,n)\top}, w^{(2,u)\top}\|^\top; \quad w^{(u)} = \|w^{(2,o)\top}, w^{(2,b)\top}, w^{(2,p)\top}\|^\top \end{aligned} \quad (5.8)$$

$$J_{\Theta}(x(t), u(t), \xi(t), \beta_{\Theta}, t) = \|J_{\Theta}^{(g)\top}, J_{\Theta}^{(o)\top}, J_{\Theta}^{(k)\top}, J_{\Theta}^{(p)\top}, J_{\Theta}^{(n)\top}, J_{\Theta}^{(e)\top}, J_{\Theta}^{(c)\top}, J_{\Theta}^{(v)\top}\|^\top \quad (5.9)$$

$$x(t_{\langle k \rangle}) = \Phi_{\Theta}(T_{\langle 0, k \rangle}, x(T_{\langle 0, k \rangle}), x(t_{\langle k \rangle} - 1), u(t_{\langle k \rangle}), \xi(t_{\langle k \rangle}), \beta_{\Theta}, t_{\langle k \rangle}) \quad (5.10)$$

$$y(t_{\langle k \rangle}) = \Psi_{\Theta}(x(t_{\langle k \rangle} - 1), u(t_{\langle k \rangle}), \xi(t_{\langle k \rangle}), \beta_{\Theta}, t_{\langle k \rangle}) \quad (5.11)$$

$$t_{\langle k \rangle} \in (T_{\langle 0, k \rangle}, T_{\langle f, k \rangle}] \quad , \quad k = 1, 2, \dots, K. \quad (5.12)$$

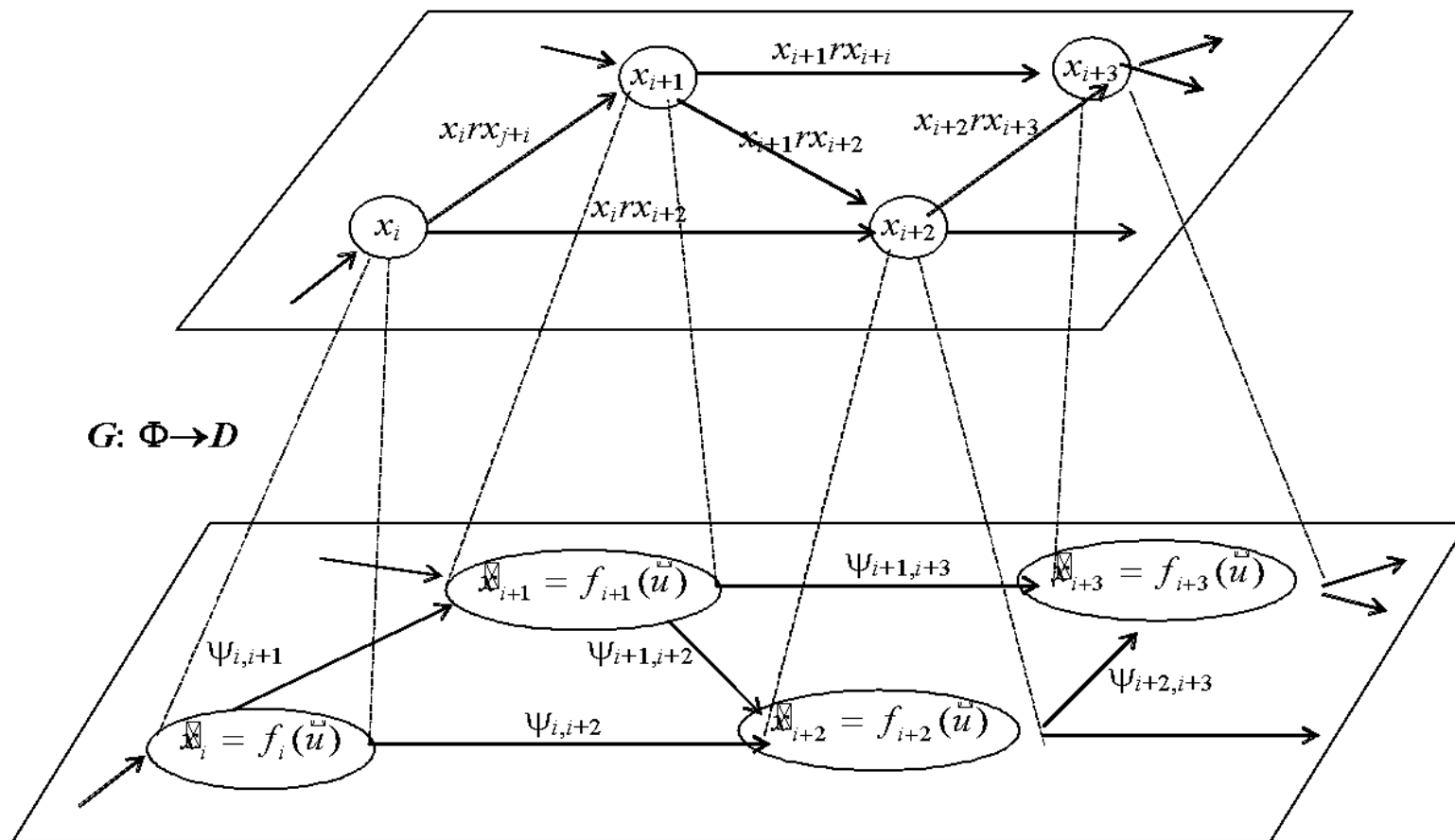
$$F_1(\{\hat{y}(t_{\langle k-1 \rangle})\}, \{y(t_{\langle k-1 \rangle})\}) \rightarrow \underset{w_{\langle k-1 \rangle}^{(u)} \in W_{\langle k-1 \rangle}^{(u)}}{\text{extr}} \quad (5.13)$$

$$F_2(J_{\langle k-1 \rangle}^{(ob)}(w_{\langle k-1 \rangle}^{(2,n)}, w_{\langle k-1 \rangle}^{(u)}), \Pi_{\langle k-1 \rangle}) \rightarrow \underset{w_{\langle k-1 \rangle}^{(2,n)} \in W_{\langle k-1 \rangle}^{(2,n)}}{\text{extr}} \quad (5.14)$$

$$F_3(J_{\langle \Theta, k \rangle}^{(ob)}(w_{\langle k \rangle}^{(1)}, w_{\langle k-1 \rangle}^{(2)}), \Pi_{\langle k \rangle}^{(u)}) \rightarrow \underset{w_{\langle k \rangle}^{(1)} \in W_{\langle k \rangle}^{(1)}}{\text{extr}} \quad (5.15)$$

5. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой СТС

Кат Φ (категория статических моделей комплексов опера-



Кат D (категория динамических моделей выполнения комплексов опера-

5. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой СТС

$$\Delta = \left\{ \mathbf{u} \mid \mathbb{X}_i = \sum_{j=1}^m u_{ij}; \sum_{i=1}^n u_{ij}(t) \leq 1; \sum_{j=1}^m u_{ij} \leq 1; u_{ij}(t) \in \{0,1\}; \right. \\ \left. t \in (t_0, t_f] = T; x_i(t_0) = 0; x_i(t_f) = a_i; \right.$$

$$\left. \sum_{j=1}^m u_{ij} \left[\sum_{\alpha \in \Gamma_{i1}^-} (a_\alpha - x_\alpha(t)) + \prod_{\beta \in \Gamma_{i2}^-} (a_\beta - x_\beta(t)) \right] = 0; i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m \right\}$$

$$L^{ux} = L_1^{ux} (L_1^x)^q, \quad q \geq n - 1$$

$$l_{ij}^x = \begin{cases} 1, & \text{если есть единичный путь из вершины } x_i \text{ в вершину } x_j; \\ 0, & \text{в противоположном случае.} \end{cases}$$

$$l_{ij}^u = \begin{cases} 1, & \text{если есть единичный путь из вершины } u_i \text{ в вершину } x_j; \\ 0, & \text{в противоположном случае.} \end{cases}$$

5. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой СТС

$$\langle x_i, x_j \rangle \in \text{Mor}_\Phi(X, X);$$

$$r = \langle X, X, R \rangle, \quad R \subseteq X \times X;$$

$$\bar{r} = \langle X, X, \bar{R} \rangle, \quad \bar{R} = R \cup R^2 \cup R^3;$$

5. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой СТС

$$x_i[l] = x_i[l-1] + \sum_{\beta \in \Gamma_i^-} k_\beta u_\beta[l] - \sum_{\alpha \in \Gamma_i^+} k_\alpha u_\alpha[l]$$

$$u_\alpha[l] \sum_{i \in I_\alpha} \prod_{\xi=k_i}^{s_i} (\xi - x_i[l-1]) = 0$$

$$\sum_{\alpha \in \Gamma_i^+} k_\alpha u_\alpha[l] \leq x_i[l-1]$$

$$u_\alpha[l] \sum_{v \in J_\alpha} x_v[l-1] = 0$$

$$F = \sum_{l=1}^N g_l(\mathbf{x}[l-1], \mathbf{u}[l])$$

6. Основные результаты решения задач анализа структурной динамики СТС (анализ целевых и информационно-технологических возможностей СТС)

Шаг 1. Аппроксимация областей (множеств) достижимости

a) $D_{(o,k)}$ – ограничено, замкнуто, выпукло;

b)
$$D_{(o,k)}^- \subseteq \tilde{D}_{(o,k)} \subseteq D_{(o,k)}^+,$$

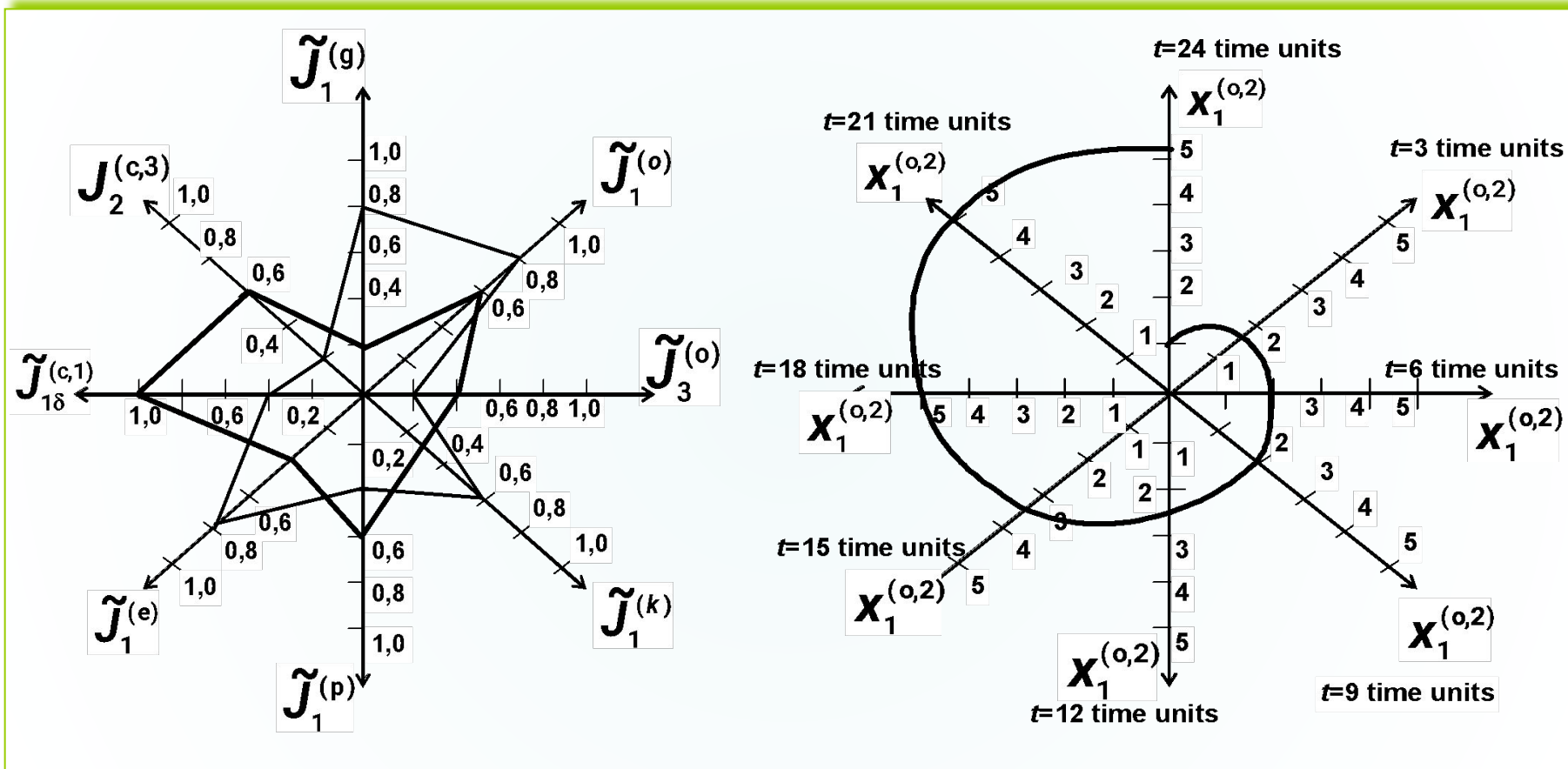
$$\tilde{D}_{(o,k)}^- = \left\{ \tilde{x} \mid 0 \leq \tilde{x}_i^{(o)} \leq \bar{\xi}_i \tilde{x}_i^{(o)}, 0 \leq \tilde{x}_{ij}^{(k)} \leq \bar{\chi}_i \varphi_{ij}^{(k)}, \bar{\xi}_i \geq 0, \sum_{i=1}^m \bar{\xi}_i = 1; 0 \leq \bar{\chi}_i \leq 1 \right\},$$

$$\tilde{D}_{(o,k)}^+ = \left\{ \tilde{x} \mid 0 \leq \tilde{x}_i^{(o)} \leq \tilde{x}_i^{(o)}, 0 \leq \tilde{x}_{ij}^{(k)} \leq \bar{\chi}_i \varphi_{ij}^{(k)}, 0 \leq \bar{\chi}_i \leq 1 \right\},$$

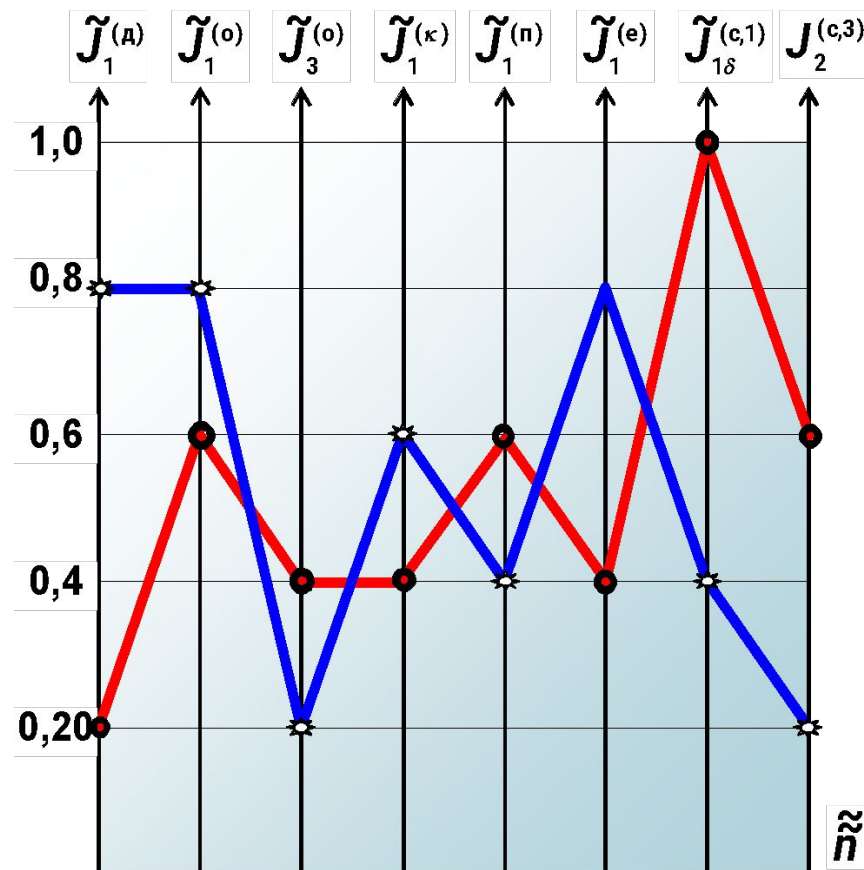
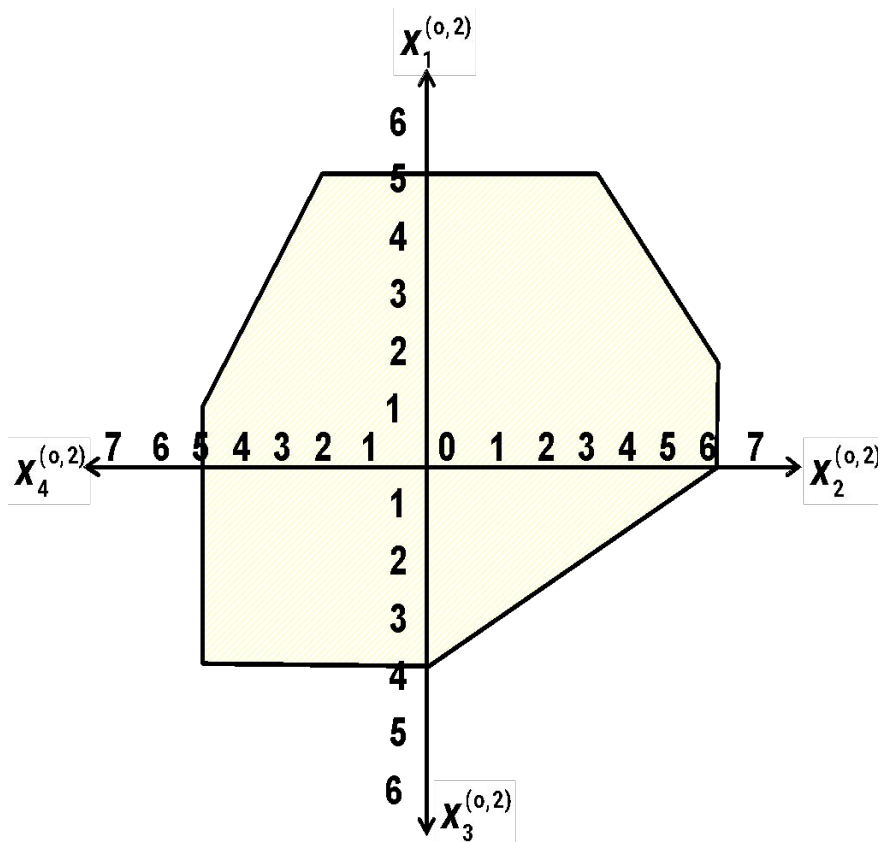
Шаг 2. Анализ структуры и характеристик областей достижимости, выполнимости краевых условий (программ управления СТС)

Шаг 3. Формирование допустимых программ управления СТС.

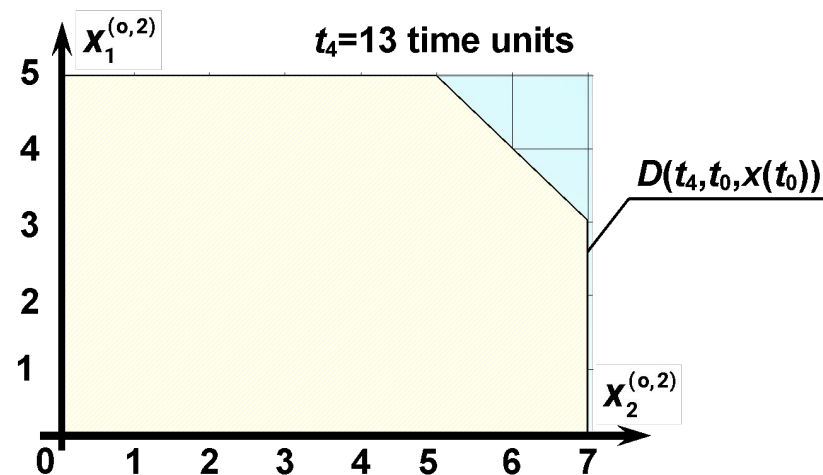
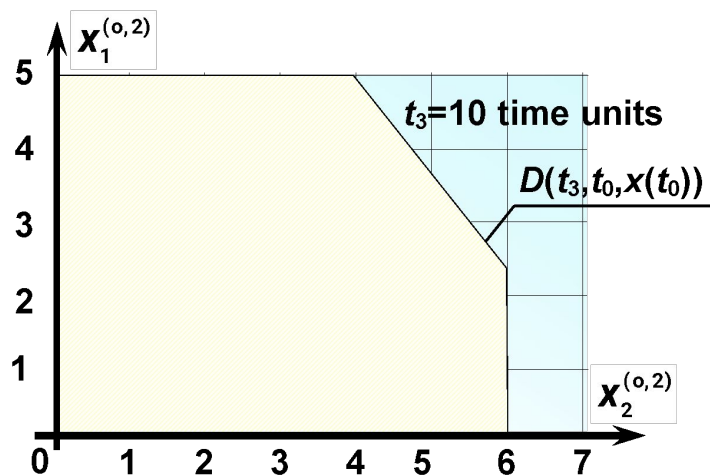
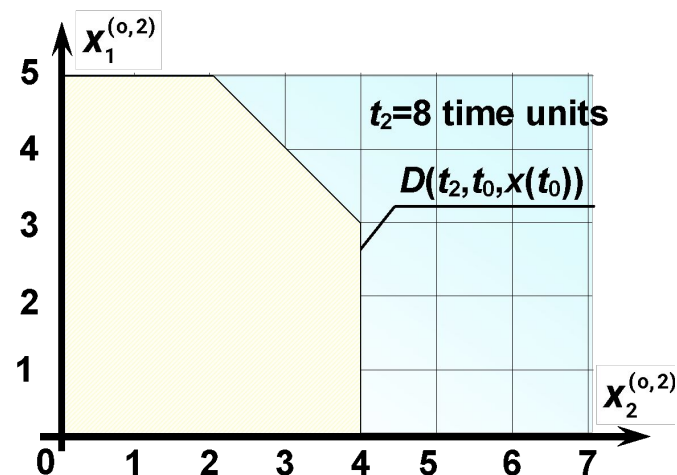
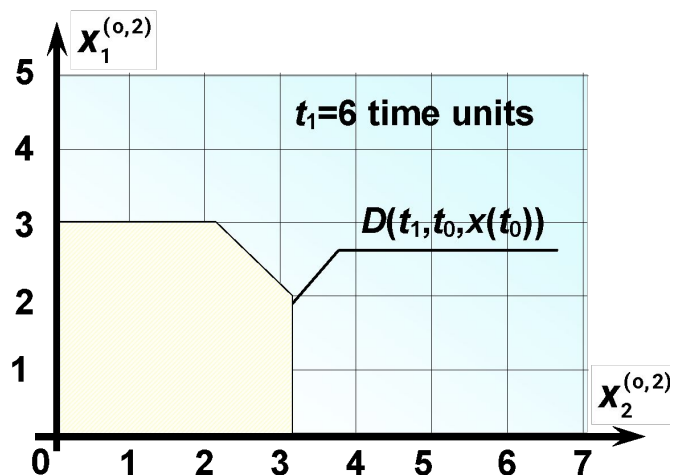
6. Основные результаты решения задач анализа структурной динамики СТС (анализ целевых и информационно-технологических возможностей СТС)



6. Основные результаты решения задач анализа структурной динамики СТС (анализ целевых и информационно-технологических возможностей СТС)



6. Основные результаты решения задач анализа структурной динамики СТС (анализ целевых и информационно-технологических возможностей СТС)



6. Основные результаты решения задач анализа структурной динамики СТС (анализ устойчивости функционирования СТС)

Критерии устойчивости программ УСД СТС:

- Детерминированные исходные данные (ИД)

$$\mathbf{x}_{ak}^* \leq \mathbf{x}_{\tilde{n}}^{(im)}(t_f) \leq \mathbf{x}_{bk}^*,$$

$$\left| \mathbf{x}_{\tilde{n}}^{(p)}(t_f) - \mathbf{x}_{\tilde{n}}^{(im)}(t_f) \right| \leq \varepsilon_1, \quad \mathbf{J}_{ai}^* \leq \mathbf{J}_{\tilde{n}i} \leq \mathbf{J}_{bi}^*, \quad j = 1, \dots, \tilde{J},$$

$$\left| \mathbf{J}_{\tilde{n}i}^{(p)} - \mathbf{J}_{\tilde{n}i}^{(im)} \right|_{t=t_f} < \varepsilon_2, \quad i = 1, \dots, n_{об}, \quad \tilde{n} = 1, \dots, H, \quad j = 1, \dots, \tilde{J}.$$

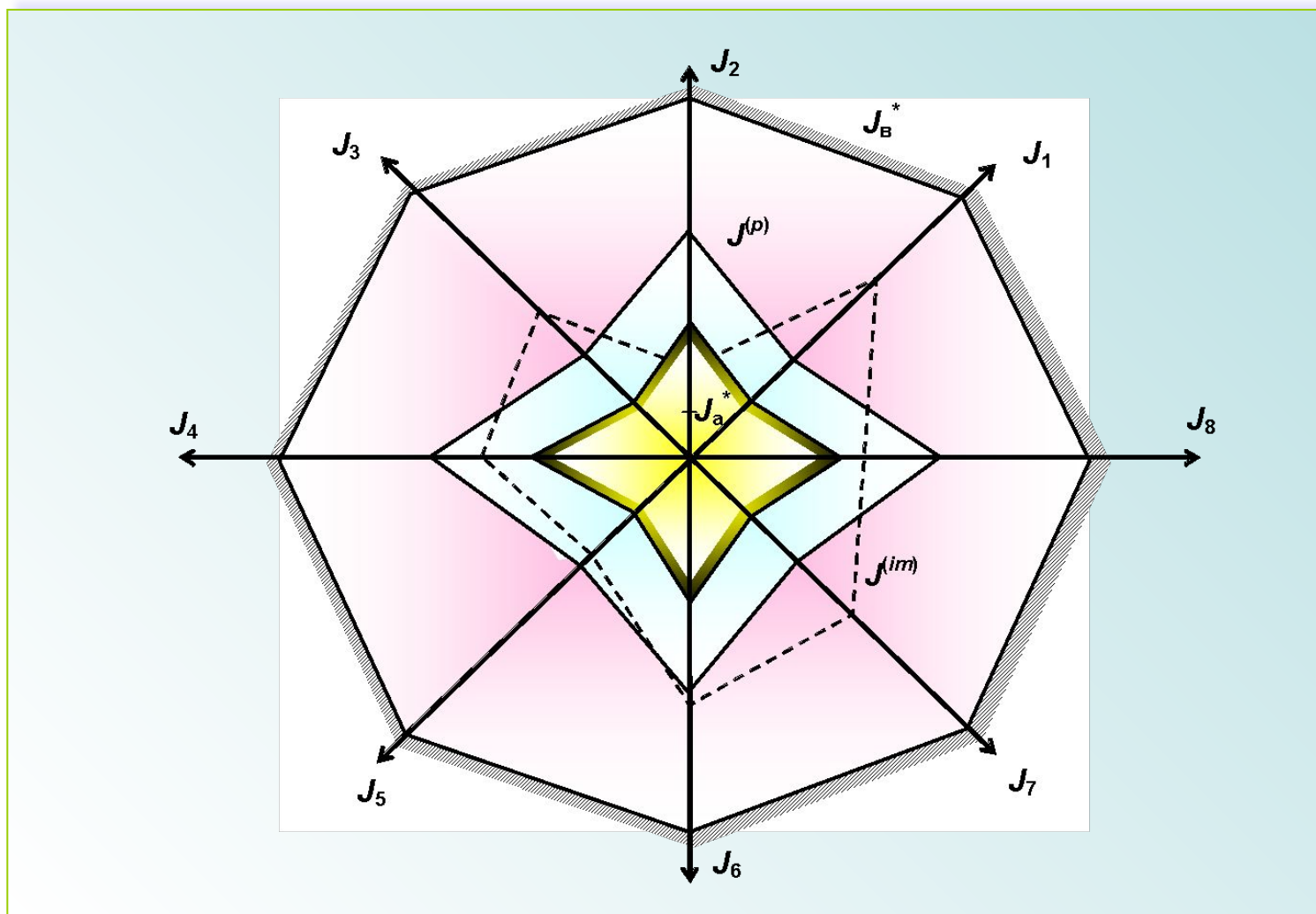
- Стохастические ИД $P\{z_n \geq z_\alpha\} = \alpha,$

$$M(\mathbf{J}_{0\tilde{n}}^{(p)} - \mathbf{J}_{l\tilde{n}}^{(im)}) \geq M_3.$$

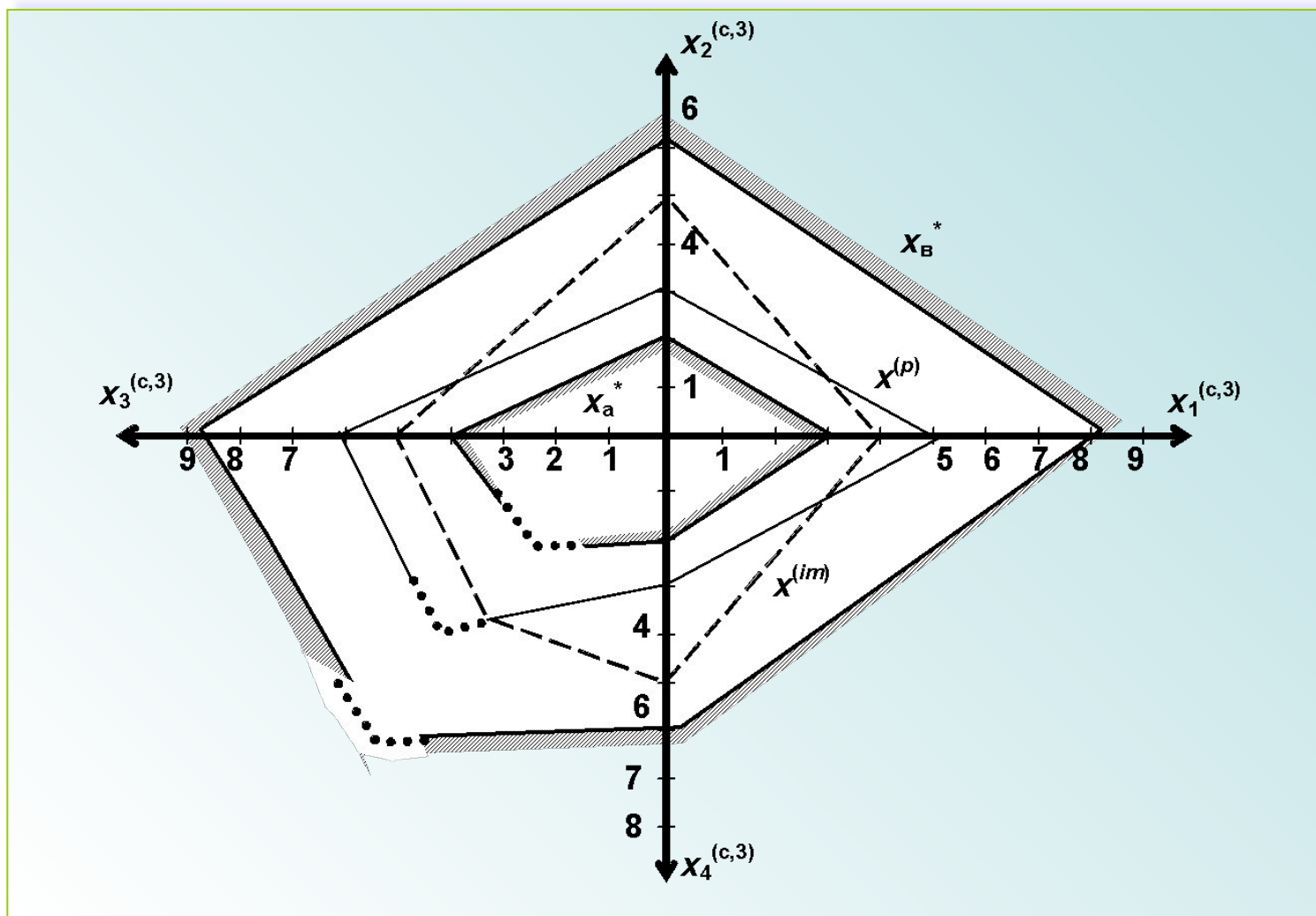
- Интервальные ИД

$$D^-(t, t_0, X_0) \subset P(t), \quad P(t) \subset D^+(t, t_0, X_0).$$

6. Основные результаты решения задач анализа структурной динамики СТС (анализ устойчивости функционирования СТС)



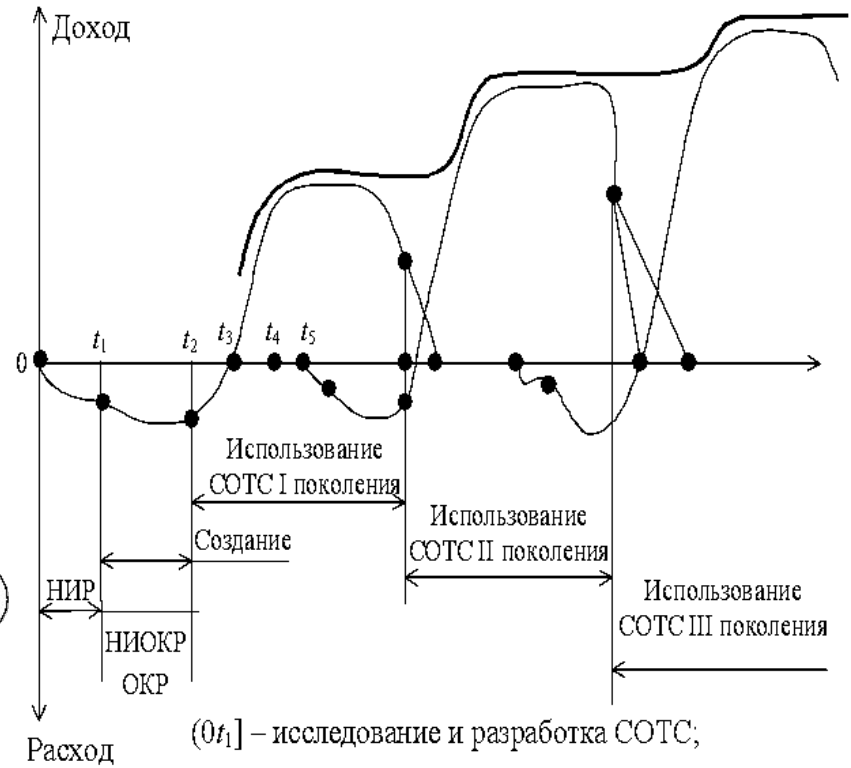
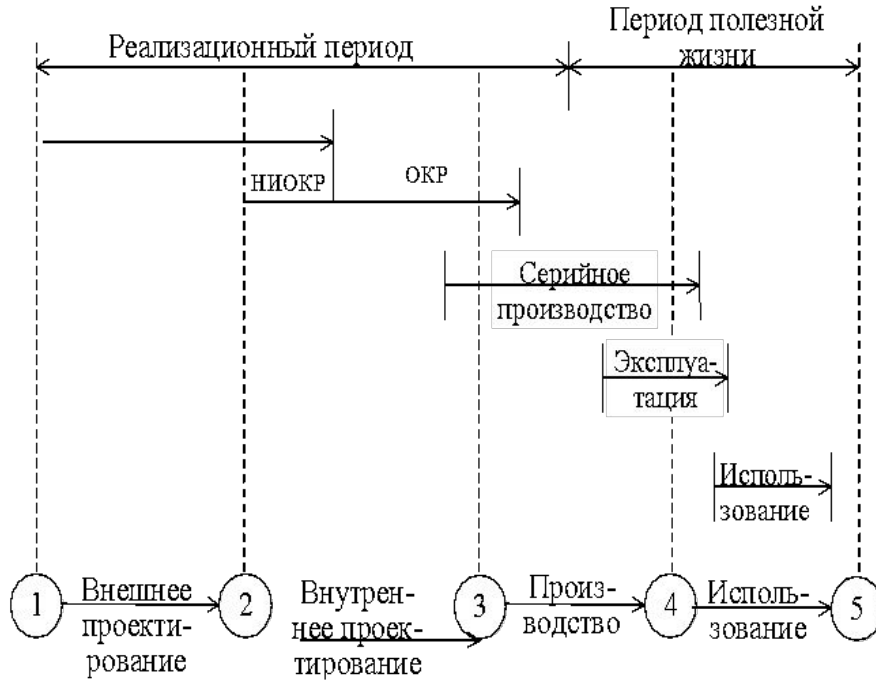
6. Основные результаты решения задач анализа структурной динамики СТС (анализ устойчивости функционирования СТС)



6. Основные результаты решения задач анализа структурной динамики СТС

Основные результаты	Пути практической реализации полученных результатов
Анализ существования решений в задачах УСД СТС	Проверка адекватности описания процессов управления СТС в моделях управления
Условия управляемости и достижимости в задачах УСД СТС	Проверка реализуемости технологий управления СТС на интервале управления, выявления основных факторов, влияющих на Ц и ИТВ СТС
Условия единственности оптимальных программ управления в задачах планирования применения СТС	Оценка возможности получения оптимальных планов применения СТС
Необходимые и достаточные условия оптимальности в задачах УСД СТС	Предварительный анализ структуры оптимальных программ управления СТС
Условия устойчивости и чувствительности в задачах УСД СТС	Оценивание устойчивости (чувствительности) УСД СТС к возмущающим воздействиям, к изменению состава и структуры исходных данных

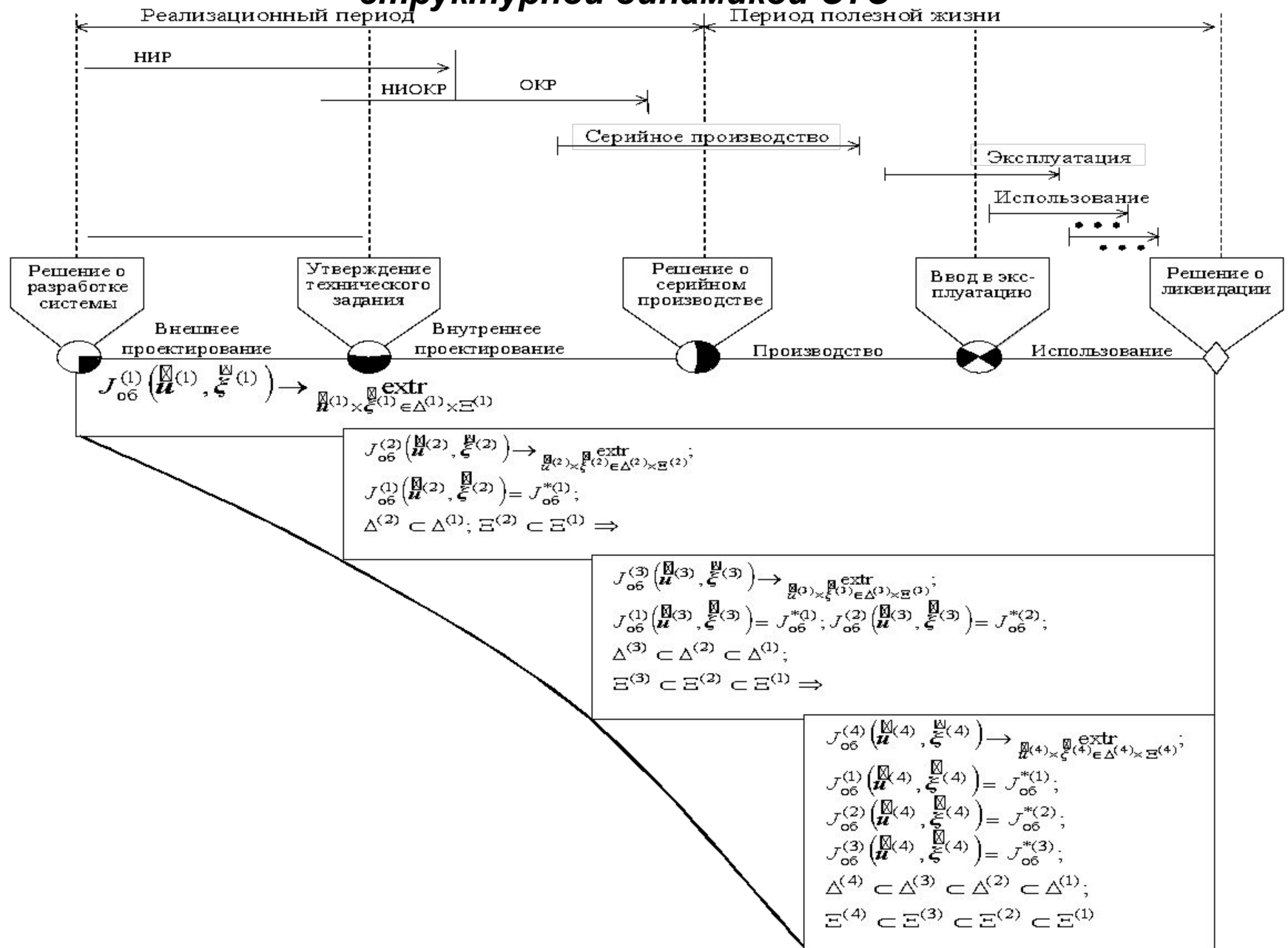
7. Обобщенная процедура решения задач выбора программ управления структурной динамикой СТС



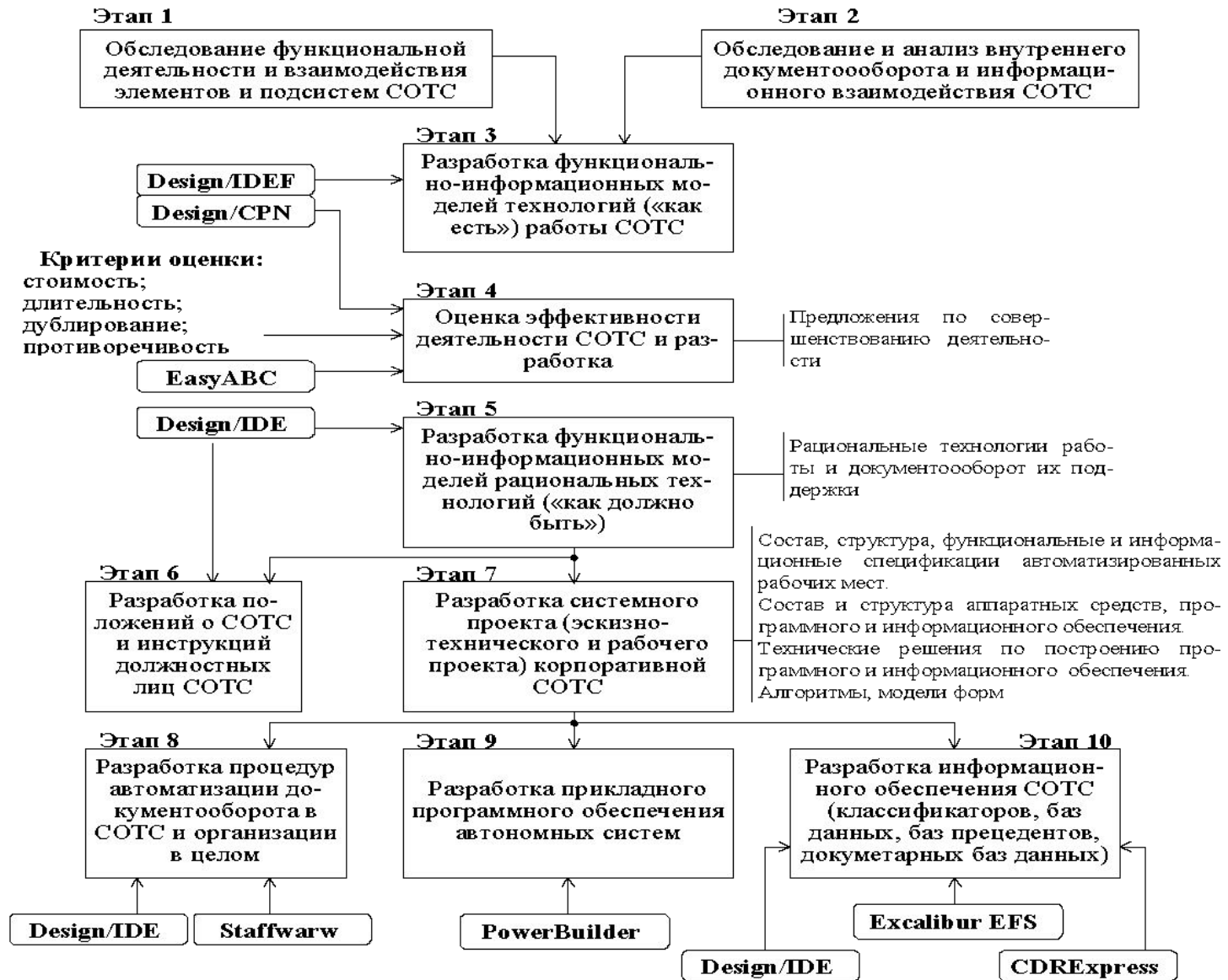
- ① – принятие решения о разработке СТС
- ② – утверждение технического задания СТС
- ③ – принятие решения о серийном производстве СТС
- ④ – ввод в эксплуатацию СТС
- ⑤ – решение о модернизации и развитии СТС

- $(0t_1]$ – исследование и разработка СТС;
- $(t_1t_2]$ – освоение и организация производства элементов и подсистем СТС
- $(t_2t_3]$ – время окупаемости СТС
- $(t_3t_4]$ – интервал времени, соответствующий сроку второй наработки на вложения

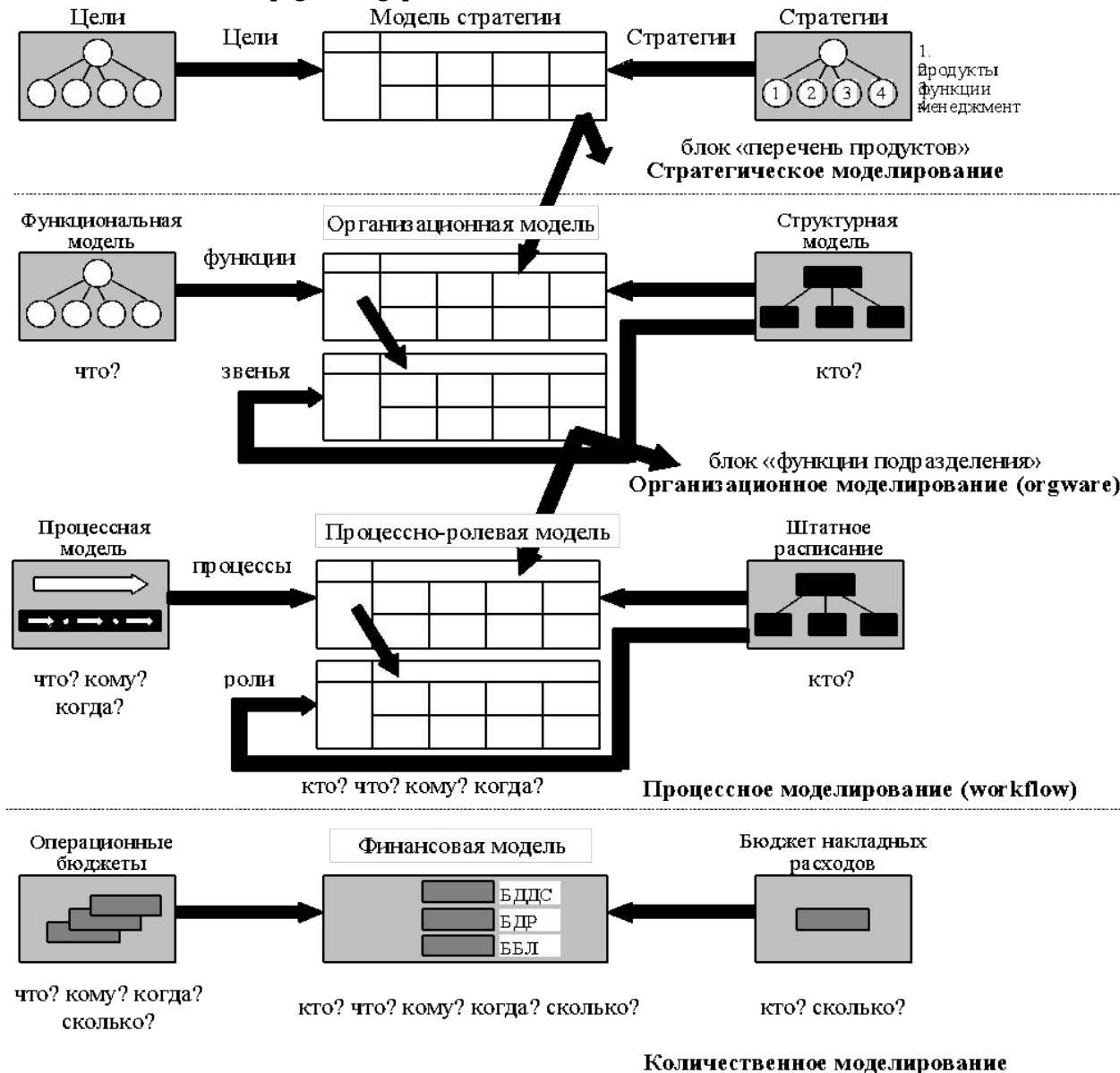
7. Обобщенная процедура решения задач выбора программ управления структурной динамикой СТС



7. Обобщенная процедура решения задач выбора программ управления структурной динамикой СТС



7. Обобщенная процедура решения задач выбора программ управления структурной динамикой СТС



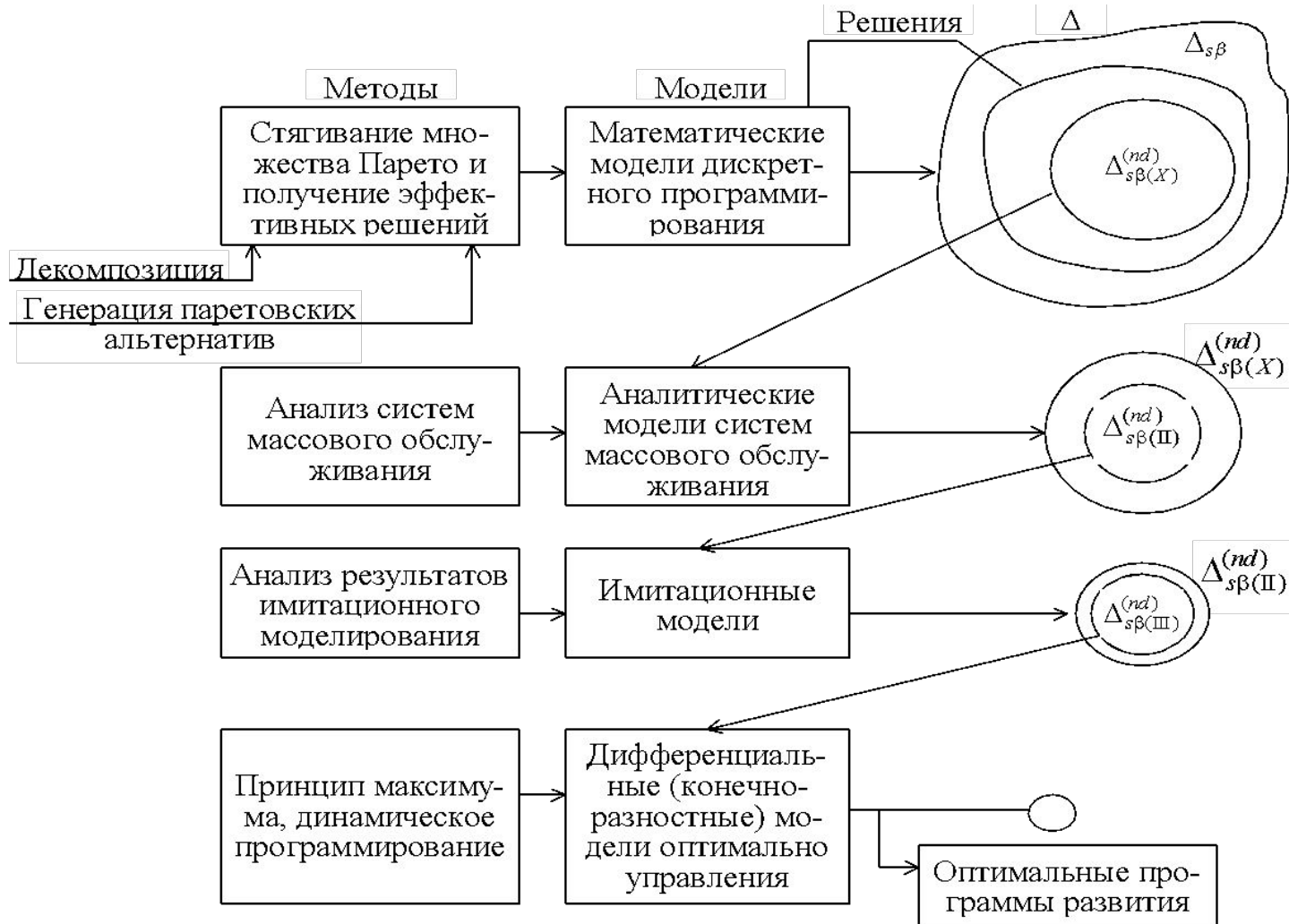
7. Обобщенная процедура решения задач выбора программ управления структурной динамикой СТС

Аспекты Модели	Основные аспекты синтеза структуры АСУ КСр				
	Конструктивное задание множества вариантов структур	Возможность оптимизации структуры	Учет динамики функционирования АСУ	Учет динамики процесса развития АСУ	Учет возмущающих воздействий
Математическая модель дискретного программирования	+	+	-	-	-
Аналитическая модель массового обслуживания	-	частично	частично	-	частично
Имитационная модель	-	частично	+	-	+
Дифференциальная (конечно-разностная) модель оптимального управления	-	частично	+	-	-

7. Обобщенная процедура решения задач выбора программ управления структурной динамикой СТС



7. Обобщенная процедура решения задач выбора программ управления структурной динамикой СТС



7. Обобщенная процедура решения задач выбора программ управления структурной динамикой СТС

Пример формализации и решения задач анализа и выбора технологий управления ОрС НКА

$$P_H = \frac{N_3}{N_1 N_2}$$

N_1 число наземных точек, в которых проверяется точность навигационных определений; N_2 общее число полных проверок (сеансов обсервации); N_3 общее число точек (во всех сеансах обсервации), в которых точность место определения наземного потребителя оказалась выше заданного порога;

P_H вероятность обеспечения наземных потребителей навигационной информацией

7. Обобщенная процедура решения задач выбора программ управления структурной динамикой СТС

Исходная постановка задачи

$$P_H = P_H(x(t), u_p(t), v(x(t), \xi(t)), \xi) \rightarrow \max_{u \in Q(x(t), t)}$$

Вариант декомпозиции задачи

Имитационная модель (1 уровень): $P_H = P_H(x(t, \lambda), u(t, \lambda), \xi) \rightarrow \max_{\lambda \in \Lambda}$

Аналитические модели (2 уровень) $\sum_{j=1}^7 \lambda_j J_j(x_j(t_f)) \rightarrow \max_{x_j(t_f) \in D_j(t_f, t_0, x_j(t_0))}$

$$\sum_{j=1}^7 \lambda_j = 1; \lambda_j \geq 0; x_1(t_f) = \|x^{(o)\top}(t_f), x^{(k)\top}(t_f)\|^T,$$
$$x_2(t_f) = \|x^{(o)\top}(t_f), x^{(p)\top}(t_f)\|^T, \dots, x_7(t_f) = \|x^{(o)\top}(t_f), x^{(c)\top}(t_f)\|^T.$$

7. Обобщенная процедура решения задач выбора программ управления структурной динамикой СТС

- Обобщенная процедура решения задач УСД СТС должна включать

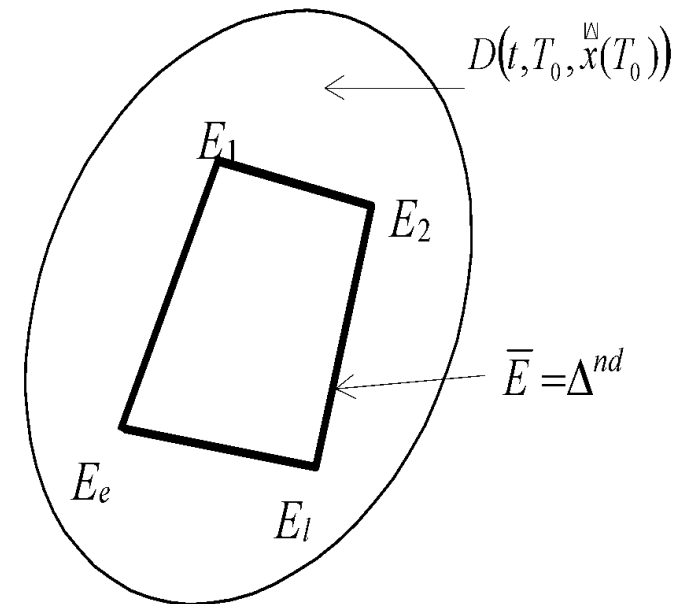
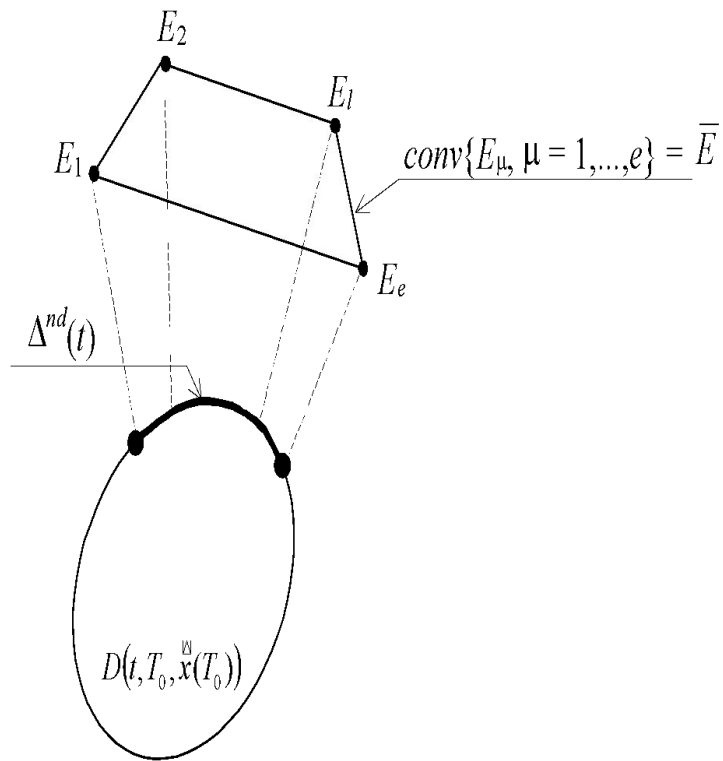
следующие основные фазы:

- На первой фазе должно осуществляться формирование (генерирование) допустимых вариантов многоструктурных макросостояний СТС или, по-другому, структурно-функциональный синтез нового облика СТС, соответствующего складывающейся (прогнозируемой) обстановке.
- На второй фазе проводится выбор конкретного варианта многоструктурного макросостояния СТС с одновременным синтезом (построением) адаптивных планов (программ) управления переходом СТС из текущего в требуемое (выбранное) макросостояние. При этом рассматриваемые планы должны обеспечивать такое эволюционное развитие СТС, при котором наряду с реализацией программ перехода из соответствующих макросостояний предусматривается одновременно и реализация программ устойчивого управления СТС в промежуточных многоструктурных макросостояниях.

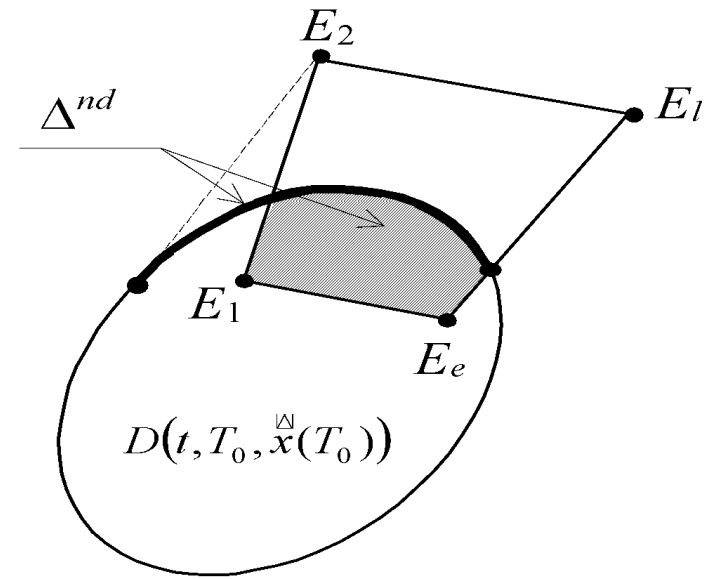
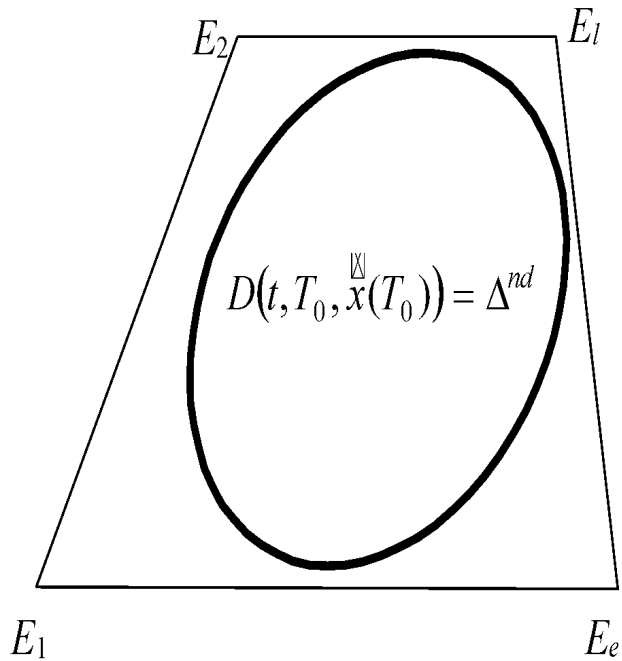
7. Обобщенная процедура решения задач выбора программ управления структурной динамикой СТС

- Шаг 1. Формирование, анализ и интерпретация исходных данных, используемых при генерировании (синтезе) многоструктурных макросостояний СТС, построение или коррекция описания моделей, используемых при структурно-функциональном синтезе облика СТС.
- Шаг 2. Планирование процесса решения задачи генерирования (синтеза) многоструктурных макросостояний СТС. Определение затрат времени и других ресурсов, необходимых для решения рассматриваемой задачи.
- Шаг 3. Построение и аппроксимация множества достижимости (МД) динамической системы, с помощью которого неявно задаются варианты облика СТС (варианты многоструктурных макросостояний СТС).
- Шаг 4. Ортогональное проектирование на МД множества, с помощью которого задаются требования, предъявляемые к новому облику СТС.
- Шаг 5. Формирование и интерпретация выходных результатов, представление их в удобном для последующего использования виде (например, для разработки адаптивных планов развития СТС и соответствующих регулирующих воздействий, обеспечивающих реализацию данных планов с требуемой степенью устойчивости).

7. Обобщенная процедура решения задач выбора программ управления структурной динамикой СТС



7. Обобщенная процедура решения задач выбора программ управления структурной динамикой СТС



7. Обобщенная процедура решения задач выбора программ управления структурной динамикой СТС

- Шаг 1. В интерактивном режиме осуществляется автоматизированная подготовка, контроль, анализ и ввод всей исходной информации, необходимой для решения задачи управления структурной динамикой СТС.
- Шаг 2. Планирование проведения комплексного моделирования процессов адаптивного управления функционированием и развитием СТС в текущей и прогнозируемой обстановке, планирование проведения вычислительных экспериментов в ИС, определение состава и структуры моделей, методов и алгоритмов решения частных задач моделирования, расчёт времени, необходимого для решения указанных задач.
- Шаг 3. Генерирование, на основе проведения комплексного моделирования, допустимых вариантов функционирования СТС в исходном, промежуточных и требуемых многоструктурных макросостояниях, вывод результатов моделирования ЛПР, предварительный интерактивный структурно-функциональный анализ указанных результатов моделирования; формирование классов эквивалентных многоструктурных макросостояний СТС,

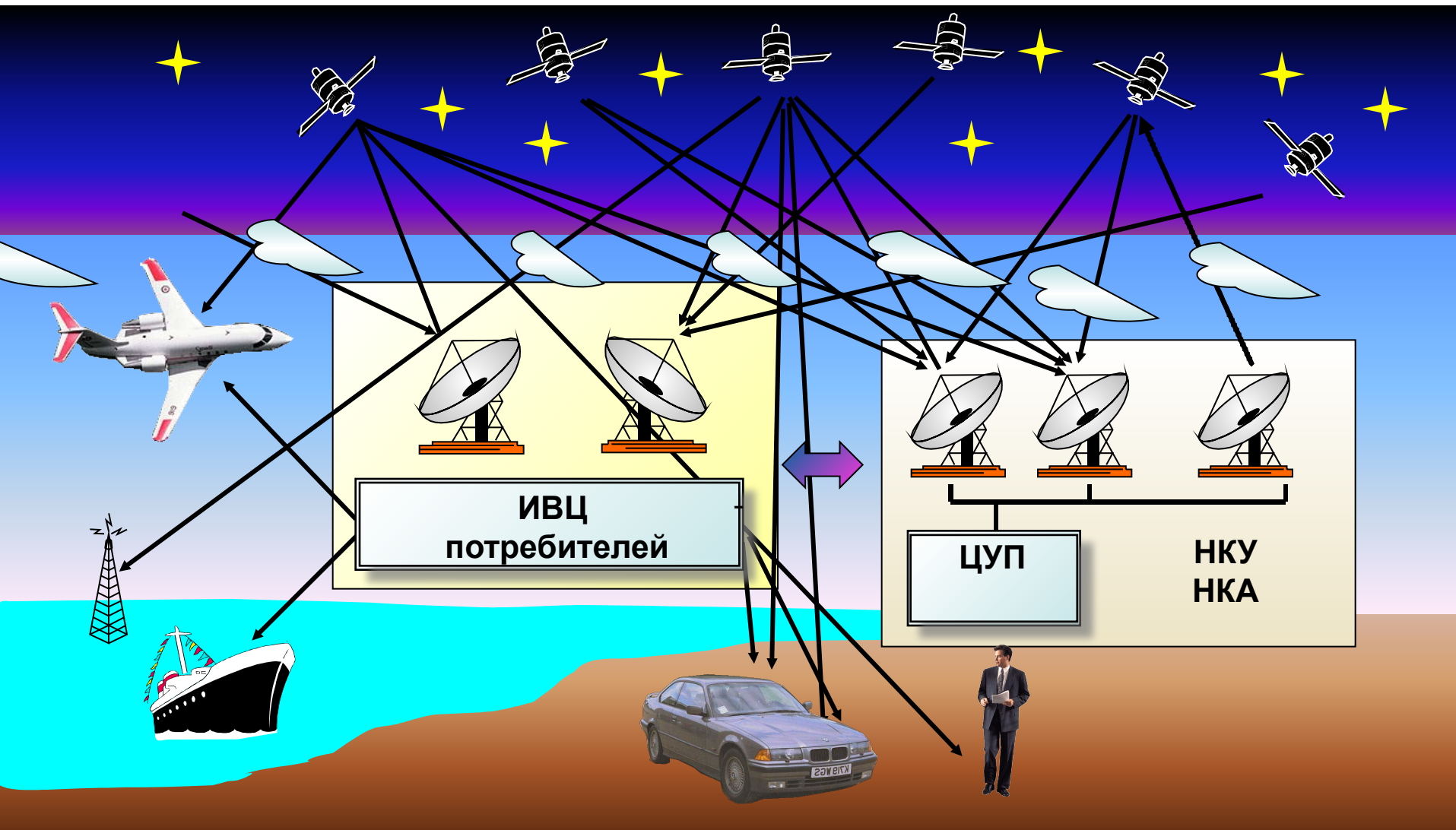
7. Обобщенная процедура решения задач выбора программ управления структурной динамикой СТС

- **Шаг 4.** Автоматизированный ввод допустимых вариантов функционирования СТС, проверка корректности заданной системы ограничений, окончательный выбор необходимого уровня агрегирования при описании моделей УСД СТС, вычислительной схемы и плана вычислительных экспериментов по поиску оптимальных программ УСД СТС.
- **Шаг 5.** Поиск оптимальных программ управления структурной динамикой СТС, при которых обеспечивался переход из заданного в синтезируемое многоструктурное макросостояние СТС, устойчивое управление функционированием СТС в промежуточных многоструктурных макросостояниях.
- **Шаг 6.** Имитация условий реализации оптимального плана управления переходом СТС из текущего в требуемое (выбранное) макросостояние при наличии возмущающих воздействий и с учётом различных вариантов их компенсации на основе методов и алгоритмов оперативного управления.

7. Обобщенная процедура решения задач выбора программ управления структурной динамикой СТС

- Шаг 7. Структурная и параметрическая адаптация плана, СПМО и ИО ИС к возможным (прогнозируемым на имитационных моделях) состояниям ОУ, УП, внешней среды. В ходе указанной адаптации, кроме того, вводится необходимый уровень структурной избыточности СТС, обеспечивающий на этапе реализации плана компенсацию не предусмотренных в плане возмущающих воздействий.
- После проведения требуемого числа вычислительных экспериментов осуществляется оценивание устойчивости сформированного адаптивного плана УСД СТС.
- Шаг 8. Вывод полученных результатов комплексного адаптивного планирования применения СТС, их интерпретация и коррекция ЛПР.

8. Обобщенная организационно-техническая структура наземного комплекса управления (НКУ) навигационными КА (НКА)



9. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой НКС

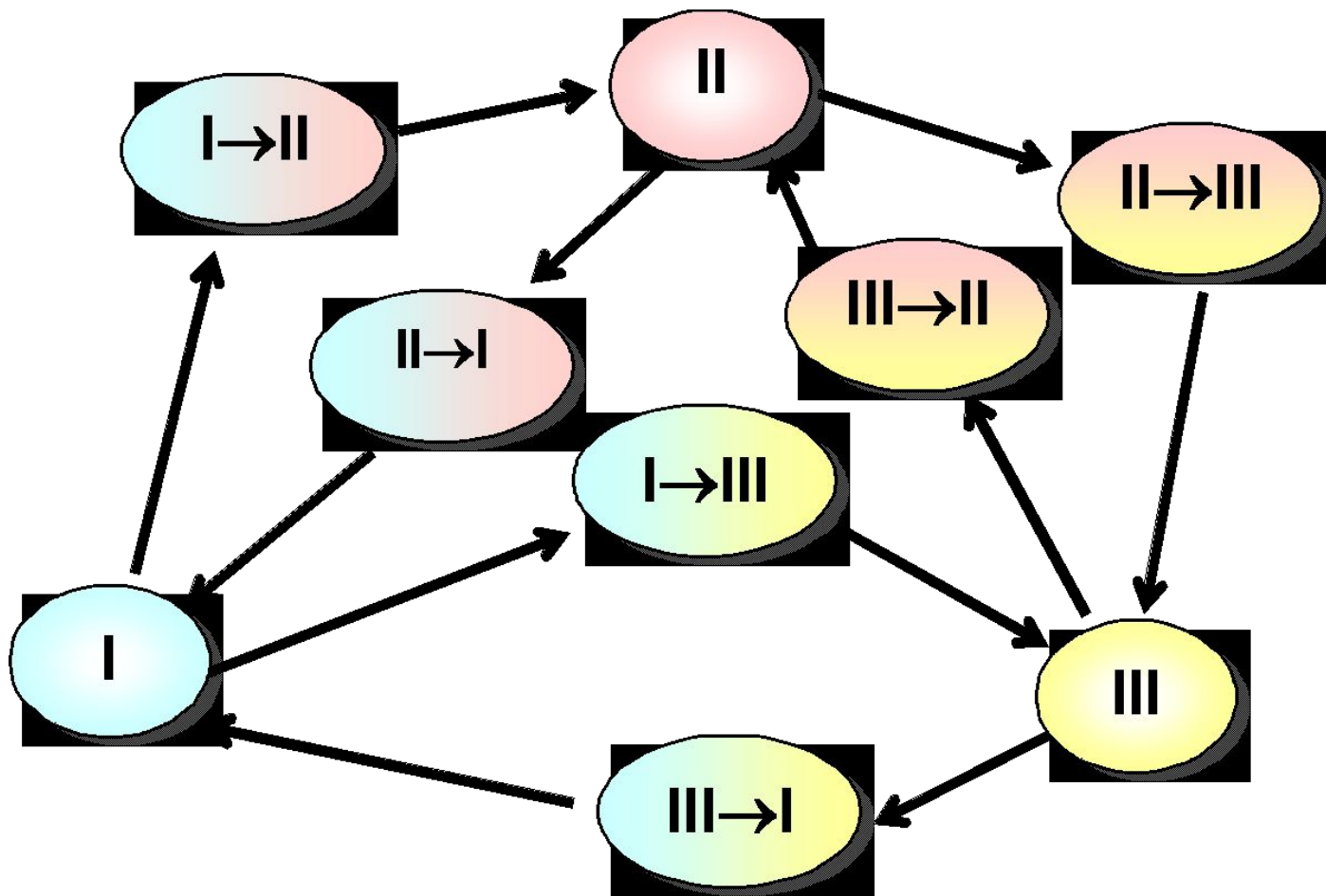


Рис. 12.1. Пример агрегированной диаграммы макросостояний Орг НКС.

9. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой НКС

Состав обобщенных исходных данных:

- Варианты топологических структур навигационной космической системы (НКС);**
- Варианты технических структур НКС ;**
- Варианты функциональных структур (технологий взаимодействия НКА с НКУ);**
- Варианты диаграмм многоструктурной динамики основных элементов и подсистем НКС;**
- Система показателей качества функционирования НКС.**

9. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой НКС

Обобщенные этапы решения задачи:

- 1. Расчет и проверка выполнения основных пространственно-временных ограничений;**
- 2. Расчет эвристических программ УСД НКС;**
- 3. Расчет оптимальных программ УСД НКС;**
- 4. Имитация условий реализации программ УСД НКС;**
- 5. Расчет и оптимизация показателей эффективности УСД НКС.**

9. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой НКС

The screenshot shows a software window titled "Structure Dynamic Control" with a menu bar containing "File", "Data for planning", "Planning", "Macro states", "Window", and "Help". Below the menu bar is a sub-window titled "Basic parametrs input". The main area contains several input fields for configuring simulation parameters:

number of served object:	18	Activitties date:	11/30/2002
number of interaction stations:	3	Starting time:	00:10:00
number of information processing stations:	1	Completion time:	05:30:00
number of operations:	6	Time quantization of control period (min):	3
		Time quantization increment (min):	1
Koef_nev	1.0000	Proc_ost	10
Koef_rav	0.0000	Proc_izm	10

At the bottom right of the dialog, there are two icons: a printer and a folder. Below the icons is a button labeled "NUM".

9. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой НКС

Operations Planning Routine

File Data for planning Planning Results of planning Data For modelling Modelling Results of modelling Window Help

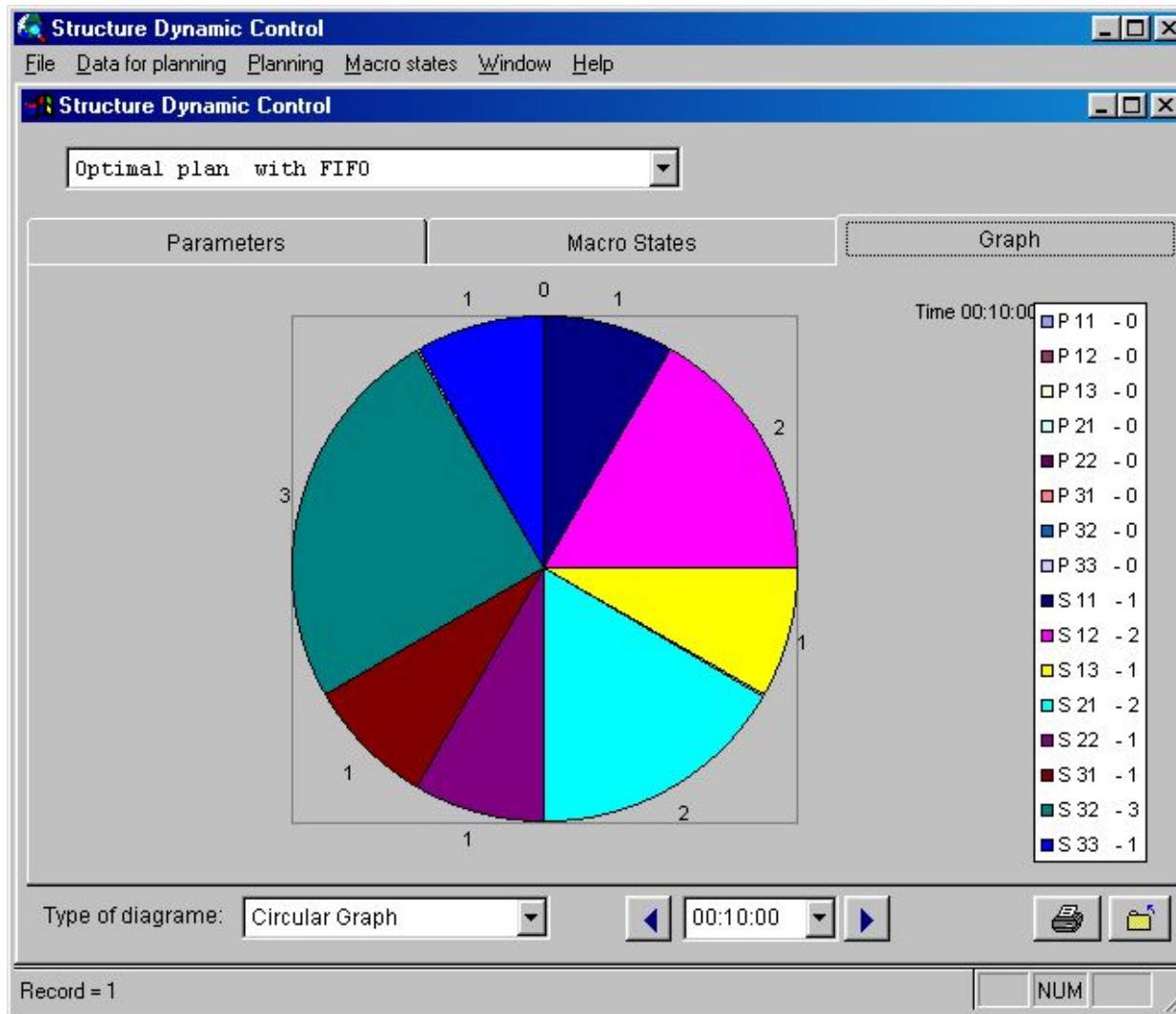
Initial conditions Special Characteristics

261

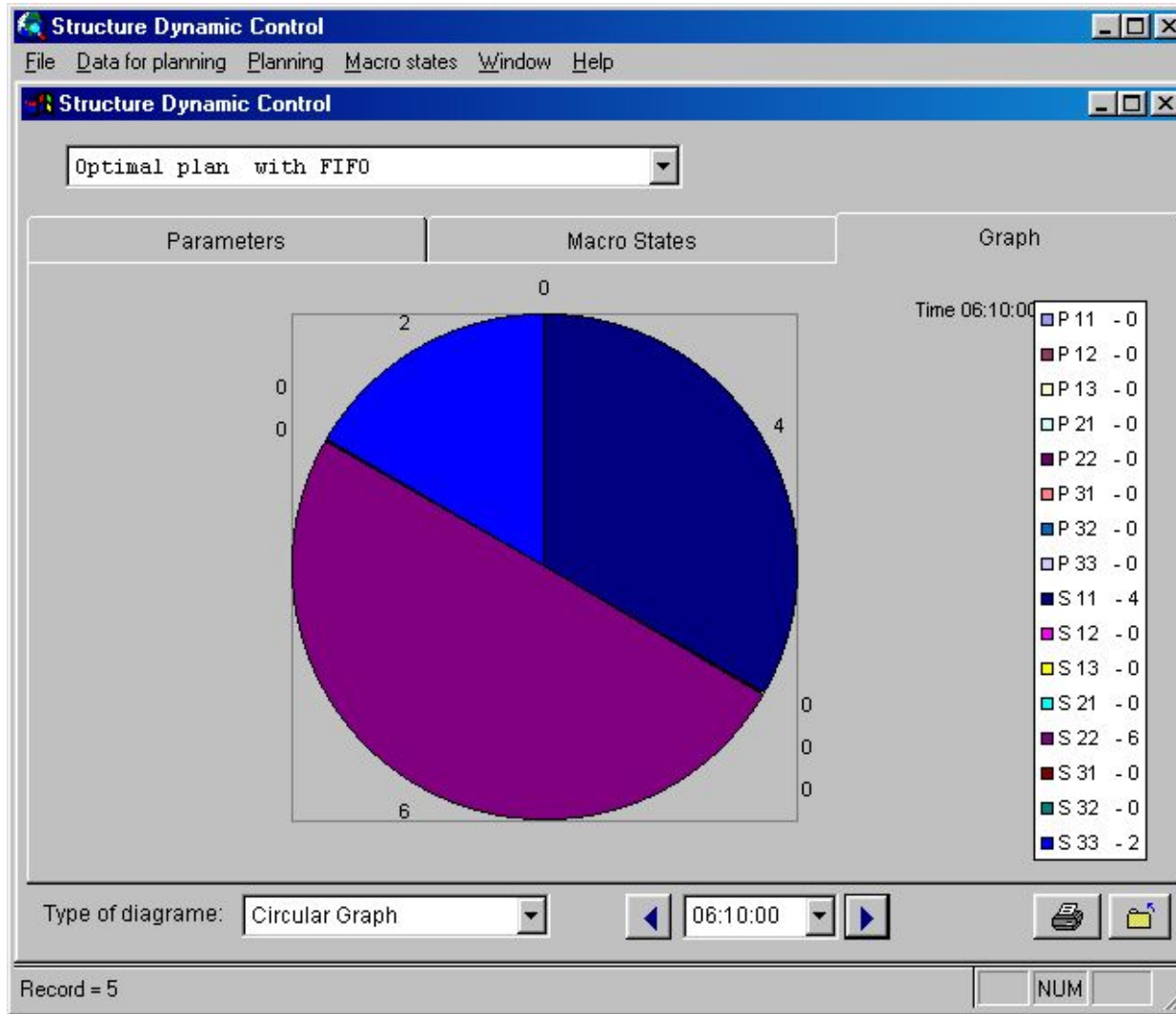
Object # :	261	Orbital plane # :	1	Sequence number in the plane :	1
In use :	<input checked="" type="checkbox"/>	IC Number :	101	Absolute circuit :	101
IC Type :	3	IC Time :	00:00:00.000	Day's circuit :	1
IC Date :	06/03/2001			S_bal :	0.01000000
Perigee altitude :	19,100.000000 km	Inclination :	64.800	Latitude angle :	0.000
Apogee altitude :	19,100.000000 km	Ascending knot longitude :	251.200	Perigee angle :	0.000
Period :	11:15:44.000 min	Midlength section :	5.5	Mass (kg) :	1,500.000

Navigation icons: back, forward, search, print, save, help

9. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой НКС



9. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой НКС



9. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой НКС

The screenshot displays the 'Structure Dynamic Control' software interface. The main window is titled 'Structure Dynamic Control' and contains a menu bar with 'File', 'Data for planning', 'Planning', 'Macro states', 'Window', and 'Help'. A sub-window titled 'Planning Output data Review' is open, showing a dropdown menu with 'Optimal plan with FIFO' selected. To the right of the dropdown are two checkboxes: 'Filter for object:' and 'Filter for operation:', both currently unchecked. Below these are four tabs: 'Parameters', 'Plan', 'Graph', and 'Trajectory measurements'. The 'Parameters' tab is active, displaying 'Basic parametrs input' (note the typo) with a page number '92' in the top right corner. The data is organized into two sections: 'The number of:' and 'Results'.

Basic parametrs input			
served objects:	18	Activitties date:	11/30/2002
interaction stations:	3	Starting time:	00:10:00
information processing stations	1	Completion time:	05:30:00
operations	6		

Results			
J_disp	4294	J_ok	3217
J_n_disp	4294	J_n_ok	3217
J_p_disp	0	J_p_ok	0
J_r_disp	0	J_r_ok	0

At the bottom right of the window, there are icons for printing, a document with a red 'X', and a folder. A 'NUM' button is located at the very bottom of the window frame.

9. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой НКС

Structure Dynamic Control

File Data for planning Planning Macro states Window Help

Planning Output data Review

Optimal plan with FIFO

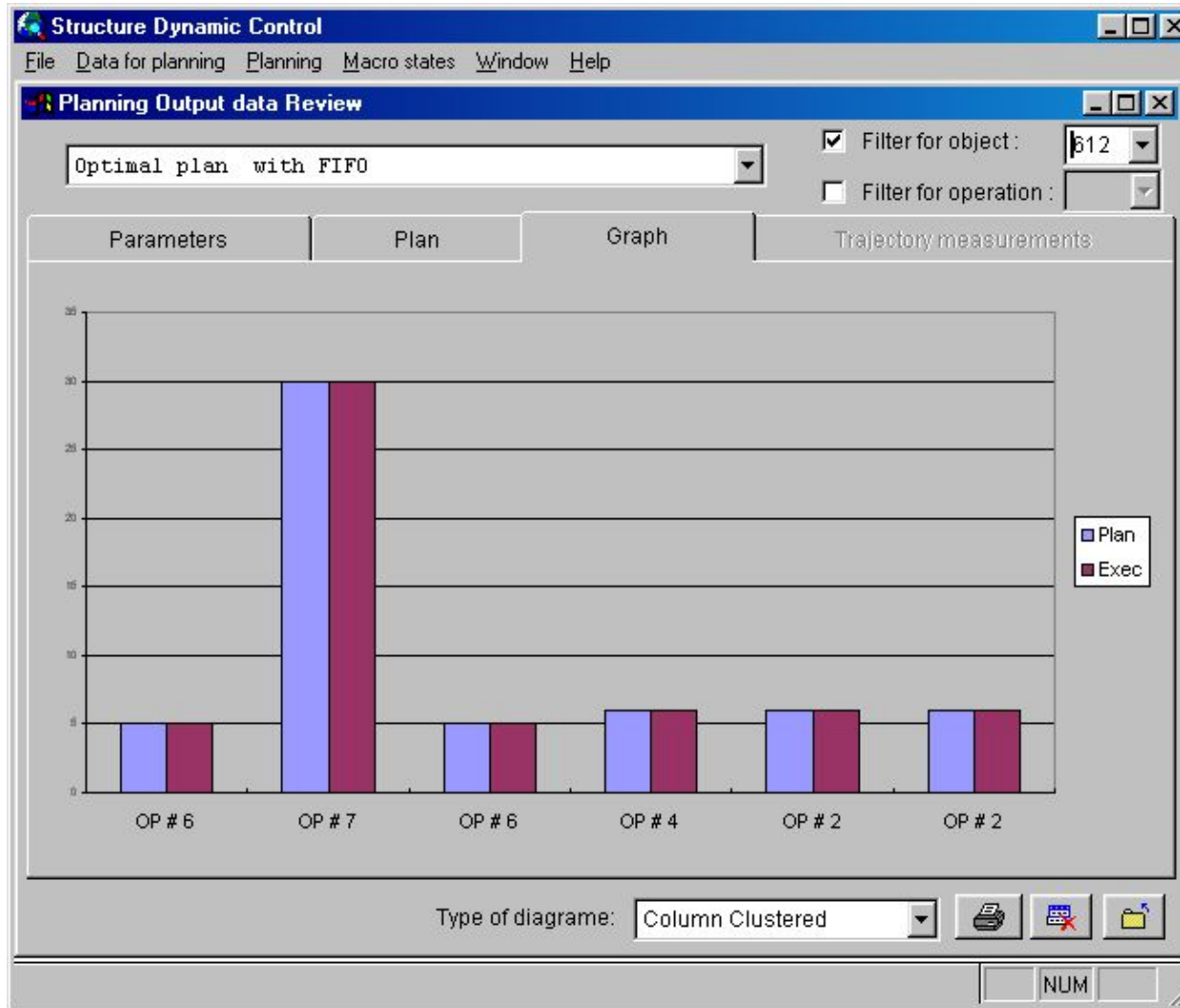
Filter for object :
Filter for operation :

Parameters Plan Graph Trajectory measurements

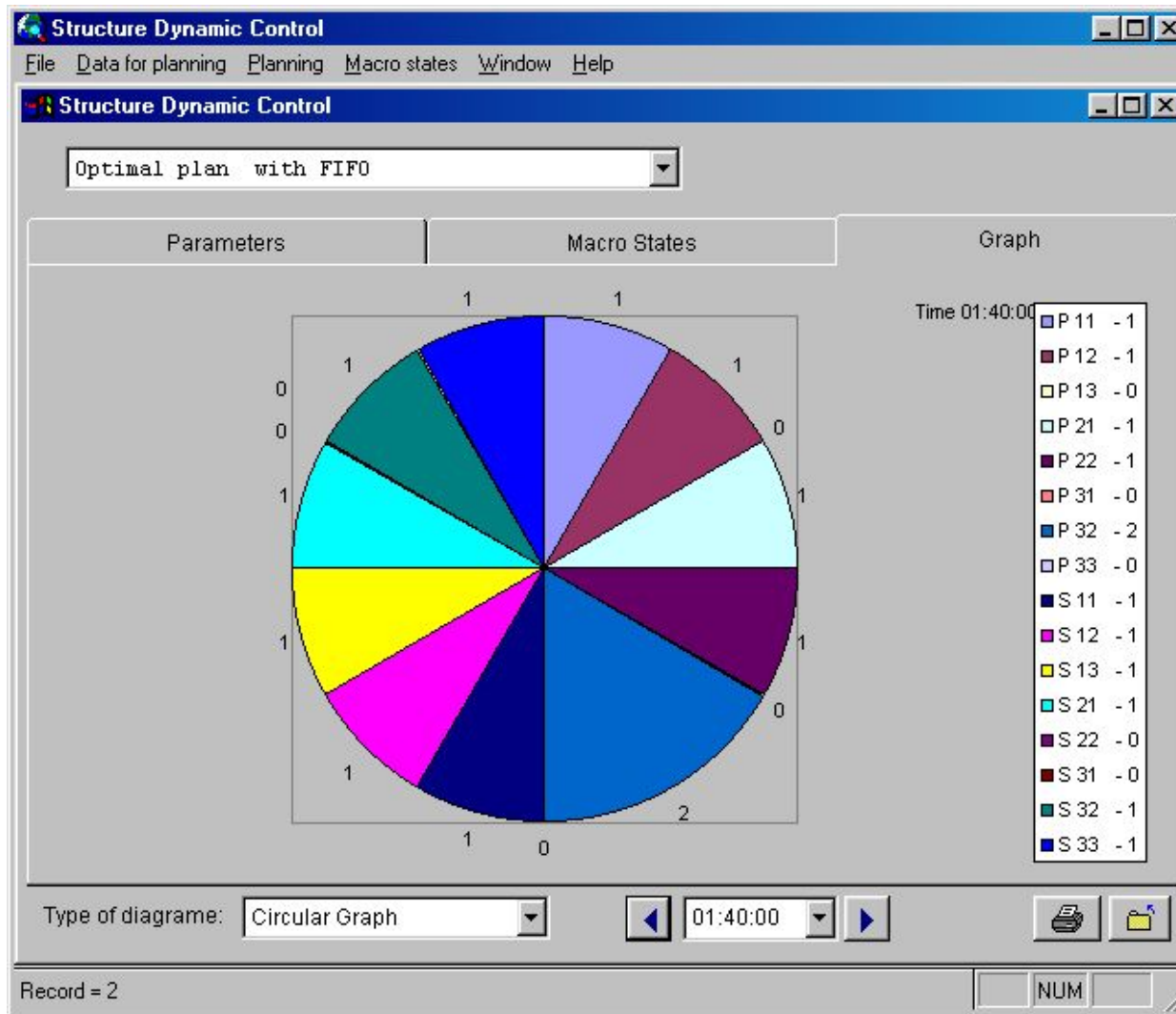
Object #	Station #	Operation #	Start operation	End of operation	Exec Volume	Plan Volume	ID
618	3	6	00:16:01	00:19:00	5	5	92
601	2	6	00:19:01	00:22:00	5	5	92
610	1	5	00:25:01	00:31:00	6	6	92
605	1	6	00:31:01	00:37:00	5	5	92
608	1	4	00:43:01	00:49:00	6	6	92
618	4	7	00:19:01	00:49:00	30	30	92
601	4	7	00:22:01	00:52:00	30	30	92
618	1	6	00:49:01	00:52:00	5	5	92
601	2	5	00:52:01	00:58:00	6	6	92
602	3	6	00:55:01	00:58:00	5	5	92
618	1	4	00:52:01	00:58:00	6	6	92
610	4	7	00:31:01	01:01:00	30	30	92
601	2	4	00:58:01	01:04:00	6	6	92
606	3	6	01:04:01	01:07:00	5	5	92
610	2	6	01:04:01	01:07:00	5	5	92
610	2	5	01:07:01	01:13:00	6	6	92

NUM

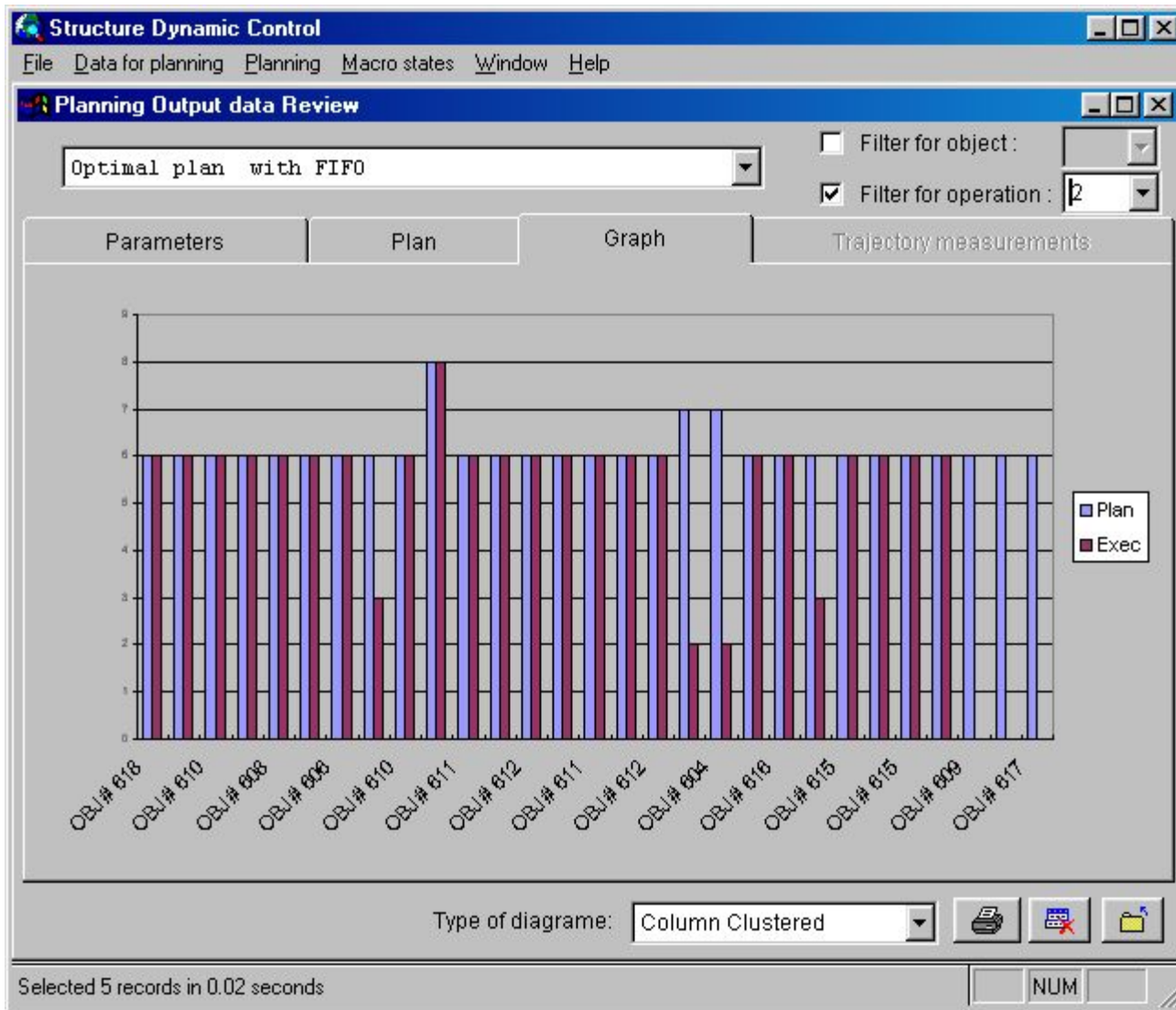
9. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой НКС



9. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой НКС



9. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой НКС



9. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой НКС

Structure Dynamic Control

File Data for planning Planning Macro states Window Help

Planning Output data Review

Optimal plan with FIFO

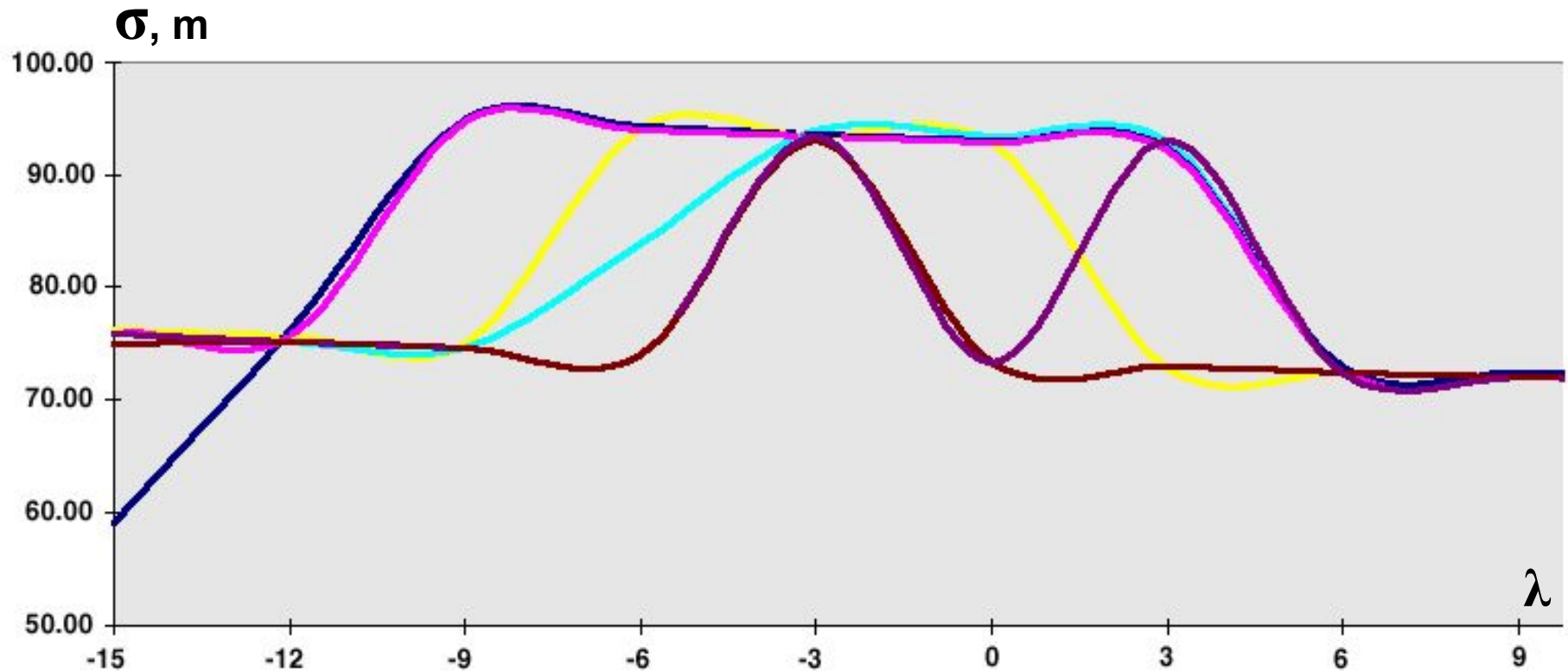
Filter for object:
 Filter for operation:

Parameters Plan Graph Trajectory measurements

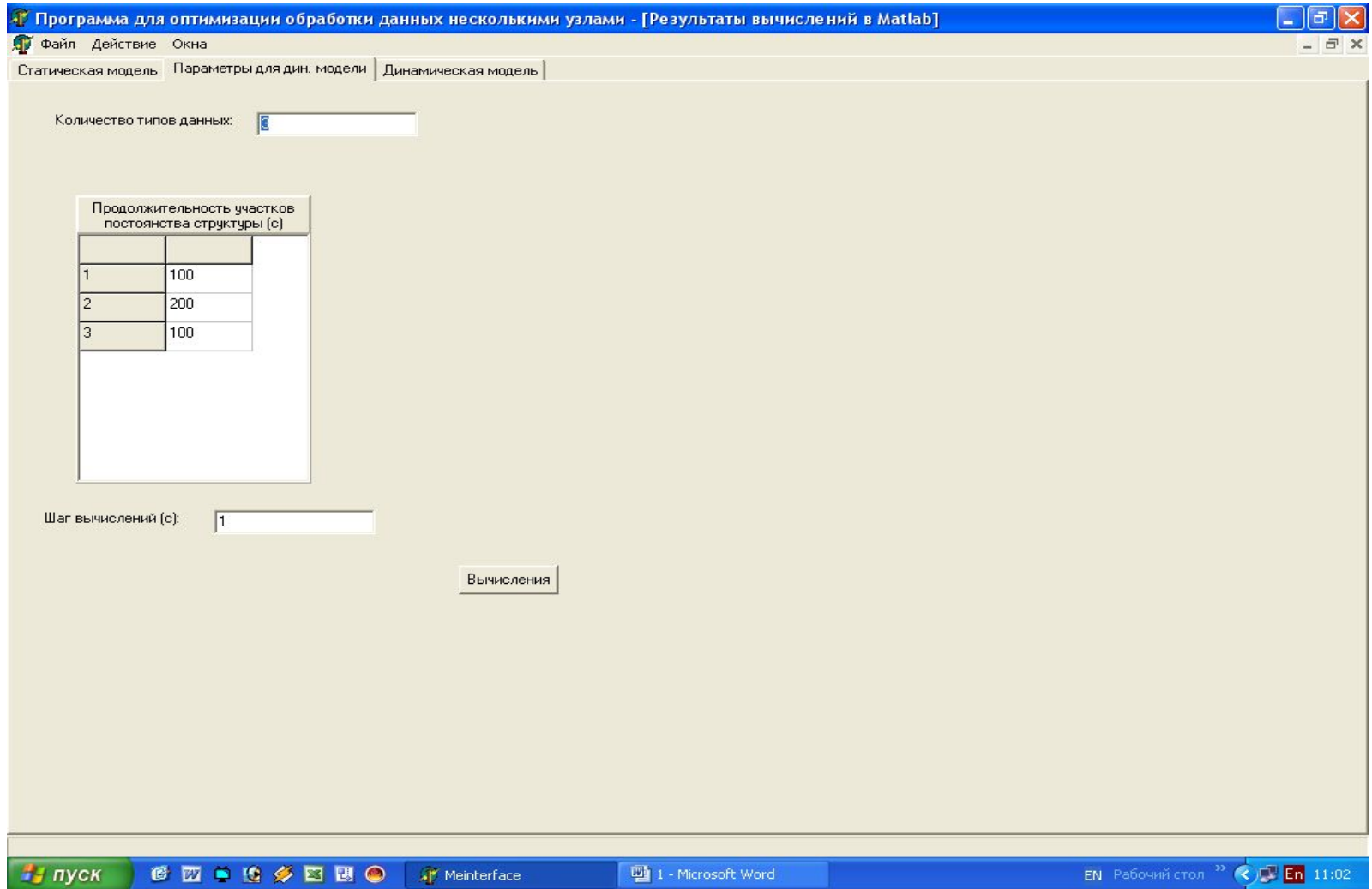
	Object	Station	Sessid	t_b_pl	t_e_pl	t_b_opt	t_e_opt	x_plan	x_dost	y_plan	y_dost	z_plan	z_dost
▶	601	1	2	00:13:01	00:19:00	00:13:01	00:19:00	2.00	17.77	4.00	2.15	0.50	1.00
	602	1	3	00:49:01	00:55:00	00:49:01	00:55:00	3.00	29.38	2.00	0.42	1.00	1.40
	603	1	1	01:34:01	01:43:00	01:34:01	01:43:00	11.00	8.61	10.00	1.32	1.00	1.82
	604	3	1	05:28:01	05:37:00	05:28:01	05:31:00	50.00	0.08	40.00	30.53	1.00	1.99
	604	3	1	05:28:01	05:37:00	05:34:01	05:37:00	50.00	0.08	40.00	30.53	1.00	1.99
	605	1	2	00:25:01	00:31:00	00:25:01	00:31:00	2.00	16.82	4.00	3.84	1.00	5.93
	606	1	3	00:58:01	01:04:00	00:58:01	01:04:00	2.00	17.43	4.00	4.10	1.00	3.83
	607	2	1	03:25:01	03:31:00	03:25:01	03:31:00	2.00	15.41	4.00	13.02	1.00	3.45
	608	1	1	00:37:01	00:43:00	00:37:01	00:43:00	2.00	12.14	4.00	10.27	1.00	3.57
	610	1	2	01:13:01	01:19:00	01:13:01	01:19:00	2.00	0.52	4.00	39.35	1.00	1.51
	610	1	1	00:16:01	00:22:00	00:16:01	00:22:00	2.00	0.62	4.00	39.44	1.00	3.90
	611	1	3	03:40:01	03:46:00	03:40:01	03:46:00	2.00	5.88	4.00	4.20	1.00	3.75
	611	1	3	02:40:01	02:46:00	02:40:01	02:46:00	2.00	17.36	4.00	5.38	1.00	3.97
	612	1	3	04:28:01	04:34:00	04:28:01	04:34:00	2.00	17.43	4.00	1.59	1.00	1.41
	612	1	1	03:16:01	03:22:00	03:16:01	03:22:00	2.00	19.79	4.00	1.63	1.00	3.69

NUM

9. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой НКС



9. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой МЛА



9. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой МЛА

Программа для оптимизации обработки данных несколькими узлами - [Результаты вычислений в Matlab]

Файл Действие Окна

Статическая модель | Параметры для дин. модели | Динамическая модель

Поступившие данные (x)

Сост\Узел	1	2	3	4	5
1	1000	0	0	0	0
2	0	1000	0	0	0
3	0	1000	0	0	0

Сохранённые данные (y)

Сост\Узел	1	2	3	4	5
1	100	5	0	0	5
2	81.513782	100	0	0	8.486218
3	84.670486	100	0	0	5.329514

Потери данных (z)

Сост\Узел	1	2	3	4	5
1	850	0	0	0	0
2	0	880	0	0	0
3	0	960	0	0	0

Обработанные данные (g)

Сост\Узел	1	2	3	4	5
1	5	10	10	15	0
2	5	10	10	15	0
3	5	10	10	15	0

Переданные данные

Из \ в	Состояние 1					Состояние 2					Состояние 3		
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3
1	-	15	15	15	0	-	0	0	13.486218	0	-	0	0
2	0	-	0	0	0	0	-	0	15	0	15	-	15
3	0	0	-	0	5	0	0	-	0	2.17196	0	0	-
4	0	0	0	-	0	0	0	12.17196	-	1.314258	0	0	0
5	0	0	0	0	-	0	0	0	0	-	0	0	0

Фиктивные узлы:

Windows taskbar: пуск, Meinterface, 1 - Microsoft Word, EN Рабочий стол, 11:03

9. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой МЛА

Программа для оптимизации обработки данных несколькими узлами - [Результаты вычислений в Matlab]

Файл Действие Окна

Статическая модель | Параметры для дин. модели | Динамическая модель

Управление | Передача/Обработка | **Eta & I**

Участок постоянства структуры: 1; Итерация: 1 I_ob=49.113876

eta_01_0	2													
eta_n1_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
eta_n2_0	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3		
eta_n3_0	4	1	2	2	1	2	2	4	2	2	4	1	2	4

Участок постоянства структуры: 1; Итерация: 2 I_ob=90.168108

eta_01_0	0													
eta_n1_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
eta_n2_0	1	1.929992	1.570008	1	2	2	2	2	3	2.380006	2.619994	3		
eta_n3_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Участок постоянства структуры: 1; Итерация: 3 I_ob=87.668215

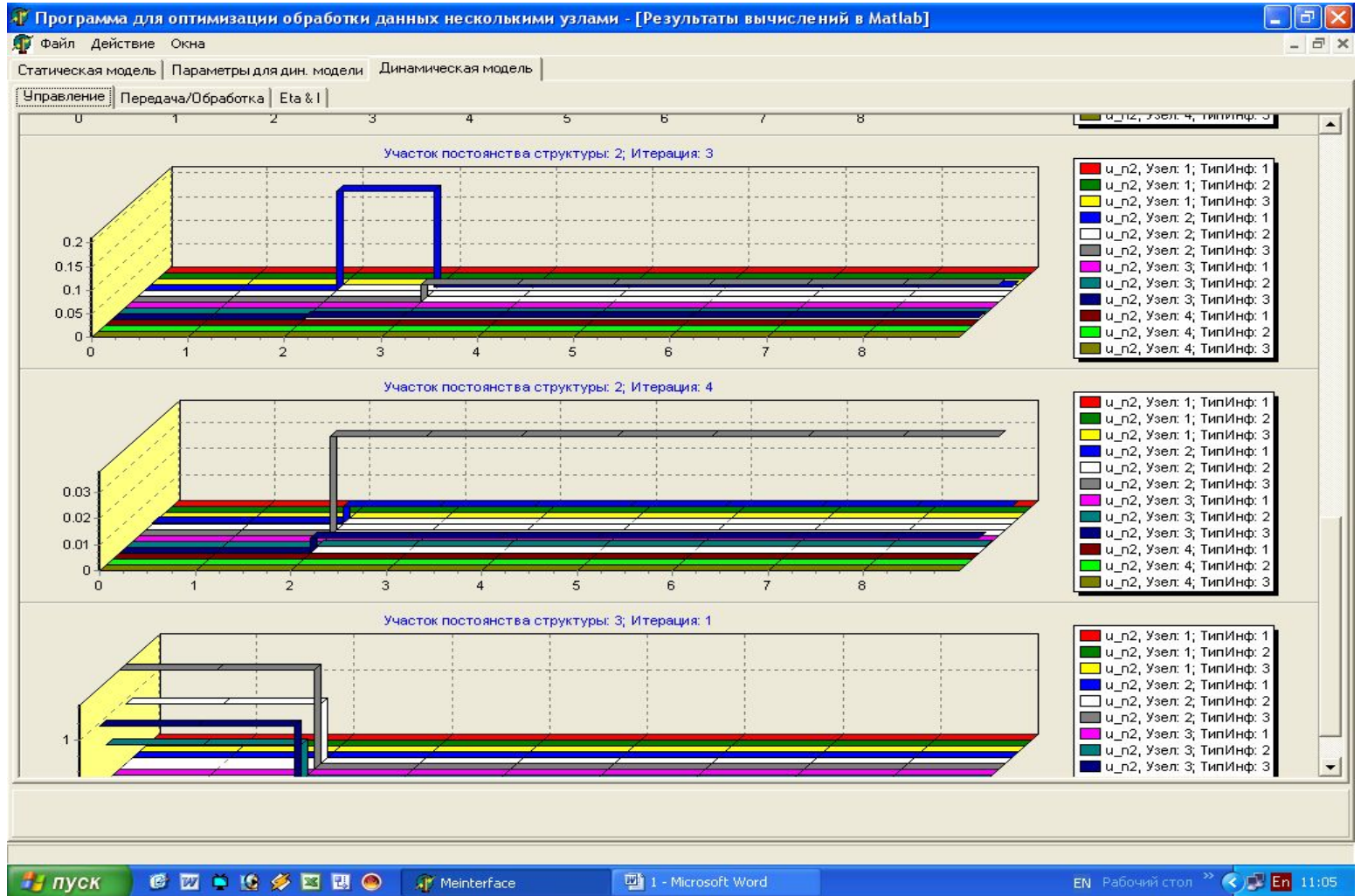
eta_01_0	50.999979													
eta_n1_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
eta_n2_0	1	1.929992	1.570008	1	2	2.830152	2.568505	2	3	3.740717	3.541131	3		
eta_n3_0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Участок постоянства структуры: 2; Итерация: 1 I_ob=331.948696

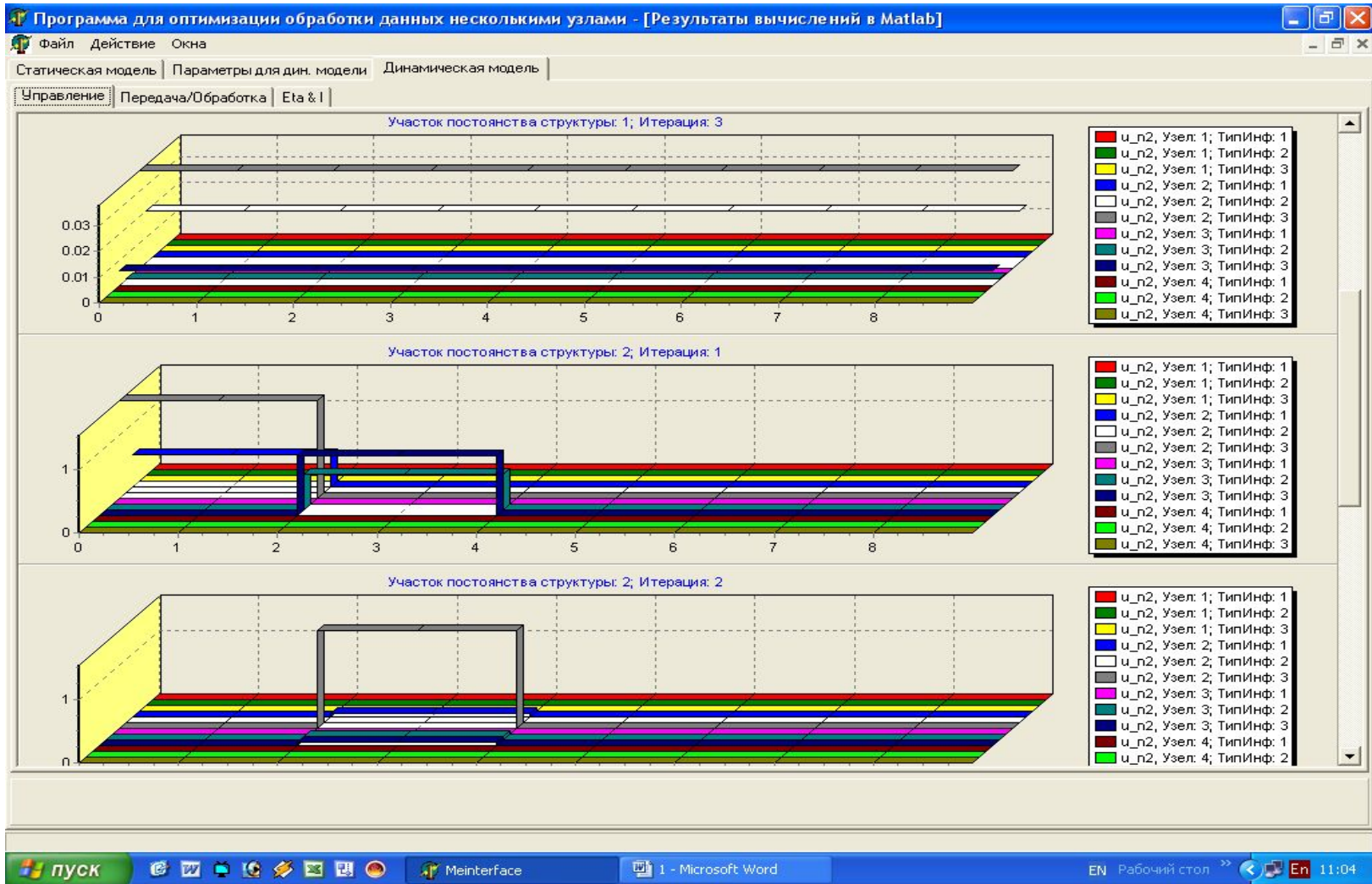
eta_01_0	2													
----------	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Windows taskbar: пуск, Meinterface, 1 - Microsoft Word, EN Рабочий стол, 11:04

9. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой МЛА



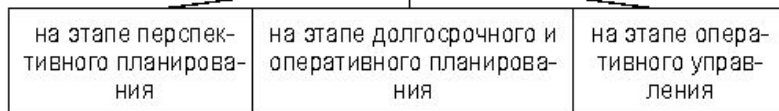
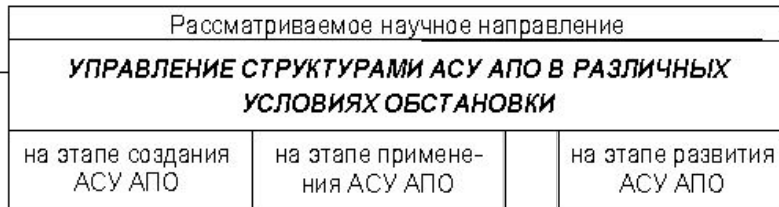
9. Комплексное моделирование процессов управления структурной динамикой МЛА



10. Заключение

Основные особенности построения современных АСУ АПО с перестраиваемой структурой

- многоцелевой характер функционирования современных АПО;
- мобильность основных элементов и подсистем АСУ АПО;
- избыточность основных элементов и подсистем АСУ АПО и связей между ними;
- структурное подобие элементов и подсистем АСУ АПО, находящихся на различных уровнях системы управления;
- многовариантность реализации функций управления на каждом из уровней АСУ АПО, использование гибких технологий управления;
- наличие унифицированных технических средств АСУ, объединённых в типовые вычислительные модули, КСА;
- наличие пространственно распределённой многоконтурной интегральной сети обмена данными



Решаемая проблема

РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ОСНОВ КОМПЛЕКСНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ОПЕРАЦИЙ И УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРАМИ АСУ АПО

концепции: системного анализа и моделирования, современной теории управления сложными динамическими системами с перестраиваемой структурой

принципы: программно-целевого управления системного моделирования, внешнего дополнения, необходимого разнообразия, погружения

подходы: интегративный, категориально-функторный, структурно-

требования: системного подхода к организации процессов управления, адекватности, универсальности и проблемной ориентации, гибкости (адаптивности), унификации; простоты и доступности

Классы решаемых задач комплексного планирования операций и управления структурами АСУ АПО

Задачи класса А (формулировка): Для заданных исходных данных найти совместные оптимальные планы целевого применения АПО, варианты программного управления структурами АСУ АПО и режимами её функционирования

Задачи класса Б (формулировка): Для заданных планов целевого применения АПО, заданных ИД найти такие варианты программного управления структурами АСУ АПО и режимами её функционирования, при которых создаются наилучшие условия выполнения целевых задач АПО

Задачи вспомогательного класса С (формулировка): Для заданных исходных данных провести:

- оценку показателей целевых и информационно-технологических возможностей АСУ АПО;
- оценку структурной управляемости, устойчивости АСУ АПО;
- точное и приближённое агрегирование структур АСУ АПО;
- анализ вариантов деградации и реконфигурации структур АСУ АПО, выявить наиболее существенные факторы, влияющие на результаты целевого применения АСУ АПО

Возможные варианты управления структурами АСУ АПО

- изменение способов и целей функционирования АСУ АПО, их содержания, последовательности выполнения в различных условиях обстановки;
- перераспределение функций, задач и алгоритмов управления между уровнями АСУ АПО;
- управление резервами АСУ АПО;
- реконфигурация структур АСУ АПО;
- перемещение в пространстве отдельных элементов и подсистем АСУ АПО

Исходные данные

- состав, структура АСУ АПО, множество вариантов взаимосвязей основных её элементов, подсистем структур;
- пространственно-временные, технические и технологические ограничения, связанные с функционированием АСУ АПО;
- множество способов и методов управления основными элементами, подсистемами и структурами АСУ АПО;
- интервал планирования (программного управления)

Исходные данные

- возможные варианты воздействия внешней среды на АСУ АПО;
- цели и задачи, стоящие перед АСУ АПО на заданном интервале времени;
- показатели и критерии оценки качества планирования и управления основными элементами и подсистемами АСУ АПО

10. Заключение



11. Благодарности

Разработка данной и последующих версий прототипов специального программно-математического обеспечения процессов управления структурной динамикой СТС базируется на новых научных результатах, полученных авторами в ходе выполнения ряда проектов при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проекты № 02-07-90463в, 05-07-90088, 05-08-18117а), Секции прикладных проблем при Президиуме РАН (проект № 1331), Отделения информационных технологий и вычислительных систем РАН (государственный контракт № О-2.5/03), МНТЦ (проект 1992р), CRDF (RUM -1554-ST-05).

12. Контактная информация

Соколов Борис Владимирович:

❖ **Phone: +7 812 328-23-76;**

❖ **Fax: +7 812 328-44-50;**

❖ **E-mail: sokol@iias.spb.su;**

Web: <http://www.spiiras-grom.ru>

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ