

# ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ



**СПИИРАН**

**АО «НИО ЦИТ Петрокомета»**

СПб, ул. Тобольская, 12

Тел: 600-15-12

Электронная почта: [mail@petrocometa.ru](mailto:mail@petrocometa.ru)

Авторы:

Охтилев П.А.,

Бахмут А.Д.,

Крылов А.В.,

д.т.н. проф. Охтилев М.Ю.

д.т.н. проф. Соколов Б.В.

# СЛОЖНЫЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

Под **СОТО** понимают искусственную, самоорганизующуюся, динамическую организационно – техническую полиструктуру, состоящую из взаимосвязанных элементов и предназначенную для некоторой целенаправленной деятельности, осуществляемой человеком. Необходима всесторонняя автоматизация информационных процессов СОТО.



**Примеры:** космические комплексы и средства, органы гос. и военного управления, распределенные производственные и сервисные системы и пр.

# Проблема оценивания состояния СОТО на всех этапах его жизненного цикла



- Проблема интеграции данных о состоянии СОТО
- Проблема комплексного оценивания технического состояния и надежности СОТО при поддержке принятия решений по управлению ЖЦ СОТО

# Некоторые проблемы при реализации системы мониторинга состояний СОТО



# Свойства и структура информационной системы СОТО



# Требования к системе информации об уровне технического состояния и надежности СОТО

В соответствии с ГОСТ РО 1410-002-2010 (Ракетно-космическая техника...):

Обеспечение заинтересованных органов, предприятий и лиц достоверными сведениями, необходимыми для выполнения работ по обеспечению и повышению уровня технического состояния, качества и надежности комплексов и входящих в их состав изделий.

Использование современных информационных и компьютерных технологий при сборе, передаче и обработке информации о техническом состоянии надежности СОТО.

Работы по системе информации должны проводиться на всех этапах жизненного цикла изделия.

Наличие подразделения, отвечающего за задачи, связанные со сбором, хранением, обработкой и передачей данных в системе информации.

Система информации должна быть единой для всех предприятий и организаций, участвующих в создании, производстве и эксплуатации изделия.

# Недостатки существующей системы информации об уровне технического состояния и надежности СОТО

Отсутствие систематизации больших объемов разнородной, неполной и недоопределенной информации о состоянии и надежности СОТО

Наличие многочисленных несовместимых между собой информационных систем, выполненных на разных платформах

Отсутствие универсальных методов сбора, обработки и анализа информации о состоянии СОТО в режиме реального времени

Слабый уровень автоматизации аналитической обработки информации о состоянии и надежности СОТО

Ограничения оперативного доступа к информации о состоянии и надежности СОТО

Отсутствие автоматизированного информационного сопровождения ЛПР на разных уровнях управления

# Технологии информационной поддержки жизненного цикла сложных объектов

**PLM** (Product lifecycle management) - управление жизненным циклом изделий. PLM – это подход, основанный на централизации всей информации об изделиях в едином информационном пространстве.

## Примеры:

PTC(WindChill), Dassault Systèmes (SmarTeam), NetIBM (ENOVIA), EDS-UG (TeamCenter), АСКОН (ЛОЦМАН).

**CALS** (Continuous Acquisition and Lifecycle Support) - непрерывные поставки и информационная поддержка жизненного цикла продукции. «ИПИ» – «Информационная поддержка изделия».

**ИПИ**-технологии – это современный подход к разработке, производству, эксплуатации и обслуживанию изделий путем информационной поддержки их жизненного цикла на основе электронного обмена данными.

Прямое сокращение затрат на проектирование – от 10 до 30%;  
сокращение времени разработки изделий – от 40 до 60%;  
сокращение времени вывода новых изделий на рынок – от 25 до 75%;  
сокращение доли брака – от 23 до 73%;  
сокращение затрат на подготовку технической документации – до 40%.



# Подход синтеза СППР при управлении ЖЦ СОТО

## Использование интеллектуальных технологий

Онтолого-управляемая методология описания объектов предметной области

Концепция управления по данным

Концепция «программирование без программирования»

Оценивание технического состояния и надежности СОТО в условиях неполной информации в реальном режиме времени

Поддержка лиц, принимающих решения, на разных уровнях управления

Контроль структурной динамики: организационной, технической, документов и т.д.

Комбинированный data- и документо-ориентированный подход

Функционирование на основе экспертных знаний



Модели, методы и алгоритмы представления и визуализации данных и знаний

Методы и алгоритмы автоматического синтеза программ анализа технического состояния

Модели, методы и алгоритмы проактивного управления управления структурной динамикой сложных объектов

Унифицированные методы достоверного распознавания технического состояния СОТО в условиях неполной и недоопределенной информации

# Моделирование предметной области

ОБЪЕКТ > **МОДЕЛЬ** > ЗАДАЧА > ФУНКЦИЯ > **АЛГОРИТМ** > ВЫЧИСЛЕНИЕ

©Нариньяни А.С. 1997 г.

Уникальность и сложность СОТО не позволяет использовать какие-либо готовые алгоритмы или методы, позволяющие имитировать или вычислять процессы, происходящие в составе СОТО.

Наблюдается тенденция, согласно которой модель начинает преобладать над алгоритмом. Алгоритм же становится лишь составным элементом модели.

$$M = \langle A; R_1, \dots, R_n \rangle$$

где

$M$  – идентификатор модели,

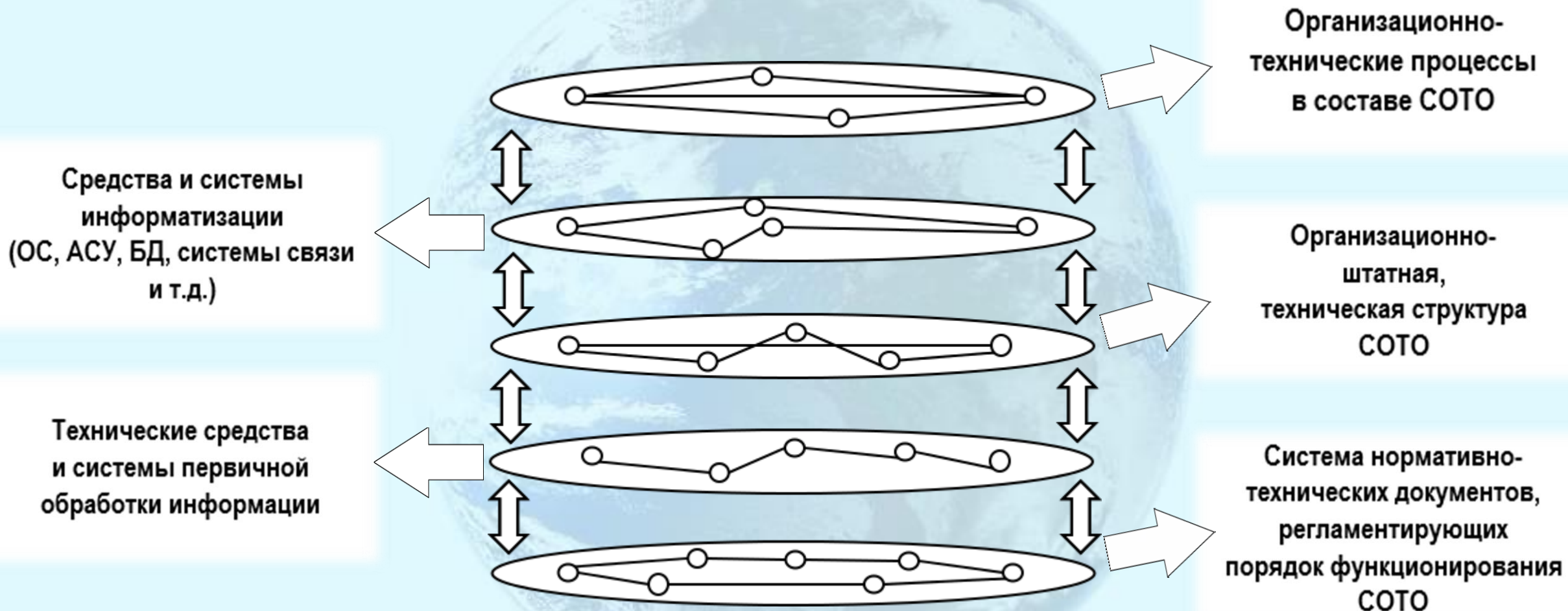
$A$  – носитель модели,

$R_i$  –  $i$ -ое отношение ( $i = 1, \dots, n$ ).

Преимущества модели над алгоритмом:

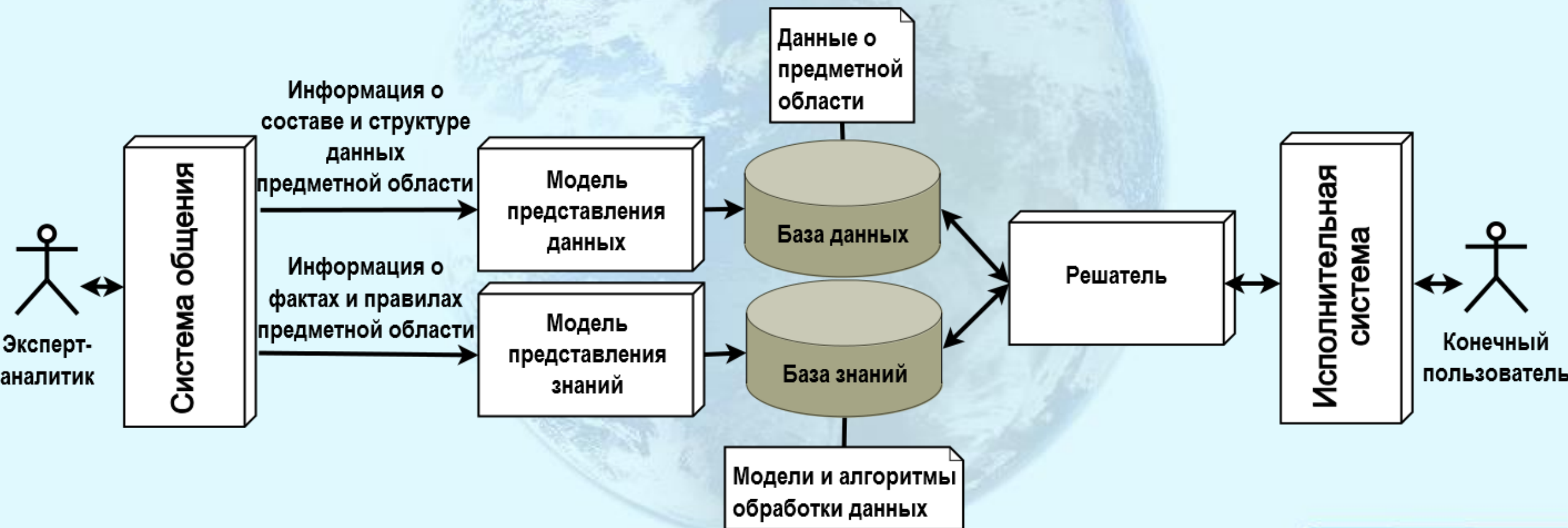
- Имитация объекта исследования
- Ориентация на предметную область
- Декларативность
- Возможность обработки недоопределенной информации
- Отсутствие входных и выходных параметров

# Структурная динамика СОТО



# Построение информационной модели ПрО на основе интеллектуальных технологий

Совокупность моделей представления данных и знаний представляет собой информационную модель предметной области, позволяющую единым образом описать множества объектов, их свойства и связи между ними.



# Модель представления данных

МПД обеспечивает внутреннюю интерпретируемость и структурированность информации о СОТО.

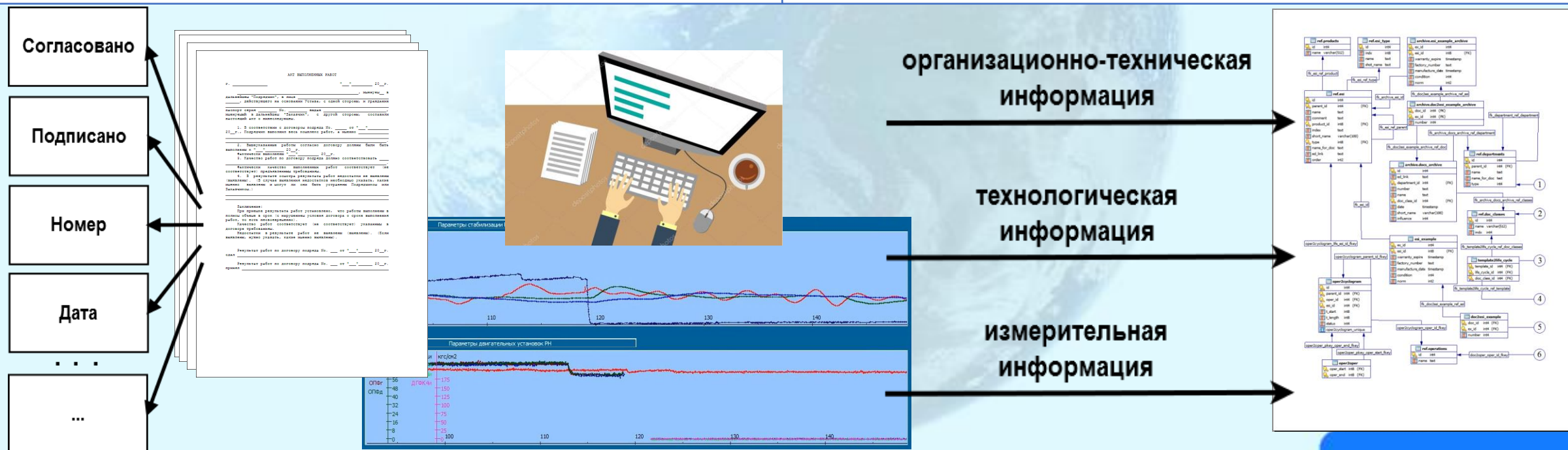
Обеспечивает описание иерархии СОТО:

- Электронная организационно-штатная структура,
- Электронная структура изделия.

Разделение потоков информации о состоянии по элементам структур СОТО.

Некоторые модели представления данных:

- Модель «Сущность-связь» в нотации Чена;
- Модель «Сущность-связь» в нотации Баркера;
- Модель «Сущность-связь» в нотации IDEF1X;
- Модель «Сущность-связь» в нотации UML;
- Модель «Объект-роль» в нотации ORM;
- Модель «Объект-отображение».



# Модель представления знаний

G-модель (разновидность обобщенной вычислительной модели) возникла как результат обобщения существующих подходов при создании систем искусственного интеллекта:

- концептуальное программирование;
- программирование в ограничениях;
- мультиагентный подход.

$$M_G = \langle X, R_M, P_M, \Delta_M \rangle \longrightarrow M_G = \langle X, \Phi_M, \Phi_M^P, \Delta_M \rangle$$

- $X$  – конечное множество параметров (переменных), характеризующих процессы функционирования сложной системы. Природа параметров может быть произвольной.
- $R_M$  – конечное множество отношений на множестве параметров из  $X$ ,
- $P_M$  – конечное множество предикатов, предметными переменными в которых являются элементы из  $X$ .
- $\Delta_M$  – отображение  $R_M \rightarrow P_M$ , ставящее в соответствие каждому отношению из  $R_M$  элемент в  $P_M$ .

Операторная схема G-модели

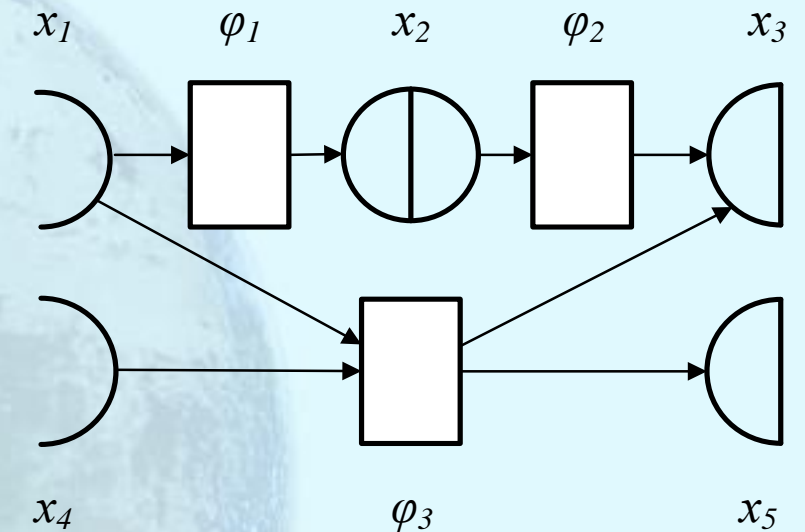
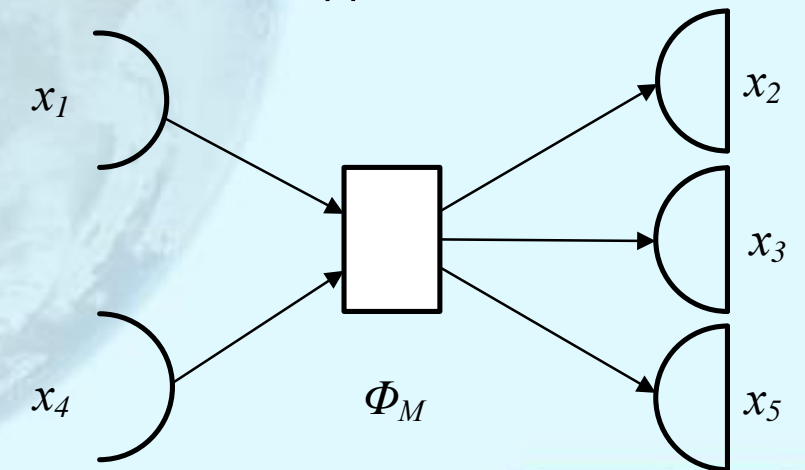


Схема G-модели



# Фундаментальные научные основы создания и применения интеллектуальной информационной технологии



# Концепция инвариантности состояний объекта мониторинга и процесса вычислений





# Автоматический синтез схем программ анализа

Для автоматического построения программы анализа используется формально-дедуктивная система (формальная грамматика).

р-грамматика:

$$G_p = \langle S_G, N_G, T_G, R_G, X_G, P_G \rangle$$

$S_G, S_G \subseteq N_G, |S_G| \geq 1$  - множество аксиом

$N_G = \{A_i \mid i \in I_N\}$  - множество нетерминалов

$T_G = \{a_i \mid i \in I_T\}$  - множество терминалов

$R_G = \{r_i : \alpha_i \rightarrow \beta_i \mid i \in I_R, \alpha_i, \beta_i \in (N_G \cup T_G)^*\}$  -  
множество правил вывода

$X_G = \{x_i \mid i \in I_X\}$  - множество атрибутов

$P_G = \{p_i(\cdot) \mid i \in I_P\}$  - множество предикатов

G-сеть – схема программа анализа, формируемая автоматически на основе G-модели. Является модификацией раскрашенной сети Петри.

$$S_G = \langle A_S, X_S, V_S, R_S, F_S, \mu_S \rangle$$

$A_S = \{a_i \mid i \in I_A\}, A_S = A_S^0 \cup A_S^P$  - множество позиций

$X_S = \{x_i \mid i \in I_X\}$  - множество атрибутов

$V_S = \{v_i \mid i \in I_V\}, V_S = V_S^0 \cup V_S^P$  - множество переходов

$R_S = R_S^+ \cup R_S^-$  - множество инцидентности

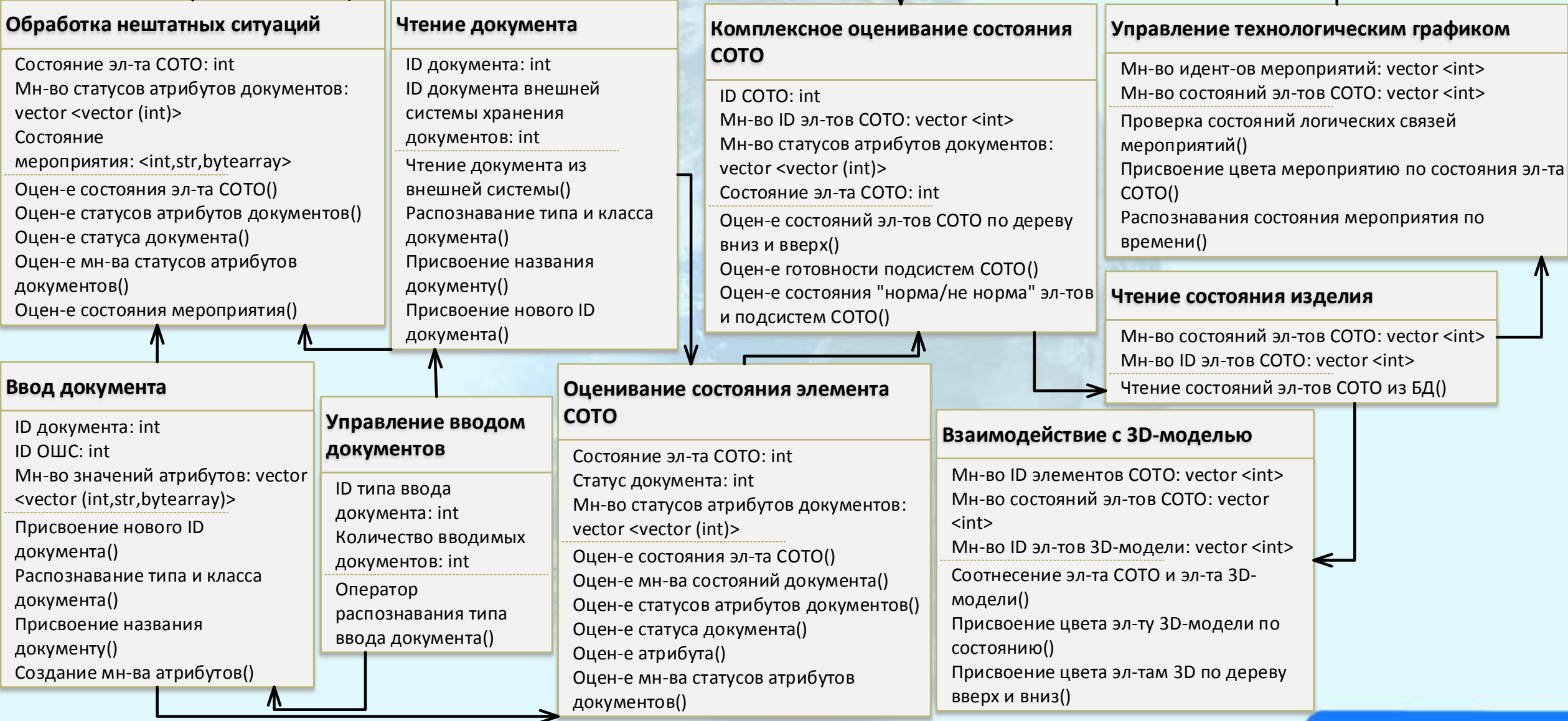
$F_S = \{\varphi_i \mid i \in I_F\}$  - множество операторов

$\mu_S : A_S \rightarrow N^+$  - функция разметки G-сети

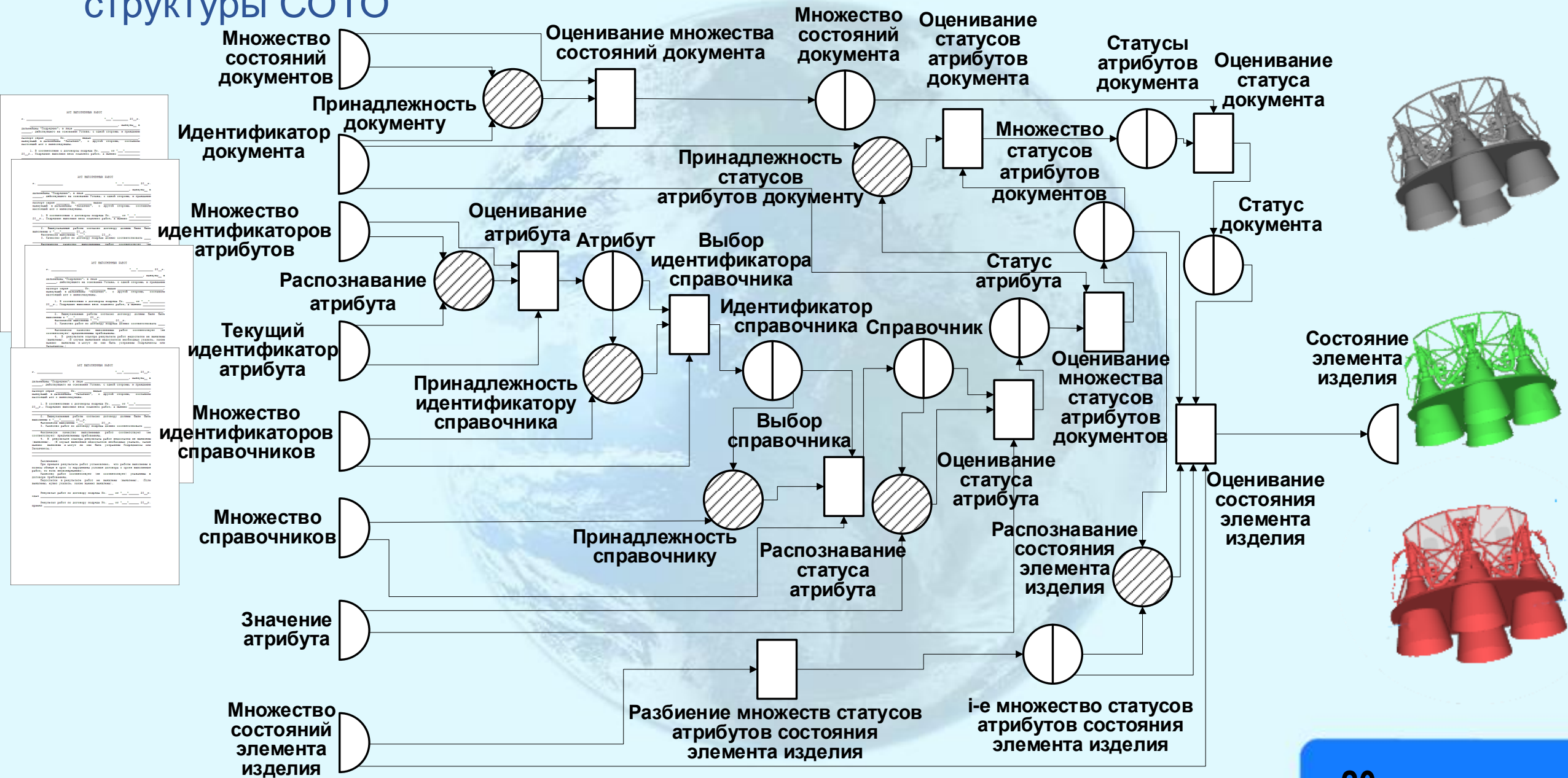
# Агентное моделирование СППР при управлении ЖЦ СОТО



# Агентное моделирование СППР при управлении ЖЦ СОТО



# Дискретно-событийное моделирование оценивания состояния элемента структуры СОТО



# Моделирование оценивания состояния элемента структуры СОТО

	$x^{Cl_1}$			...	$x^{Cl_k}$				
	$x^A_1$	...	$x^A_n$	...	$x^A_1$	...	$x^A_b$		
$S_1$	$S_{x^A_1}^{S_1}$	...	$S_{x^A_n}^{S_1}$	...	$S_{x^A_1}^{S_1}$	...	$S_{x^A_b}^{S_1}$		
	$d_1^{x^{Cl_1}}$	$x^{St_{x^A_1}}^{d_1}$	...	$x^{St_{x^A_n}}^{d_1}$	...	$d_1^{x^{Cl_k}}$	$x^{St_{x^A_1}}^{d_1}$	...	$x^{St_{x^A_b}}^{d_1}$
	...	...	...	...	...	...	...	...	
	$d_m^{x^{Cl_1}}$	$x^{St_{x^A_1}}^{d_m}$	...	$x^{St_{x^A_n}}^{d_m}$	...	$d_c^{x^{Cl_k}}$	$x^{St_{x^A_1}}^{d_c}$	...	$x^{St_{x^A_b}}^{d_c}$
...				...					
$S_Z$	$S_{x^A_1}^{S_Z}$	...	$S_{x^A_1}^{S_Z}$	...	$S_{x^A_1}^{S_Z}$	...	$S_{x^A_1}^{S_Z}$		

Множество документов  
 $M_D = \{D, X^{Cl}, X^A, X^{St}, Cl, A, St\}$

Множество ID документов  
 $D = \{d_i \mid i \in I_D\}, D \in \mathbb{N}$

Множество классов документов  
 $X^{Cl} = \{x_j^{Cl} \mid j \in I_{X^{Cl}}\}$

Множество атрибутов документов  
 $X^A = \{x_k^A \mid k \in I_{X^A}\}$

Множество статусов документов  
 $X^{St} = \{x_m^{St} \mid m \in I_{X^{St}}\}$

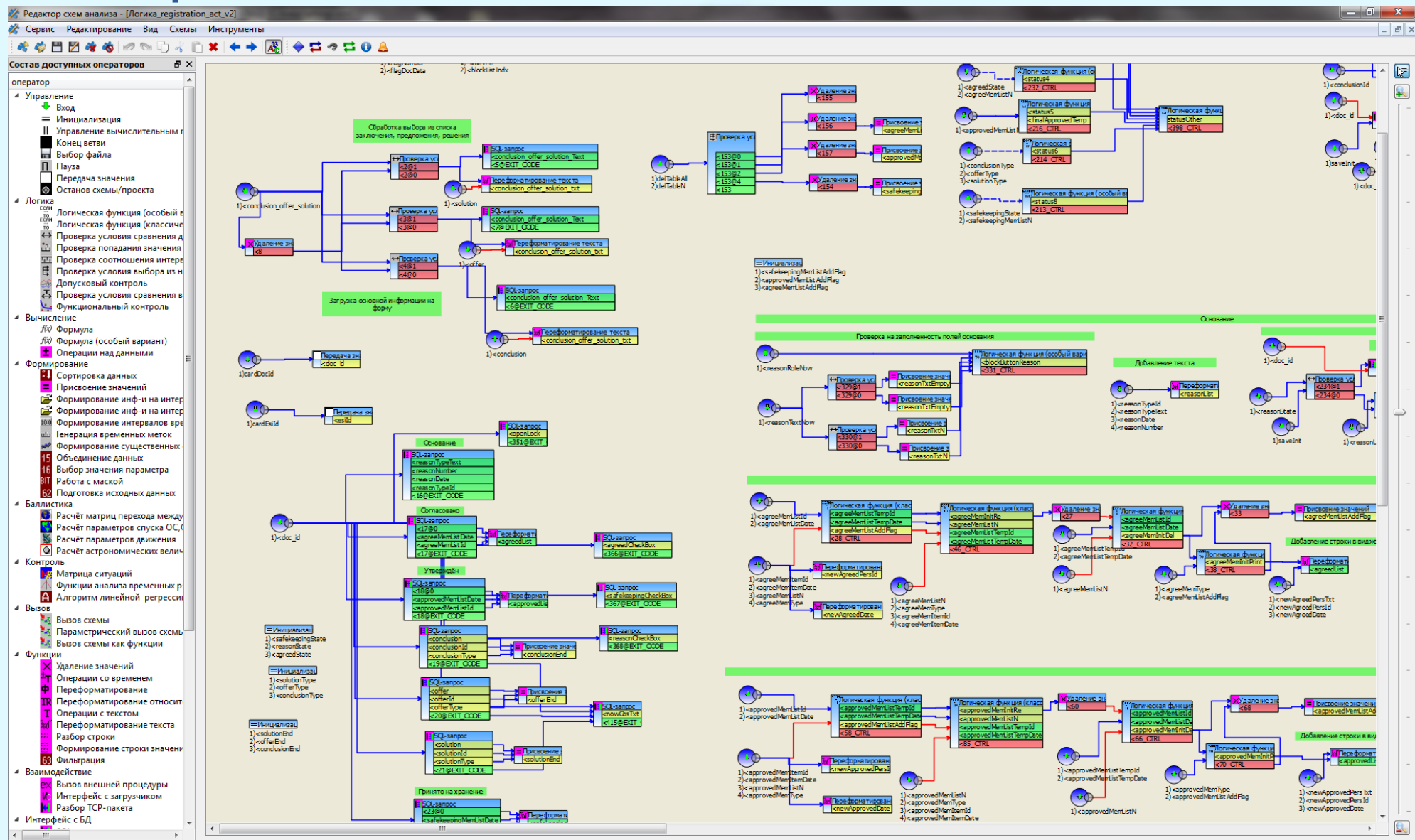
$Cl : d_i \rightarrow cl_j \quad A : x_j^{Cl} \rightarrow X_k^A, X_k^A \in X^A$

$St : x_k^A \rightarrow X_m^{St}, X_m^{St} \in X^{St}$

$S = P(S_{x_k^A}^{x_j^{Cl} 1}, \dots, S_{x_k^A}^{x_j^{Cl} z})$

$S_{x_k^A}^{x_j^{Cl}} = P(x_{d_1}^{St x_k^A}, \dots, x_{d_m}^{St x_k^A})$

# Редактор схем анализа состояния СОТО



# Подход к оцениванию структурных состояний СОТО при ППР



# Пример реализации системы поддержки принятия решений для этапа производства ракеты-носителя «Союз-2»

АРМ формирования заявления о соответствии (макет)

Ведомость контроля  
Поиск по документам

Материальная часть  
Документы

КИСИ ПКИ

Сборка Испытания Хранение

РН "Союз 2-1в"

Выгрузить электронное дело изделия

Электронная структура изделия

Карточка регистрации: ввод данных из документа

Интерактивная интеллектуальная 3D-модель

Информация по изд.

Блок обработки нештатных ситуаций

Заводской индекс изделия	Заводской №	Дата изготовления	Дата окончания гарантийного срока	Допущенные отступления (отказы)			
				ТА (КРД)	РА (СОН)	влияет	НЕ влияет
14A15	1Л	не указана	не указана	0	0/0	1	7

Таблица допущенных отступлений

id	Наименование	№ документа	Дата документа	Акт
184	Карточка разрешения маршевого двигателя 2 ступ...	0505-13	28.08.2013	Добавить акт замены

КАРТОЧКА РАЗРЕШЕНИЯ маршевого двигателя 2 ступени

Исполнитель: 06 КДМ

Исполнитель (индекс): Маршевый двигатель 2 ступени (14C75)

Дата изготовления: 26.07.2014

Заводской номер: 14C55000015001

Дата окончания гарантийного срока: 28.08.2013

Номер документа: 0473-4

Дата документа: 23.07.2014

Подписано: Селев С.В. (подпись ИРД), ИИИС.ИРД

Отметка на эксплуатацию:  Влияет  Не влияет

Исходный документ:  Удалить строку  Очистить поле

Интерактивный интеллектуальный технологический график

Организационно-штатная структура предприятия

РКЦ "Прогресс"

- Байконурский филиал
  - Бюро технического контроля (Байконурский филиал)
  - Информационно-диспетчерская группа (Байконурский фи...
  - Отдел 2623 технического обеспечения (Байконурский ф...
  - Отдел 2641 метрологии (Байконурский филиал)
  - Отдел 2946 МТС и связи с РКЦ (Байконурский филиал)
  - Отдел 2973 хозяйственного обеспечения (Байконурский ...
  - Планово-экономический 2911 отдел (Байконурский фили...
  - Сборочно-испытательный комплекс по подготовке КА и Р...
  - Цех 2435 автотранспортный (Байконурский филиал)
- Испытательный центр
  - Отдел 2831 подготовки испытаний
  - Отдел 2833 тепловакуумных и климатических испытаний

Список документов

2016г

Июнь Июль Август Сентябрь Октябрь Ноябрь Декабрь Январь Февраль Март Апрель Май

2018г

Июнь Июль Август Сентябрь Октябрь Ноябрь

Закончение договоров

Выплата авансов

Поставка материалов

Поставка БА

Изготовление арматуры

Изготовление РМ, ДСМ

Изготовление БКС

Изготовление приборов





Спасибо за внимание!

Почта: [pavel.oxt@mail.ru](mailto:pavel.oxt@mail.ru)

Авторы:

Охтилев П.А.,

Бахмут А.Д.,

Крылов А.В.,

д.т.н. проф. Охтилев М.Ю.

д.т.н. проф. Соколов Б.В.

**АО «НИО ЦИТ Петрокомета»**