

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН

Жукова Наталия Александровна

МНОГОУРОВНЕВЫЙ СИНТЕЗ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ МОНИТОРИНГА

Специальность 05.13.01: «Системный анализ, управление и обработка информации»

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук

**Научный консультант:
доктор технических наук, профессор,
Осипов Василий Юрьевич**

Санкт-Петербург – 2019

Цель, объект, предмет

Цель: повышение эффективности построения моделей объектов мониторинга за счет развития теории многоуровневого автоматического синтеза.

Объект исследования: процесс построения моделей объектов мониторинга.

Предмет исследования: методы и средства синтеза моделей объектов мониторинга.

Научная проблема

Разработка теоретических основ и методов многоуровневого синтеза моделей объектов мониторинга, отвечающих современным потребностям практики.

Научные результаты, выносимые на защиту

1. Теоретические основы многоуровневого синтеза моделей объектов мониторинга.
2. Методы многоуровневого синтеза моделей объектов мониторинга.
3. Методы многоуровневого синтеза моделей процессов и программ мониторинга.
4. Методы и модели многоуровневой трансформации данных мониторинга.
5. Методы и модели разработки проблемно- и предметно- ориентированных когнитивных систем моделирования объектов по данным мониторинга.
6. Методики моделирования объектов по данным мониторинга для прикладных предметных областей.

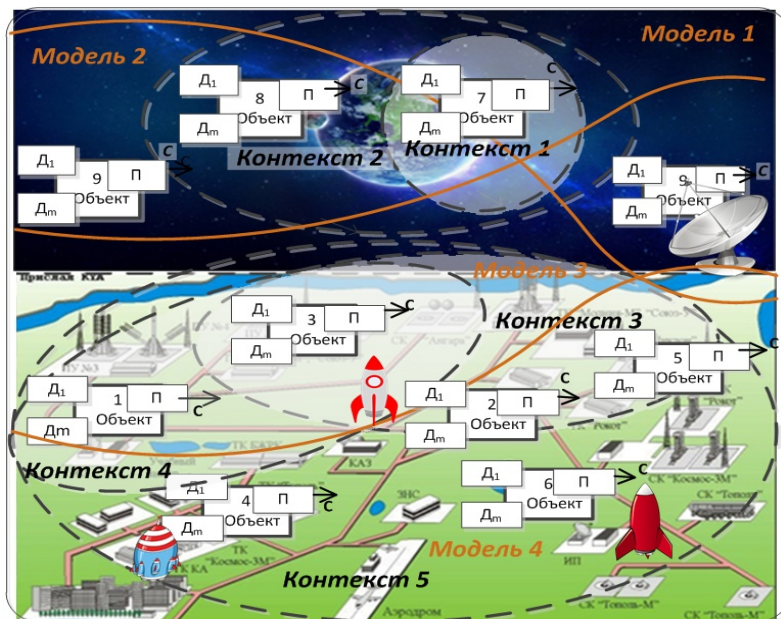
Постановка научной проблемы

Обобщенная схема анализируемого процесса

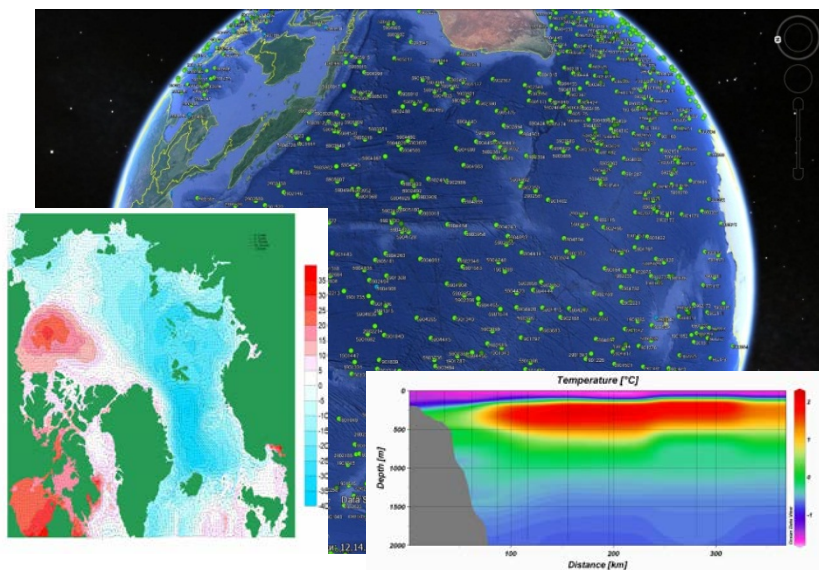


Постановка научной проблемы (продолжение)

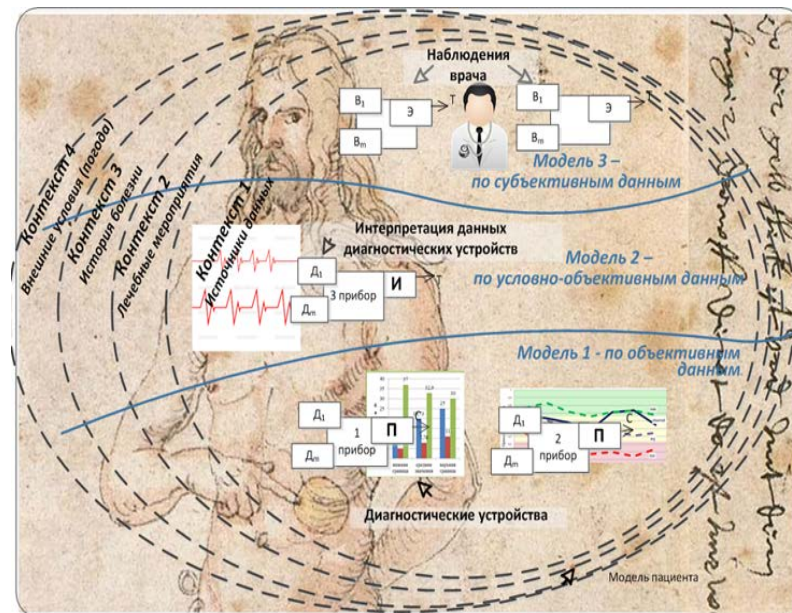
Мониторинг объектов космического назначения



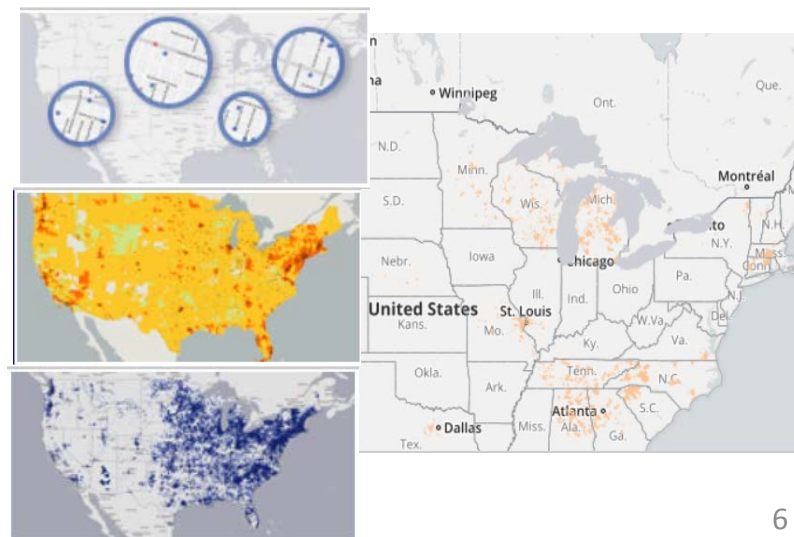
Мониторинг объектов океанографии



Мониторинг объектов в области медицины



Мониторинг объектов в области телекоммуникаций



Постановка научной проблемы (продолжение)

Классы задач построения моделей объектов мониторинга

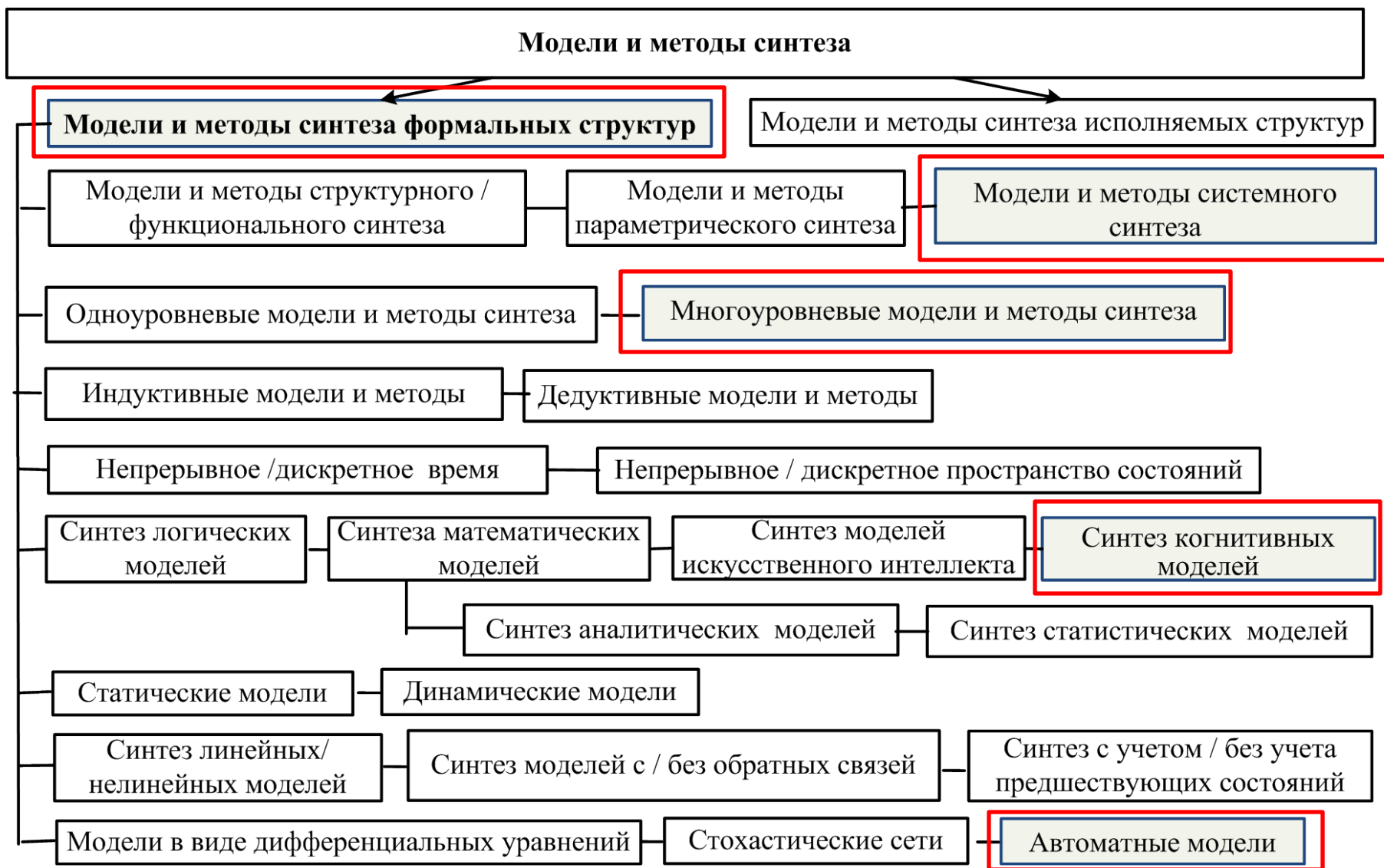
Требования	КЛАССЫ РЕШАЕМЫХ ЗАДАЧ	Существующие решения
- реализация принципов системного подхода; - использование когнитивных возможностей; - предоставление общих формальных решений; - учет особенностей предметных областей.	<u>Задача класса А. Сбор и обработка данных о состоянии наблюдаемых объектов.</u> Выявление фактических отклонений в поведении объектов, их локализация, определение причин. Заблаговременное выявление возможных отклонений с учетом влияющих факторов.	- частные решения с многими ограничениями (порядка нескольких сотен); - нейросетевые модели и методы (требуется учитель; проблема сложности); - символические модели и методы (проблема точности и достоверности), - гибридные модели и методы.
	<u>Задача класса Б. Моделирование наблюдаемых объектов.</u> Восстановление структур объектов и протекающих на них процессах по данным мониторинга.	
	<u>Задача класса С. Управление мониторингом.</u> Определение состава и частоты контроля параметров, определение элементов сбора и обработки данных.	
Ограничения	<u>Задача класса Д. Предоставление моделей об объектах в требуемой форме.</u> Предоставление интегральной информации об объекте, предоставление детальных данных об отдельных элементах.	
	<u>Задача класса Е. Исследование статистических данных мониторинга.</u> Построение статистических моделей объектов и среды для заданной предметной области.	

Анализ текущего состояния

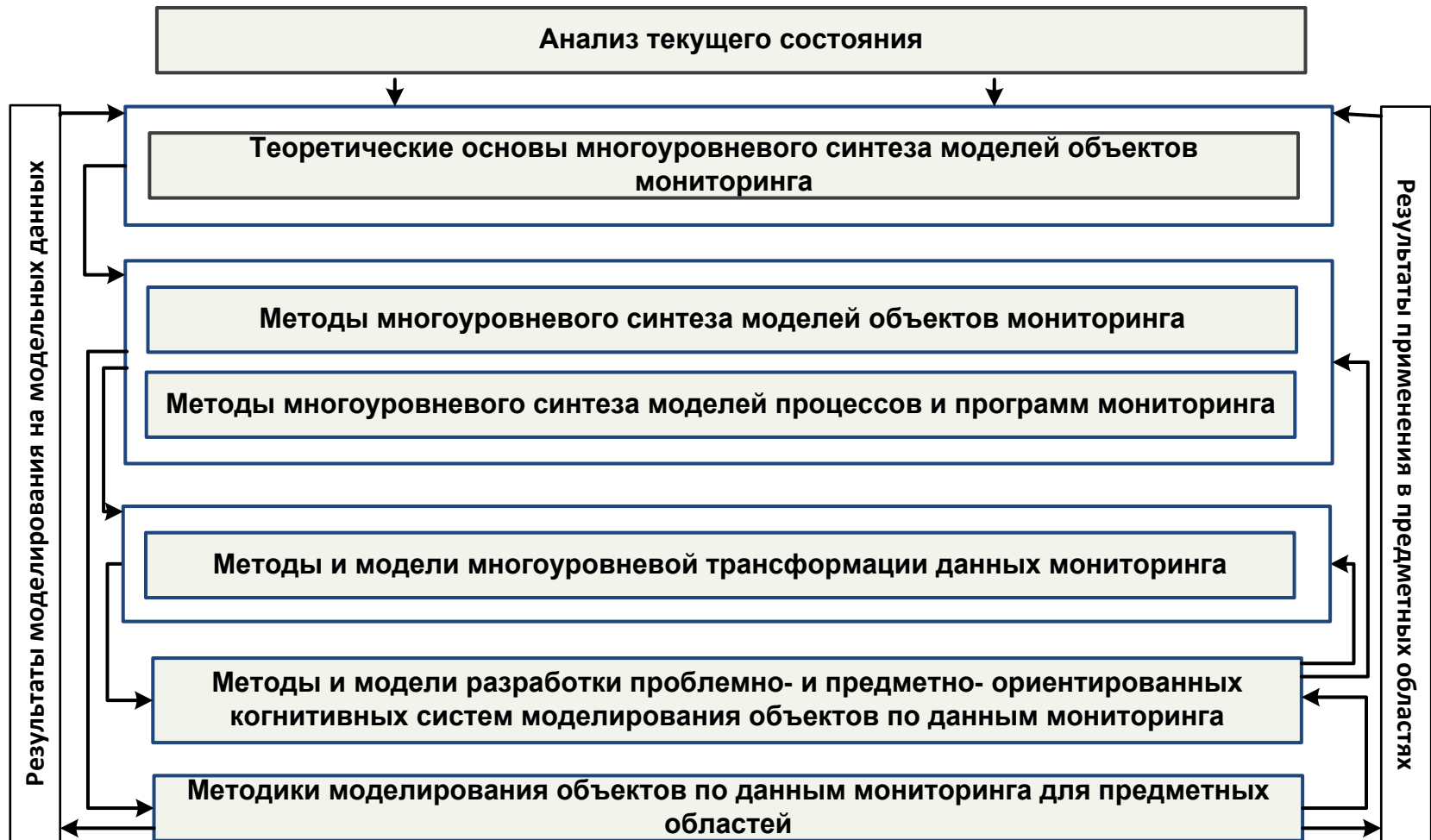


Анализ текущего состояния (продолжение)

Классификация моделей и методов синтеза



Логическая схема исследования



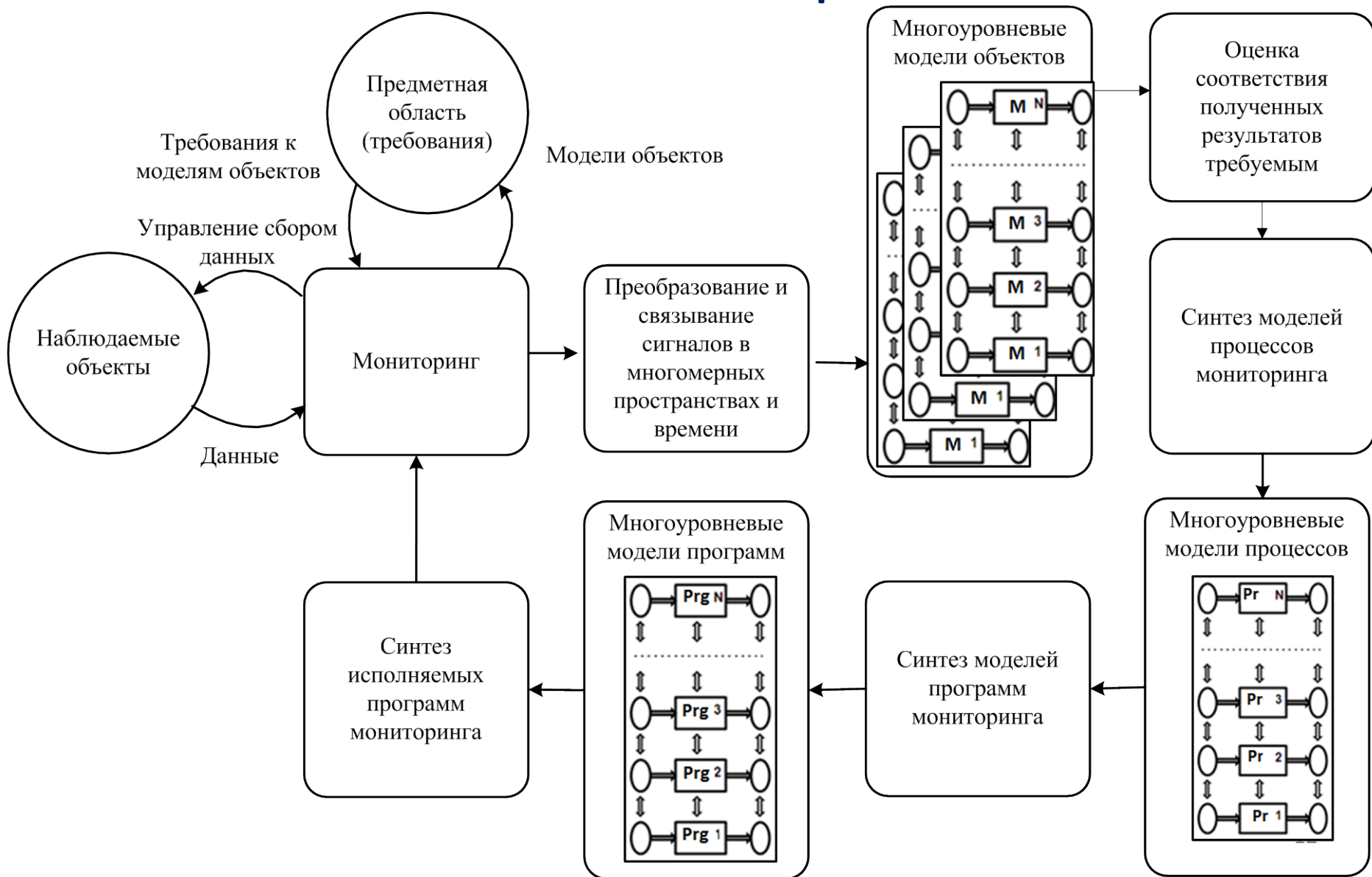
Первый научный результат

Теоретические основы многоуровневого синтеза моделей объектов мониторинга

1. Концептуальные положения многоуровневого синтеза моделей объектов мониторинга.
2. Концептуальная модель многоуровневого синтеза моделей объектов мониторинга.
3. Показатели и критерии эффективности многоуровневого синтеза моделей объектов мониторинга.
4. Обобщенная формулировка задачи многоуровневого синтеза моделей объектов мониторинга.
5. Модели объектов мониторинга.
6. Типовые формулировки задач многоуровневого синтеза моделей объектов мониторинга.
7. Обобщенный алгоритм многоуровневого синтеза моделей объектов мониторинга.

Первый научный результат (продолжение)

Концептуальная модель многоуровневого синтеза моделей объектов мониторинга



Первый научный результат (продолжение)

Обобщенная формулировка задачи многоуровневого синтеза моделей объектов мониторинга

Требуется путем синтеза S найти модель B_o , при которой достигается W_{opt} - экстремум основного показателя эффективности этой модели при ограничениях на вспомогательные показатели $M(B_v)$:

$$W_{opt}(B_o) = \underset{v \in \Lambda}{extr} \{W_v(\tilde{S}, M(B_v))\}$$
$$S: X \rightarrow R \rightarrow O \rightarrow Y; \tilde{S}: Y \rightarrow O \rightarrow R \rightarrow X;$$
$$M(B_v) = F(M_1(B_v), M_2(B_v), \dots, M_n(B_v)) \in E$$
$$M_1(B_v) \in E_1, M_2(B_v) \in E_2, \dots, M_n(B_v) \in E_n$$

где X - исходные данные; R - результаты трансформации данных;
 O - синтезированные модели; Y - преобразованные модели;

Λ - множество вариантов построения вычислительной модели B_o ;

$M_1(B_v), M_2(B_v), M_n(B_v)$ - группы вспомогательных показателей;

E, E_1, E_2, E_n - области допустимых значений для показателей эффективности.

Первый научный результат (продолжение)

Система показателей и критериев эффективности многоуровневого синтеза моделей объектов мониторинга



Первый научный результат (продолжение)

Система показателей и критериев эффективности многоуровневого синтеза моделей объектов мониторинга

Полнота моделей объектов

Полнота определяется числом параметров, которые определены для модели

Полнота описания модели на r -ый момент времени: $Q_r = 1 - \frac{1}{c} \sum_{j=1}^c q_{jr},$

$$q_{1r} = \frac{|(DA(M_{r-1}))| - Z_1}{Z_1}; \quad q_{2r} = \frac{|(DB(M_{r-1}))| - Z_2}{Z_2}; \quad q_{3r} = \frac{|(DC(M_{r-1}))| - Z_3}{Z_3};$$
$$q_{4r} = \frac{|(FB(M_{r-1}))| - Z_4}{Z_4}; \quad q_{5r} = \frac{|(FC(M_{r-1}))| - Z_5}{Z_5};$$

M_{r-1} - модель на($r-1$) момент времени;

DA, DB, DC - допустимые множества исходных, результирующих и внутренних элементов, характеризующих модель на r -й момент времени;

FB, FC - допустимые множества связей результирующих и внутренних элементов, характеризующих модель на r -й момент времени;

$Z_1, Z_2, \dots, Z_5$ - допустимые значения мощностей;

$c, c = 5$ - коэффициент, назначаемый в соответствии с числом параметров модели ;

$Q_r = 1$ - полная модель; $Q_r = 0$ - модель, параметры которой не определены

Первый научный результат (продолжение)

Система показателей и критериев эффективности многоуровневого синтеза моделей объектов мониторинга

Вычислительная сложность синтеза моделей объектов

Вычислительная сложность определяется числом операций (временем) построения модели

Оценки верхней и нижней границ времени многоуровневого автоматического синтеза модели:

$$T_L \approx c \sum_{i=0}^K \frac{m_i^2}{n_i^2} \leq c \sum_{i=0}^K m_i^2; \quad T_H \approx c \sum_{i=1}^K m_i^2 \leq c \left(\sum_{i=1}^K m_i \right)^2$$

где C – постоянный коэффициент; m_i - число элементов на i -м уровне.

n_i - распределение элементов по уровням иерархии.

Среднее время T многоуровневого синтеза: $T = (T_L + T_H) / 2$.

Оценки числа операций:

$$T \approx cn_0 + c \sum_{i=0}^K p_i \frac{m_i}{n_i};$$

где p_i - вероятность перехода на более низкий уровень .

Первый научный результат (продолжение)

Модели объектов мониторинга

Иерархические относительно-конечные операционные автоматы

Структурно-динамическая модель объекта мониторинга

Опорные множества допустимых параметров иерархических ОКА:

$$DOKA^0 = \{DA^0, DB^0, DC^0, FB^0, FC^0\}$$

Допустимые множества параметров более высоких i -х уровней:

$$DOKA^i = \{DA^i, DB^i, DC^i, FB^i, FC^i\} \implies DOKA^i = DOKA^i(\bar{d}_{b_{r-1}})$$

Допустимые множества параметров на различных уровнях иерархии

$$DOKA^0 \Leftrightarrow DOKA^1 \Leftrightarrow \dots \Leftrightarrow DOKA^i \Leftrightarrow \dots \Leftrightarrow DOKA^K$$

Процесс построения множеств допустимых значений и функций внутренних переходов и выходов:

$$\left\{ \begin{array}{l} DA^i(\bar{d}_{r-1}) \xrightarrow{F_{ij}^{DA}} DA^j(\bar{d}_r) \\ DB^i(\bar{d}_{r-1}) \xrightarrow{F_{ij}^{DB}} DB^j(\bar{d}_r) \\ DC^i(\bar{d}_{r-1}) \xrightarrow{F_{ij}^{DC}} DC^j(\bar{d}_r) \\ FB^i(\bar{d}_{r-1}) \xrightarrow{F_{ij}^{FB}} FB^j(\bar{d}_r) \\ FC^i(\bar{d}_{r-1}) \xrightarrow{F_{ij}^{FC}} FC^j(\bar{d}_r) \end{array} \right\}$$

$\{F_{ij}^{DA}, F_{ij}^{DB}, F_{ij}^{DC}, F_{ij}^{FB}, F_{ij}^{FC}\} \in FBC_i$ - функции определения параметров ОКА.

Первый научный результат (продолжение)

Модели объектов мониторинга (продолжение)

Иерархические относительно-конечные операционные автоматы (продолжение)

Структурно-динамическая модель объекта мониторинга (продолжение)

Каждый автомат на момент времени r задается совокупностью параметров:

$$DOKA_r = \{\bar{d}_{a_r}, \bar{d}_{b_r}, F_r^b, DA(\bar{d}_{b_{r-1}}), DB(\bar{d}_{b_{r-1}}), FB(\bar{d}_{b_{r-1}})\}$$

Переходы от множества исходных данных $\{d_s\}$ к множеству результирующих данных $\{d_w\}$ имею вид:

$$F_{zv}(d_{zve}; e = \overline{1, E_z}) \rightarrow d_{zva}; \{d_s\}; \{d_w\}; z = \overline{1, Z}; v = \overline{1, V_z}$$

Если для элементов определены предикаты $P_{zv0}(F_{zv0}(\cdot)), P_{zv1}(d_{zv1}), \dots, P_{zva}(d_{zva})$ то условия задачи имеют вид: $\{P_{zv0} \wedge P_{zv1} \wedge, \dots, P_{zve_z} \rightarrow P_{zva} \mid S_{zv}, M_{zv}, z = \overline{1, Z} : v = \overline{1, V}\}$

Многоуровневая структура переходов

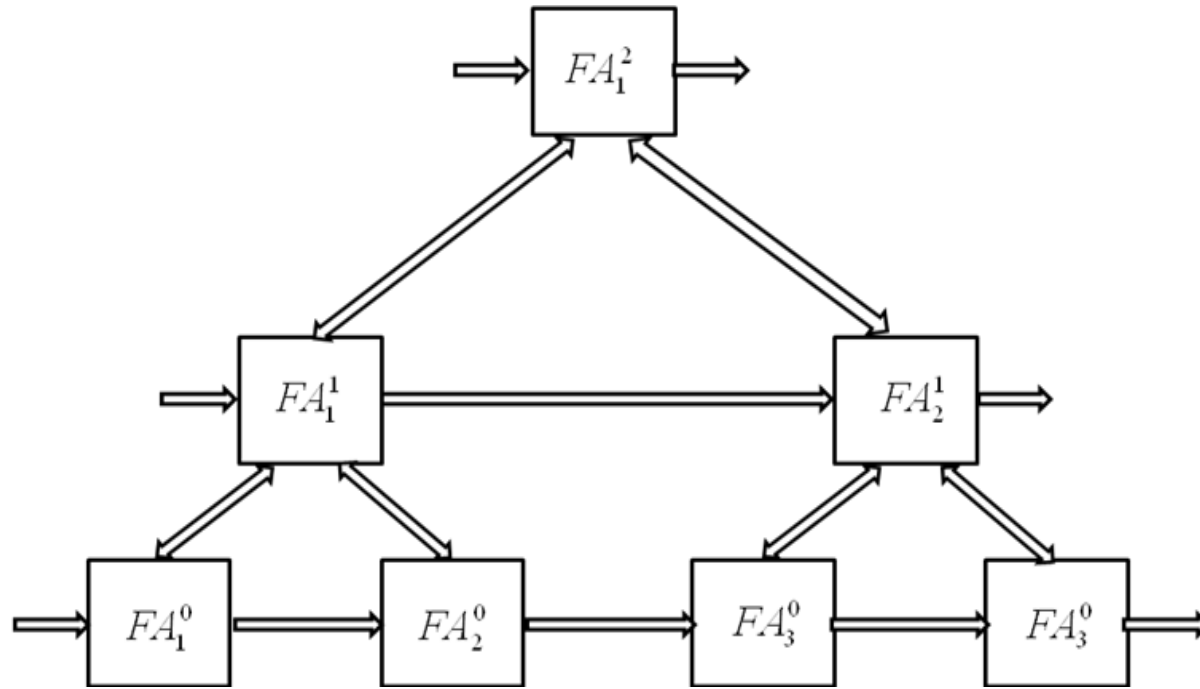
Уровень	Схема синтеза	Учет допустимых множеств
Уровень 0:	$\{d_s^0\} \Rightarrow \{F_{zv}^0(d_{zve}^0; e = \overline{1, E_z}) \rightarrow d_{zva}^0; z = \overline{1, Z_i}; v = \overline{1, V_{iz}}\} \Rightarrow \{d_w^0\}$	$d_w^0 \in D^0; d_s^0 \in D^0; F_{zv}(\cdot) \in FB;$
	$\Updownarrow$	$\Updownarrow$
Уровень 1:	$\{d_s^1\} \Rightarrow \{F_{zv}^1(d_{zve}^1; e = \overline{1, E_z}) \rightarrow d_{zva}^1; z = \overline{1, Z_i}; v = \overline{1, V_{iz}}\} \Rightarrow \{d_w^1\};$	$\tilde{F}_{zv}^1(D_{zve}^1; FB_{zve}^1; F_{zv}^1) \rightarrow FB_{zva}^1;$
	$\Updownarrow$	$\tilde{F}_{zv}^1(D_{zve}^1; FB_{zve}^1; d_{zva}^1) \rightarrow D_{zva}^1;$
Уровень k:	$\{d_s^k\} \Rightarrow \{F_{zv}^k(d_{zve}^k; e = \overline{1, E_z}) \rightarrow d_{zva}^k; z = \overline{1, Z_i}; v = \overline{1, V_{iz}}\} \Rightarrow \{d_w^k\};$	$\tilde{F}_{zv}^k(D_{zve}^k; FB_{zve}^k; F_{zv}^k) \rightarrow FB_{zva}^k;$
...		$\Updownarrow$
Уровень N:	$\{d_s^N\} \Rightarrow \{F_{zv}^N(d_{zve}^N; e = \overline{1, E_z}) \rightarrow d_{zva}^N; z = \overline{1, Z_i}; v = \overline{1, V_{iz}}\} \Rightarrow \{d_w^N\};$	$\tilde{F}_{zv}^n(D_{zve}^n; FB_{zve}^n; F_{zv}^n) \rightarrow FB_{zva}^n;$

Первый научный результат (продолжение)

Модели объектов мониторинга (продолжение)

Иерархические относительно-конечные операционные автоматы (продолжение)

Функциональная модель объекта мониторинга



Структура функциональной модели объекта:

$\{FB^i, FC^i\}_r \rightarrow \{FA_j^i\}_r$, где FA_s^i - S -ая функции автоматной модели объекта на i уровне для условий r , определяемых событиями / моментами времени и др.

Функции интегральной оценки состояния наблюдаемого объекта могут иметь вид

FA_1^0, FA_3^0 - получение параметров;

FA_2^0, FA_4^0 - группировка параметров;

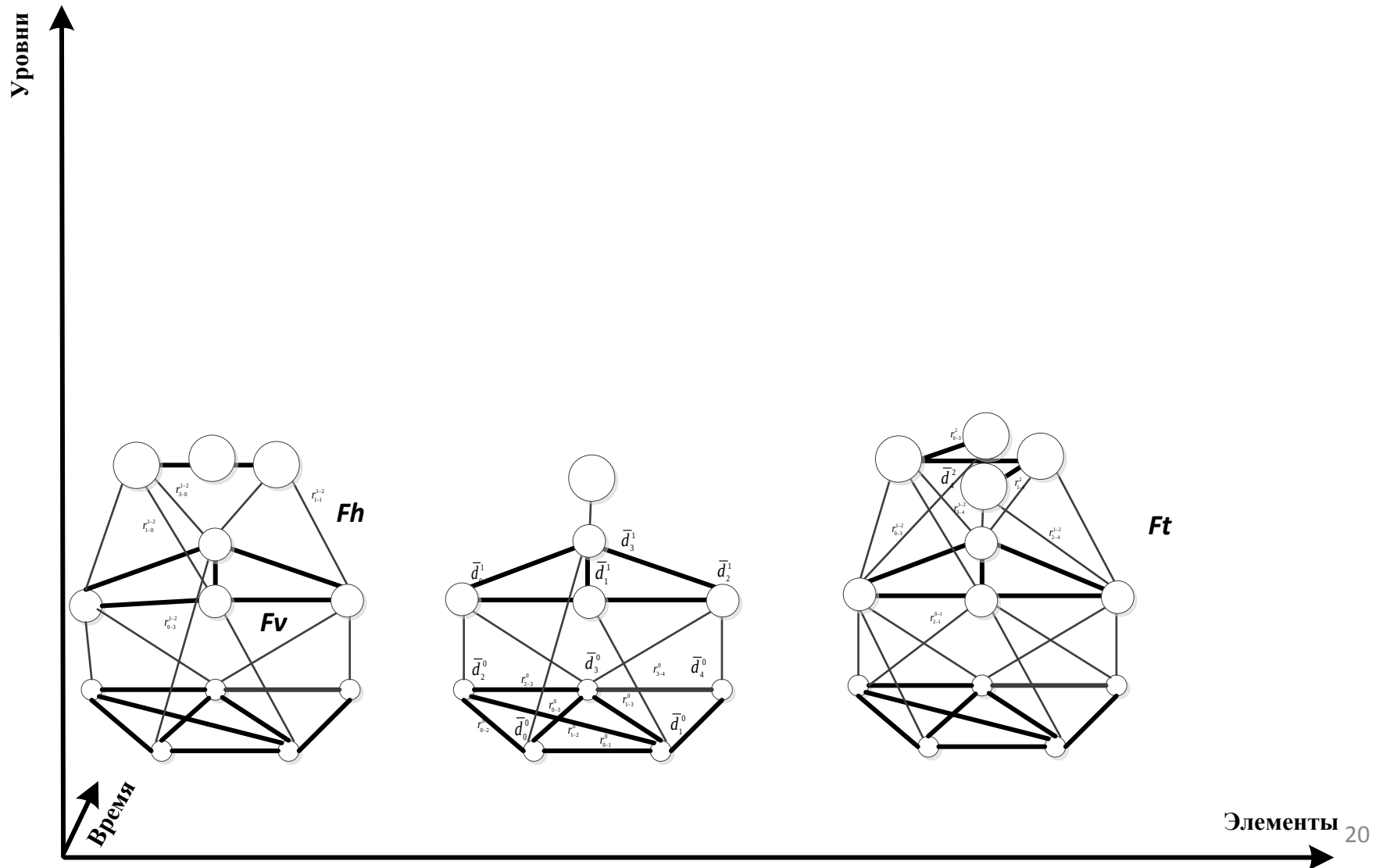
FA_1^1, FA_2^1 - расчет интегральных показателей; FA_1^2 - построение интегральной кривой. ¹⁹

Первый научный результат (продолжение)

Модели объектов мониторинга (продолжение)

Иерархические относительно-конечные операционные автоматы (продолжение)

Модель состояний объекта мониторинга

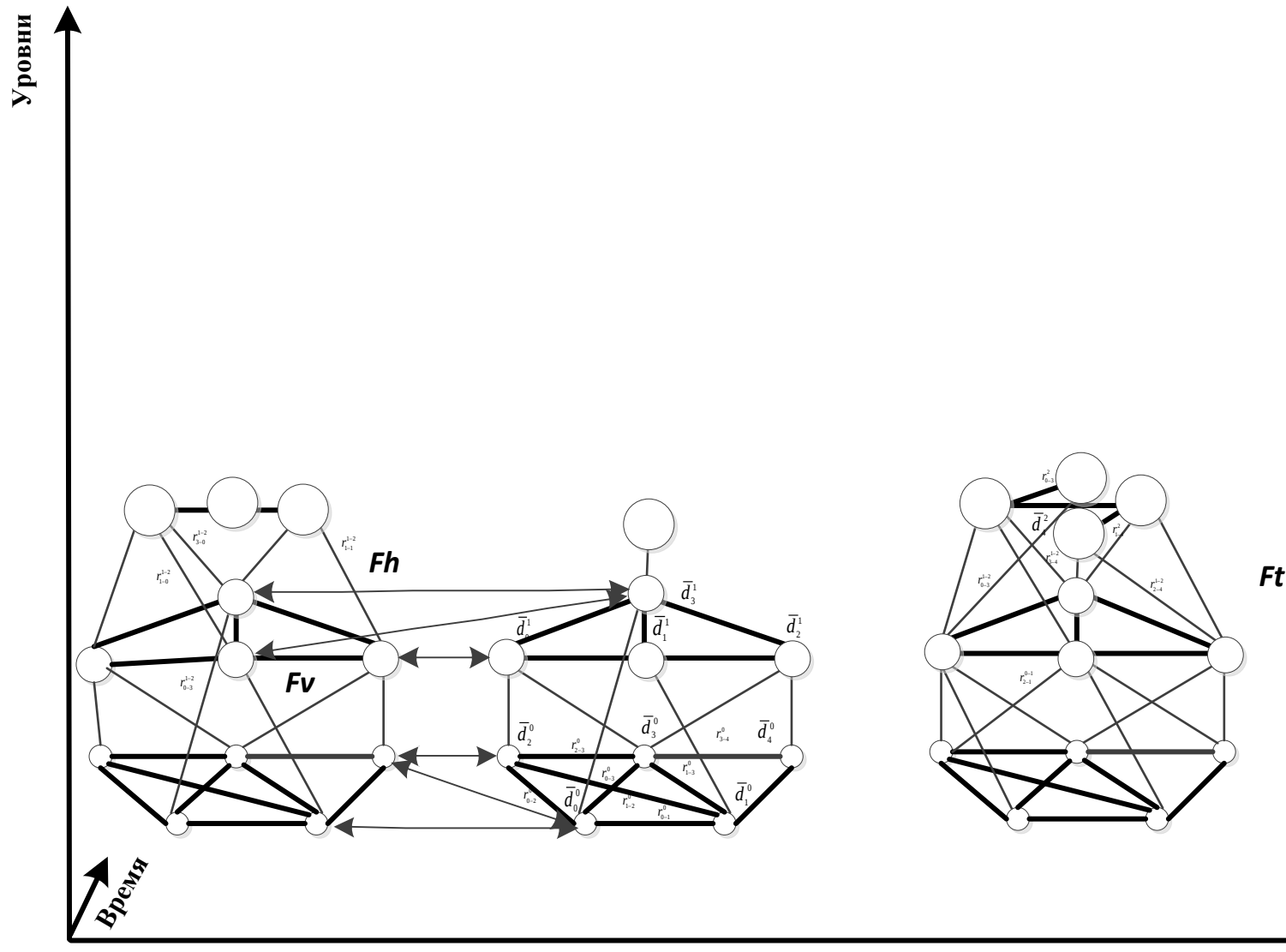


Первый научный результат (продолжение)

Модели объектов мониторинга (продолжение)

Иерархические относительно-конечные операционные автоматы (продолжение)

Модель состояний объекта мониторинга

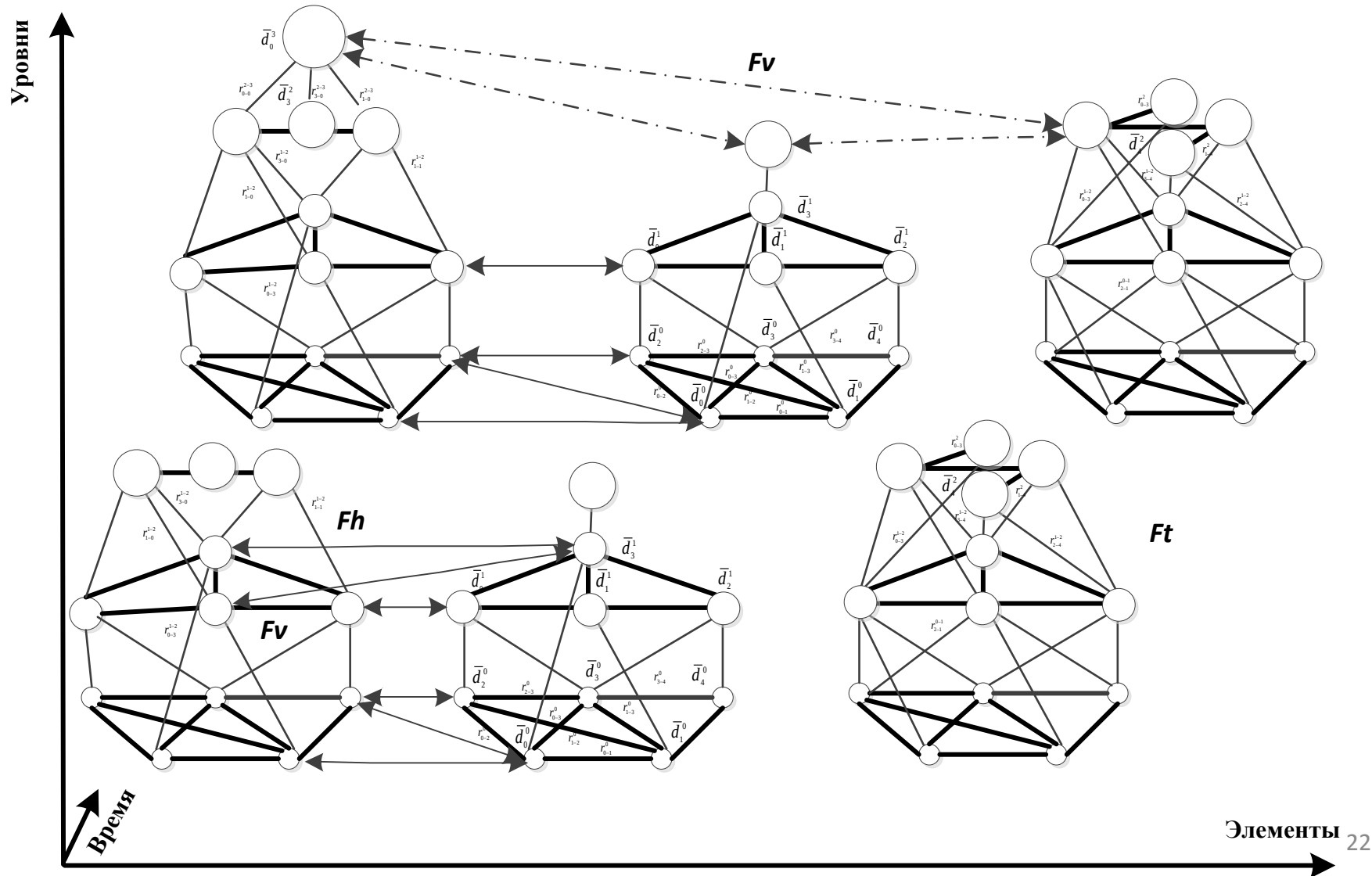


Первый научный результат (продолжение)

Модели объектов мониторинга (продолжение)

Иерархические относительно-конечные операционные автоматы (продолжение)

Модель состояний объекта мониторинга

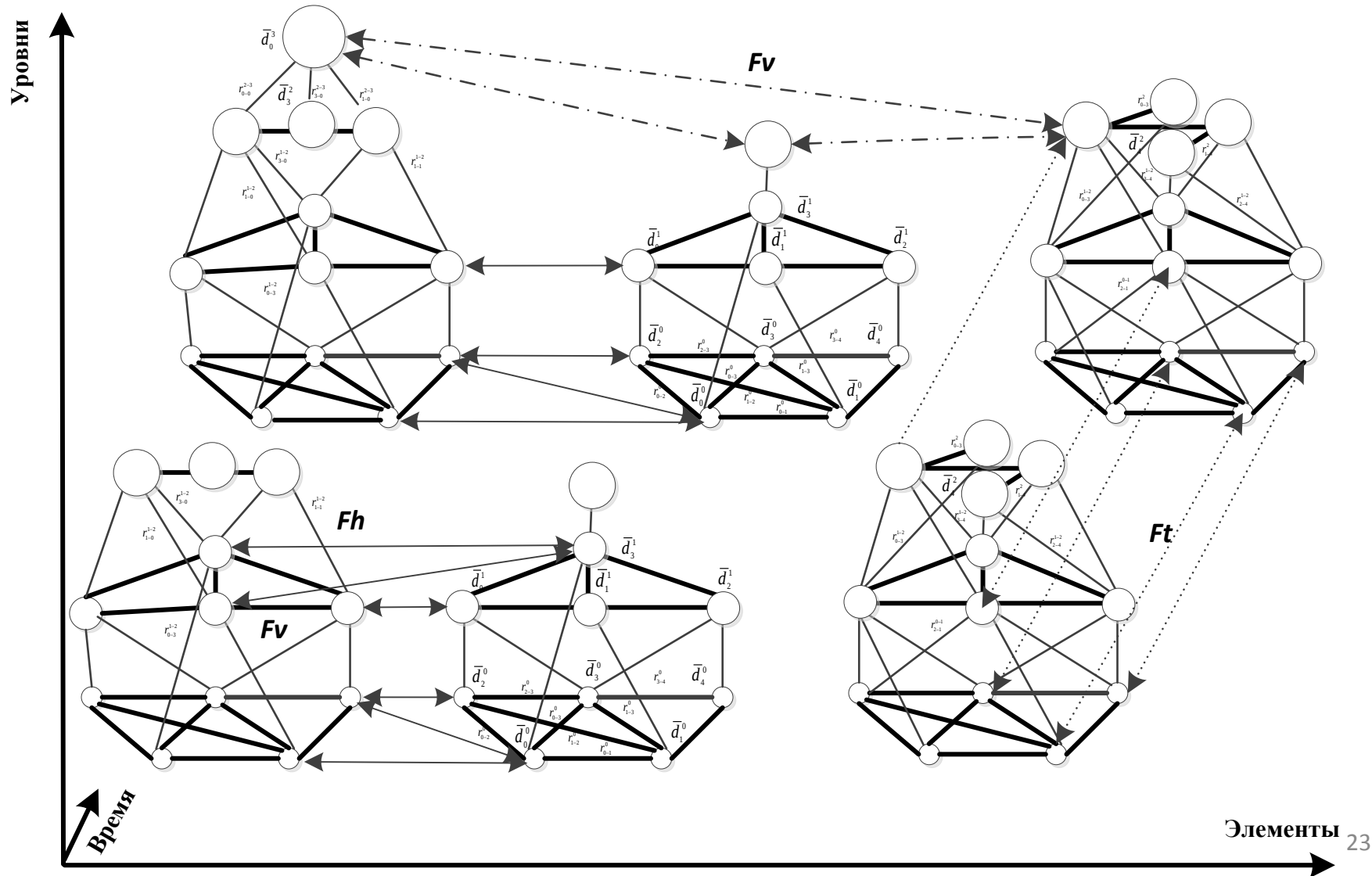


Первый научный результат (продолжение)

Модели объектов мониторинга (продолжение)

Иерархические относительно-конечные операционные автоматы (продолжение)

Модель состояний объекта мониторинга



Первый научный результат (продолжение)

Типовые формулировки задач многоуровневого синтеза способов мониторинга

Задача 1. Синтез способа мониторинга V_o , исходя из достижения **максимума числа одновременно наблюдаемых объектов**

$$Q_o(V_o, t) = \max_{i \in \Omega} Q_i(V_i(K(t)), K(t), C(t), t), \quad V_i \in E_v; \quad i = \overline{1, I}$$

с периодичностью не ниже заданной: $\Delta T_i(V_i(K(t)), K(t), C(t), t) \geq \Delta T_{зад}$
где $V_i(K(t))$ - способ решения; $C(t)$ - контент; $K(t)$ - контекст.

Задача 2. Синтез способа мониторинга для достижения **максимума информативности** моделей объекта при ограничениях на точность Z и достоверность R .

$$G_o(V_o, t) = \max_{i \in \Omega} G_i(Z_i(V_i, R_i), R_i(V_i), C(t), t);$$

$$Z_i(V_i, R(V_i), t) \geq Z_{зад}; \quad R_i(V_i(K(t)), K(t), t) \geq R_{зад}$$

Задача 3. Синтез способа мониторинга для получения необходимой информации за **минимальное время** T_o , обеспечивающего допустимые значения точности Z и информативности G

$$T_o(V_o, t) = \min_{i \in \Omega} T_i(V_i(K(t)), K(t), C(t), t),$$

$$G_i(V_i, R(V_i), t) \geq G_{дон}; \quad Z(V_i, R_i(V_i), t) \geq Z_{дон}; \quad R_i(V_i, K(t), t) \geq R_{дон};$$

Задача 4. Синтез способа мониторинга по **критерию минимума расхода ресурсов**, обеспечивающего заданную информативность:

$$U_o(V_o, t) = \min_{i \in \Omega} U_i(V_i(K(t)), K(t), C(t), t)$$

$$\Delta G_i(V_i, Z_i(V_i), R_i(V_i), t) \geq G_{зад}; \quad Z_i(V_i, K(t), t) \geq Z_{дон}; \quad R_i(V_i, K(t), t) \leq R_{дон}$$

Первый научный результат (продолжение)

Типовые формулировки задач многоуровневого синтеза моделей процессов мониторинга

Задача 1. Синтез целесообразного процесса мониторинга, исходя из достижения **максимальной скорости обработки** D информации при ограничениях на точность обработки Z , которая определяется объемом информации I и видами обработки L

$$D_o(V_o, \Delta t) = \max_{i \in \Omega} D_i(V_i(K(\Delta t)), K(\Delta t), C(\Delta t))$$

$$Z(V_i, I(\Delta t), L(\Delta t)) \geq Z_{\text{зад}}$$

Задача 2. Синтез целесообразного процесса мониторинга V_o , исходя из **минимизации затрат на перестройку** существующих процессов V' с заданным уровнем информативности моделей объектов :

$$U_o(V_o, t, \Delta t) = \min_{i \in \Omega} U_i(V_i(K(\Delta t), K(\Delta t), C(\Delta t))),$$

$$\Delta B(t, \Delta t) = |B(V_i, t, \Delta t) - B'(V_i, t)|; \quad \Delta G(t, \Delta t) = |G(V_i, t, \Delta t) - G(V', t)|;$$

Задача 3. Синтез целесообразного процесса мониторинга, обеспечивающего **максимальную информативность результатов обработки** с учетом входного контента и контекста при ограничениях на ресурсы:

$$G_o(V_o, \Delta t) = \max_{i \in \Omega} G_i(V_i(K(\Delta t)), K(\Delta t))$$

$$U_i(V_i(K(\Delta t)), t) \leq U_{\text{зад}}$$

Первый научный результат (продолжение)

Типовые формулировки задач многоуровневого синтеза моделей наблюдаемых объектов

Задача 1. Требуется синтезировать модель B_o , обладающую **наибольшей полнотой** по имеющимся контенту и контексту с учетом возможностей получения дополнительной информации за счет синтеза процессов мониторинга :

$$G_o(B_o, t) = \max_{i \in \Omega} G_i(R_i(B_i), K, \Delta K)$$

при ограничениях на достоверность R_i и точность Z_i -ой модели, и ресурсы U_i для ее построения: $R_i(B_i, \Delta K) \geq R_{don}$; $Z_i(R_i(B_i), \Delta K) \geq Z_{зад}$; $U_i(B_i(\Delta K)) \leq U_{зад}$

Задача 2. Требуется синтезировать модель B_o , обладающую **максимумом достоверности** с учетом возможностей получения дополнительной информации :

$$Z_o = \max_{i \in \Omega} Z_i(R_i, \Delta K) \geq Z_{зад};$$

при ограничениях на полноту G_i и затрачиваемое время T_i .

$$R_i(V_i) = (1 - \prod_{j=1}^{\eta_i} (1 - R_{ij}(V_i))); \quad T_i(V_i(\Delta K)) \leq T_{зад}; \quad G_i(V_i, \Delta K) \geq G_{зад}.$$

Первый научный результат (продолжение)

Типовые формулировки задач многоуровневого синтеза моделей объектов мониторинга

Синтез процессов трансформации контента в контексте

Задача 1. Требуется определить способ V_o трансформации, обеспечивающий достижение **минимума времени**, необходимого на обработку, при условии, что точность преобразований Z и достоверность R результата будет не ниже требуемой:

$$T_o(V_o, t) = \min_{i \in \Omega} T_i(K(t), C(t), t),$$
$$Z_i(R_i(V_i), t) \geq Z_{зад}; \quad R_i(V_i(K(t)), C(t), t) \geq R_{дон}$$

Задача 2. Требуется определить способ трансформации V_o , обеспечивающий **максимум точности** преобразований при ограничениях на отводимые ресурсы U :

$$Z_o(V_o, t) = \max_{i \in \Omega} Z_i(K(t), R_i, C(t), t)$$
$$R_i(V_i(K(t)), K(t), C(t), t) \geq R_{дон}; \quad U_i(V_i(K(t))) \leq U_{зад}$$

Задача 3. Требуется определить способ трансформации V_o , обеспечивающий **максимум информативности контента** при ограничениях на время обработки: $K(t)_{\Delta_1}$

$$G_o(V_o, t) = \max_{i \in \Omega} G_i(K(t), R_i, Z_i, C(t), t)$$
$$Z_i(V_i(K(t)), t) \geq Z_{дон}; \quad R_i(V_i(K(t)), C(t), t) \geq R_{дон}$$
$$T_i(V_i(K(t)), K(t), t) \leq T_{зад}$$

Параметры могут оцениваться на единицу объема обрабатываемого потока $K(t)_{\Delta_1}$. 27

Второй научный результат

Методы многоуровневого синтеза моделей объектов мониторинга:

1. Обобщенный метод многоуровневого синтеза моделей наблюдаемых объектов.
2. Метод многоуровневого индуктивного синтеза локальных статических структур.
3. Метод многоуровневого дедуктивного синтеза глобальных динамических структур.

Второй научный результат (продолжение)

Формулировка задачи многоуровневого синтеза моделей объектов мониторинга

Существующая формулировка задачи синтеза (одноуровневый синтез статических структур):

Известны: $\{d_s\}$; $\{d_w\}$; $\{d_{zve}; e = \overline{1, E}\}$; $\{F_{zve}; z = \overline{1, Z}; v = \overline{1, V_z}\}$; $\{P_{zv}\}$;

$\{d_s\} = \{d_s^0\}$ - исходные элементы данных; $\{d_w\} = \{d_w^0\}$ - конечный результат;

$\{d_{zv}\} = \{d_{zv}^0\}$ - внутренние элементы;

$\{F_{zve} : F_{zve}^0(d_{zve}^0) \rightarrow d_{zv_s}^0\}$ - различные функции, связывающие элементы;

$P_{zv} = P_{zv}^0 = P_{zv0}^0(F_{zv0}^0(\bullet)), P_{zve}^0(d_{zve}^0)$ - предикаты, соответствующие функциям и элементам.

Требуется: построить модель, связывающую $\{d_s\}$ и $\{d_w\}$ между собой:

$$OKA = \left\{ \begin{array}{l} F_{zv}(d_{zve}; e = \overline{1, E_z}) \rightarrow d_{zv_q}; \\ \{d_s\}; \{d_w\}; z = \overline{1, Z}; v = \overline{1, V_z} \end{array} \right\}$$

Новая формулировка задачи синтеза (многоуровневый синтез динамических структур):

Известны: $\{d_s(t_i)\}; t_i \in \overline{[1, T]}$

Условия:
$$\left. \begin{array}{l} \{d_s\} \rightarrow \{\{d_s^0(t_i)\}, \{d_s^1(t_i)\}, ..., \{d_s^j(t_i)\}, ..., \{d_s^L(t_i)\}\} \\ \{d_w\} \rightarrow \{\{d_w^0(t_i)\}, \{d_w^1(t_i)\}, ..., \{d_w^j(t_i)\}, ..., \{d_w^L(t_i)\}; t_i \in [0; T]\} \end{array} \right\}$$

- элементы представимы по уровням, число уровней L не определено.

Требуется: построить многоуровневую модель: $DOKA(t_k); t_k \in \overline{[1, T]}$

Второй научный результат (продолжение)

Обобщенный метод многоуровневого синтеза моделей объектов

Общая структура



Второй научный результат (продолжение)

Метод многоуровневого синтеза моделей объектов (продолжение)

Постановка задачи индуктивного и дедуктивного синтеза моделей объектов

Постановка задачи индуктивного многоуровневого синтеза (в статике):

Заданы $\{d_s\}$ и типы правил их связывающих: DF_{zv} ; $z = \overline{1, Z}$; $v = \overline{1, V_z}$

Требуется: построить многоуровневую связанную структуру $\{d_w^i\}$:

$$d_w^i : F_{zv}^i(d_{zve}^i; e = \overline{1, E_z}) \rightarrow d_{zva}^i; \quad z = \overline{1, Z}; \quad v = \overline{1, V_{iz}}; \quad i = \overline{1, L};$$

$$F_{zv}^i(\cdot) \in FB^i; \quad d_{zve}^i, d_{zva}^i \in DD^i$$

Определить предикаты $P_{zv0}(F_{zv0}(\cdot)), P_{zv1}(d_{zv1}), \dots, P_{zva}(d_{zva})$: $\{P_{zv0} \wedge P_{zv1} \wedge, \dots, P_{zve_z} \rightarrow P_{zva} \mid S_{zv}, M_{zv}\}$
 S_{zv} - статус zv -го условия; M_{zv} - множество условий, при которых значения истинны.

Постановка задачи дедуктивного многоуровневого синтеза (в динамике):

Заданы $\{d_s^0(t_k)\}, \{d_s^1(t_k)\}, \dots, \{d_s^i(t_k)\}, \dots, \{d_s^L(t_k)\}$ - исходная структура по уровням;

$\{d_w^0(t_{k\pm\Delta t})\}, \{d_w^1(t_{k\pm\Delta t})\}, \dots, \{d_w^i(t_{k\pm\Delta t})\}, \dots, \{d_w^L(t_{k\pm\Delta t})\}$ - результирующая структура по уровням.

Требуется: связать структуры по уровням:

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{zve}^0 : (d_{zve}^0(t_k), F_{zve}^0(t_k)) \xrightarrow{C_{zve}^{0,j}(F_{zve}^0(\cdot)), C_{zve}^{0,j}(d_{zve}^0(\cdot))} d_{zva}^j(t_{k\pm\Delta t}) \\ F_{zve}^1 : (d_{zve}^1(t_k), F_{zve}^1(t_k)) \xrightarrow{C_{zve}^{1,j}(F_{zve}^1(\cdot)), C_{zve}^{1,j}(d_{zve}^1(\cdot))} d_{zva}^j(t_{k\pm\Delta t}) \\ \dots \\ F_{zve}^L : (d_{zve}^L(t_k), F_{zve}^L(t_k)) \xrightarrow{C_{zve}^{L,j}(F_{zve}^L(\cdot)), C_{zve}^{L,j}(d_{zve}^L(\cdot))} d_{zva}^j(t_{k\pm\Delta t}) \end{array} \right\}$$

и определить условия существования связей C_{zv}^i .

Второй научный результат (продолжение)

Метод многоуровневого синтеза моделей объектов (продолжение)

Метод индуктивного синтеза моделей объектов

1. Анализ результатов измерений параметров, построение стационарных T_j , $j = \overline{1, N}$ интервалов анализа: $T = \sum_{j=0}^{N-1} T_j$
2. Синтез допустимых множеств элементов входных DA^0 , выходных DB^0 данных и внутренних элементов DC^0 модели на нулевом уровне: $\{DA^0, DB^0, DC^0\}$
3. Синтез допустимых множеств связей между элементами FB^0 и с элементами выхода FC^0 модели на нулевом уровне: $\{FB^0, FC^0\}$.

4. Синтез допустимых множеств элементов на i уровне и связей между ними:

$$\{DA^i, DB^i, DC^i, FB^i, FC^i\}$$

5. Синтез расширенного множества допустимых связей i -го уровня с учетом связей с другими уровнями: $\{FB^{i,j}, FC^{i,j}; i \neq j; j = \overline{1, L}\}; FB^i \supset FB^{i,j}; FC^i \supset FC^{i,j}$.

6. Синтез логических условий для элементов и связей между ними:

$$P_{zv0}^i(F_{zv0}^i(\cdot)), P_{zv1}^i(d_{zv1}^i), \dots, P_{zva}^i(d_{zva}^i) \{P_{zv0}^i \wedge P_{zv1}^i \wedge, \dots, P_{zve}^i \rightarrow P_{zva}^i \mid S_{zv}^i, M_{zv}^i, z = \overline{1, Z} : v = \overline{1, V}\}$$

S_{zv}^i - статус условия; M_{zv}^i - номера условий, при которых условия истинны / ложны.

7. Синтез наблюдаемых элементов и связей между ними в рамках уровней и между ними:

$$d_w^i : F_{zv}^i(d_{ze}^i; e = \overline{1, E_z}) \rightarrow d_{za}^j; z = \overline{1, Z_i}; v = \overline{1, V_{iz}}; i, j = \overline{1, L};$$

$$F_{zv}^i(\cdot) \in FB^i; \quad d_a^i \in DA^i; \quad d_c^i \in DC^i; \quad d_b^i \in DB^i$$

Второй научный результат (продолжение)

Метод многоуровневого синтеза моделей объектов (продолжение)

Метод дедуктивного синтеза моделей объектов

1. Синтез локальных структур на анализируемом интервале:

$$T = [T_a; T_b]; d_w(t_k) : t_k \in [T_a; T_b]$$

2. Синтез состава и типов зависимостей между элементами различных локальных структур i уровня:

$$\{F_{zv}^i(t_k, t_{k \pm \Delta t}); z = \overline{1, Z}; v = \overline{1, V}; i = \overline{1, L}\}$$

3. Синтез параметров S установленных зависимостей i уровня:

$$\{F_{zve}^i(S_{zve}, \Delta t); e = \overline{1, E_z}; i = \overline{1, L}\}$$

4. Синтез расширенного множества связей i -го уровня с учетом связей с другими j -ми уровнями:

$$\{F_{zve}^{i,j}(S_{zve}, \Delta t)\}; F_{zve}^i \supset F_{zve}^{i,j}$$

5. Синтез условий, при которых наблюдаются элементы и зависимости :

$$\left\{ C_{zve}^{i,j}(F_{zve}^{i,j}(\cdot)), C_{zve}^{i,j}(d_{zve}^{i,j}(\cdot)); i = \overline{1, L} \right\}$$

6. Синтез результирующей структуры:

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{zve}^0(S_{zve}, \Delta t) | C_{zve}^i : (d_{zve}^0(t_k), F_{zve}^0(t_k)) \xrightarrow{C_{zve}^{i,j}(F_{zve}^{i,j}(\cdot)), C_{zve}^{i,j}(d_{zve}^{i,j}(\cdot))} d_{zva}^j(t_{k \pm \Delta t}) | C_{zve}^j \\ \dots \\ F_{zve}^L(S_{zve}, \Delta t) | C_{zve}^i : (d_{zve}^L(t_k), F_{zve}^L(t_k)) \xrightarrow{C_{zve}^{i,j}(F_{zve}^{i,j}(\cdot)), C_{zve}^{i,j}(d_{zve}^{i,j}(\cdot))} d_{zva}^j(t_{k \pm \Delta t}) | C_{zve}^j \end{array} \right\}$$

7. Масштабирование на интервалы $[T_A; T_B]$ и/или $[T_{a_i}; T_{b_i}]$. $[T_A; T_B] \subset [T_a; T_b] \subset [T_{a_i}; T_{b_i}]$

Третий научный результат

Методы многоуровневого синтеза моделей процессов и программ мониторинга:

1. Метод многоуровневого синтеза моделей процессов мониторинга.
2. Метод многоуровневого синтеза моделей программ мониторинга.

Третий научный результат (продолжение)

Постановка задачи дедуктивного синтеза моделей процессов и программ

Формулировка задачи синтеза многоуровневых процессов:

Заданы исходная структура $d_s = \{d_s^0(t_k)\}, \{d_s^1(t_k)\}, \dots, \{d_s^i(t_k)\}, \dots, \{d_s^L(t_k)\}$ и

результатирующая структура $d_w = \{d_w^0(t_k)\}, \{d_w^1(t_k)\}, \dots, \{d_w^i(t_k)\}, \dots, \{d_w^L(t_k)\}$.

Определены функции их связывающие при условиях $C_{zve}(\cdot)$:

$$F_{zv} : \left\{ \begin{array}{l} F_{zve}^0(d_{zve}^0) | C_{zve}^i \xrightarrow{C_{zve}^{i,j}(\cdot)} d_{zva}^j | C_{zve}^j \\ \dots \\ F_{zve}^L(d_{zve}^L) | C_{zve}^L \xrightarrow{C_{zve}^{L,j}(\cdot)} d_{zva}^j | C_{zve}^j \end{array} \right\}$$

где $F_{zv}^i(\cdot) \in FB^i, FC^i$; $d_{zve}^i, d_{zva}^i \in DD_i$; $e = \overline{1, E_z}$; $z = \overline{1, Z}$; $v = \overline{1, V_z}$; $i = \overline{1, L}$.

Требуется: синтезировать процесс $\{d_s\} \rightarrow \{d_w\}$ для условий $C_{zv}(\cdot)$:

$$PR = \{F_{zv}(d_{zve}; e = \overline{1, E_z}) \rightarrow d_{zva}; \{d_s\}; \{d_w\}; \{C_{zv}(\cdot)\}; z = \overline{1, Z}; v = \overline{1, V_z}\}.$$

Формулировка задачи синтеза многоуровневых программ:

Задан синтезированный процесс PR :

$$PR = \{F_{zv}^i(d_{zve}^i; e = \overline{1, E_z}); \{d_s^i\}; \{d_w^i\}; z = \overline{1, Z}; v = \overline{1, V_z}\}.$$

Требуется: синтезировать соответствующую процессу PR программу PRG :

$$PRG = \{S_{zv}(d_{zve}; e = \overline{1, E_z}) \rightarrow d_{zva}; \{d_w\}; \{d_s\}; z = \overline{1, Z}; v = \overline{1, V_z}\};$$

где S_{zv} - структурный элемент программы PRG , соответствующий функции F_{zv} .

Третий научный результат (продолжение)

Метод многоуровневого синтеза моделей процессов мониторинга

Решение задачи синтеза на верхнем уровне

$$! \doteq \Gamma - \mathbf{J}$$

2. Обработка логических условий для уровня

$$C_{zve}^{L-2,j}(\cdot); \quad j = \overline{1, L-1};$$

3. Доказательство существования перехода $\{d_s^{L-1}\} \rightarrow \{d_w^{L-1}\}$

4. Добавление доказанных результатов к данным $\{d_s^{L-1}\}$, не доказанных - к целям $\{d_w^{L-1}\}$.

5. Для не доказанных целей обращение к условиям задачи на более низких уровнях i :

$$\{d_s^{L-2}\} \xrightarrow{C_{zve}^{L-2,j}(\cdot)} \{d_w^{L-2}\}, \dots, \{d_s^i\} \xrightarrow{C_{zve}^{i,j}(\cdot)} \{d_w^i\}, \dots, \{d_s^0\} \xrightarrow{C_{zve}^{0,j}(\cdot)} \{d_w^0\}; \quad i = \overline{L-2, 0};$$

6. Проверка достижимости целей $\{d_w\}$ по результатам синтеза.

8. Построение результирующих процессов по уровням

$$PR = \left\{ F_{zv}^{L-1}(d_{zve}^{L-1}; e = \overline{1, E_z}) \rightarrow d_{zva}^{L-1}; \{d_s^{L-1}\}; \{d_w^{L-1}\}; \{C_{zv}^{L-1,j}(\cdot)\}; j = \overline{1, L-1}; z = \overline{1, Z}; v = \overline{1, V_z} \right\}$$

$$PR = \left\{ F_{zv}^0(d_{zve}^0; e = \overline{1, E_z}) \rightarrow d_{zva}^0; \{d_s^0\}; \{d_w^0\}; \{C_{zv}^{0,j}(\cdot)\}; j = \overline{1, L-1}; z = \overline{1, Z}; v = \overline{1, V_z} \right\}$$

9. Сведение процессов в общий процесс

$$PR = \left\{ F_{zv}(d_{zve}; e = \overline{1, E_z}) \rightarrow d_{zva}; \{d_s\}; \{d_w\}; z = \overline{1, Z}; v = \overline{1, V_z} \right\}.$$

Третий научный результат (продолжение)

Метод многоуровневого синтеза моделей программ мониторинга

1. Построение пространства синтеза для доказательства существования PR для заданных :

$$\{FB(PRG), FC(PRG)\}; \{DD(PRG)\}$$

PR - формальный процесс; PRG - формальная программа.

2. Доказательство существования PR на основе структур PRG с использованием дедуктивного синтеза:

$$\{F_{zv}[i, \bullet](d_{zv_e}[i, \bullet]; e = \overline{1, E_z}) \rightarrow d_{zv_a}; \{d_s = PR[i]\}; \{d_w = PRG[i, \bullet]\}; z = \overline{1, Z}; v = \overline{1, V_z}\};$$

$PRG[k][\bullet] = \{PRG[k, L-1], \dots, PRG[k, i], \dots, PRG[k, 0]\}^T; k = \overline{1, N}; i = \overline{0, L-1}$ - иерархическая структура формальной программы на шаге k и уровне i .

3. Синтез опорной программы: $PRG \subseteq PRG[i][\bullet]$

$$PRG = \{PRG[0, \bullet], \dots, PRG[k, \bullet], \dots, PRG[N, \bullet]\}^T$$

4. Синтез логических условий для элементов опорной программы:

$$c_{zv}(F_{zv}(\bullet)) \rightarrow c_{zv_e}(PRG_{zv_e}); PRG_{zv_e} \subset PRG[k][i]; e = \overline{1, E_z}; z = \overline{1, Z}; v = \overline{1, V_z}$$

PRG_{zv_e} - подпрограммы опорной программы e , $e = \overline{1, E_z}$, реализующий функции zv .

5. Сведение подпрограмм в общую программу с учетом условий:

$$\{c_{zv_e}(PRG_{zv_e}); PRG_{zv_e}; c_{zv_e}(PRG_{zv_e})\}; \\ e = \overline{1, E_z}; z = \overline{1, Z}; v = \overline{1, V_z}.$$

Четвертый научный результат

Методы и модели многоуровневой трансформации данных мониторинга:

1. Метод многоуровневой трансформации данных мониторинга.
2. многоуровневой трансформации данных мониторинга.
3. Методы и модели обеспечения многоуровневой трансформации данных мониторинга.

Четвертый научный результат (продолжение)

Многоуровневая трансформация данных мониторинга

Постановка задачи

Известны: элементы данных на нулевом уровне моделей:

$$\{d_s\} = \{d_s^0\} = \{\xi(t_k), \varsigma(t_k)\}; \quad t_{k-\Delta t} \leq t_k;$$

и конечный результат на уровне l в форме предъявляемых требований R :

$$\{d_w\} = R\{d_w^l, t_k\}; \quad l \leq L;$$

$$t_{k-\Delta t} \leq t_k \leq t_{k+\Delta t}; [t_{k-\Delta t}, t_{k+\Delta t}] \in T_{набл}$$

ξ - контент; ς - контекст; L - уровни модели;
 t_k - текущий момент времени; $T_{набл}$ - период наблюдения.

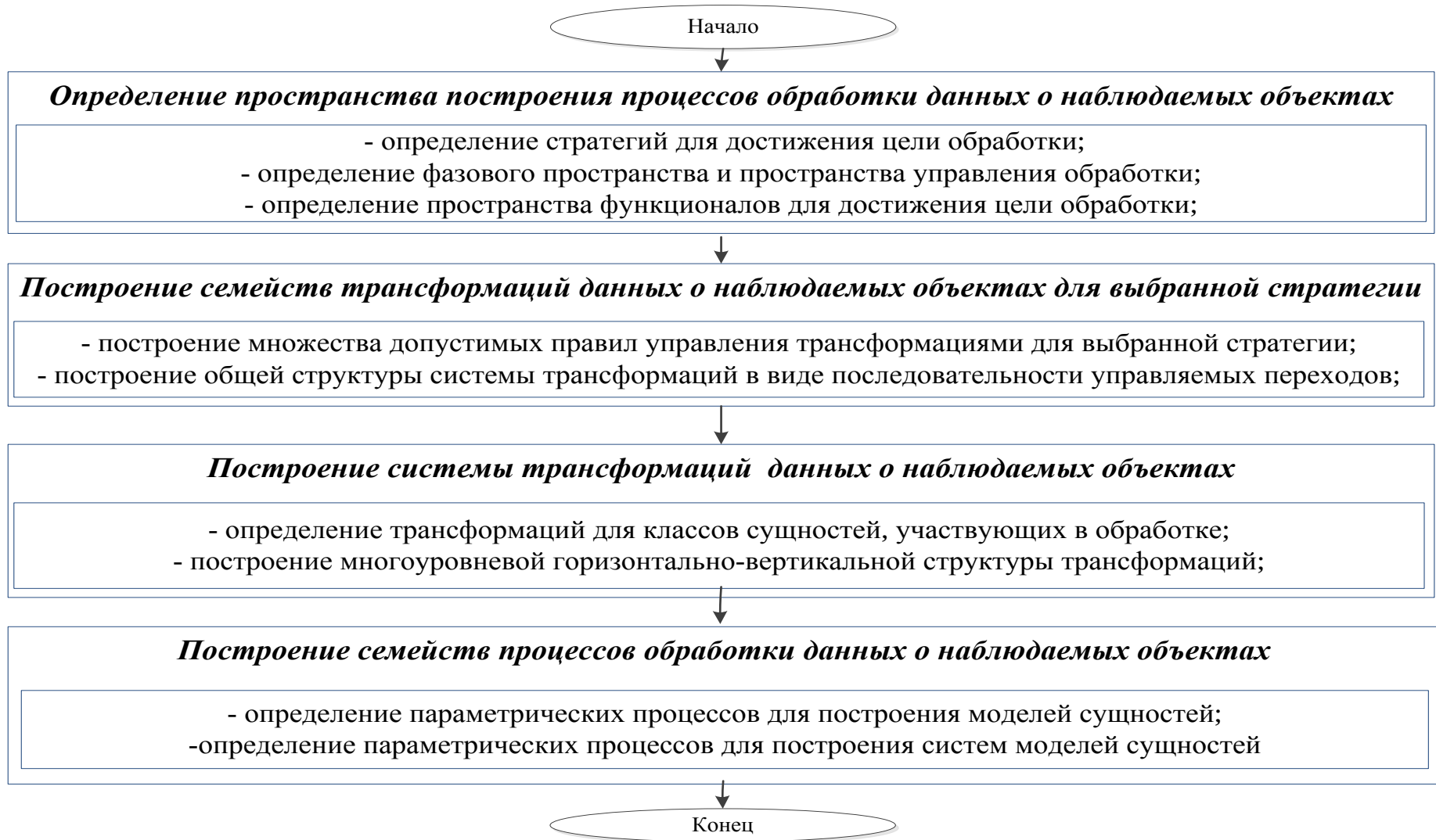
Требуется синтезировать процесс обработки данных:

$$P = \langle p_{uq}^j \mid C_{uq}^j \rangle; \quad j = \overline{1, L}; \quad u = \overline{1, j}; \quad q = \overline{j, L}$$

C_{uq}^j - условия обработки контента в контексте;
 l - требуемый уровень представления данных.

Четвертый научный результат (продолжение)

Метод построения процессов многоуровневой трансформации данных



Четвертый научный результат (продолжение)

Модель процессов многоуровневой трансформации данных

Исходное пространство и результирующий процесс

Исходное пространство синтеза процессов трансформации данных

$K = \{\xi\}$ - процессы обработки *контента*, $\Pi = \{\zeta\}$ - процессы, определяемые *контекстом* обработки, $\Phi = \{\varphi\}$, - *функционалы*, $\Sigma = \{\sigma\}$ - *стратегии* обработки контента в контексте.

Процесс трансформации, реализующий стратегию σ , за конечное время τ можно представить в виде:

$$\Sigma = [\tilde{U}, T_{\zeta_t}, K], t < \tau$$
$$\tilde{U} = \cup U_F, U_F = (X, F, Y)$$
$$F : X^l \times Y^{l-1} \rightarrow Y,$$

где U_F - элементарный процесс;

X - фазовое пространство обработки в контексте;

Y - пространство управления процессами обработки;

F - правила управления процессами; l - глубина памяти;

T_{ζ_t} - параметрическое семейство трансформаций вида $T : D \rightarrow D$;

D - множество допустимых правил управления для заданной стратегии;

K - параметры синтеза, определяющие уровни обработки.

Параметры трансформаций: $\zeta_t = \Psi(\xi, \zeta)$ - статистика процесса в контексте; t - время.

Четвертый научный результат (продолжение)

Модель процессов многоуровневой трансформации данных (продолжение)

Семейства и системы трансформации данных

Семейства трансформаций, обеспечивающих достижение конечной цели на классе $K \times \Phi \times \Pi$ за m итераций за счет управляемых переходов на множестве D

$$F_k = T_{\zeta_k} \otimes F_{k-1} \quad k = \overline{1, m}$$

где F_k - правила управления на k -ом шаге; T_{ζ_k} - состав трансформаций на k -ом шаге, $\otimes$ - операция трансформации.

Системы трансформаций данных об объектах определяются для классов сущностей:

$$T = \{E, T_E, id_E, \circ\}$$

$$T_E = \{\varphi \mid \varphi(\sigma): E^n \rightarrow E, E \in E; n \in \mathbb{N}\}$$

где E - классы сущностей E , $E \in E$; $Cart(E) = \{E^n \mid E \in E; n \in \mathbb{N}\}$; $E^n = E \times E \times \dots \times E$

φ - функционалы, выбираемые в соответствии со стратегией σ ;

$\circ$ - композиция функций, id_E - единичный элемент.

Структура трансформаций: $T_E = \{T_E^G \cup T_E^{GV} \cup T_E^V\}$

T_E^G - вертикальные, T_E^{GV} - горизонтальные, T_E^V - вертикально-горизонтальные.

Четвертый научный результат (продолжение)

Модель процессов многоуровневой трансформации данных (продолжение)

Семейства процессов трансформации данных

Семейства вертикальных процессов трансформации данных обеспечивают построение многоуровневых моделей сущностей:

$$P_E = \{E \rightarrow A_E; A = \psi_\tau(\xi, \zeta); A \in A_E; \tau \in Z\}$$

$$A: A^1 \triangleleft A^2 \triangleleft A^3 \triangleleft \dots \triangleleft A^K$$

$$\psi: \varphi \times A^{i-1} \rightarrow A^i$$

A_E - множество моделей сущности E ; A^i - i -ый уровень модели A ;

$\psi(\xi, \zeta)$ - функционалы обработки на признаковом пространстве $D_f(A)$;

$\tau = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n)$ - параметры процессов обработки; ξ - контент; ζ - контекст.

Семейства горизонтальных процессов трансформации данных обеспечивают построение систем моделей сущностей:

$$P_H = \{r_\tau(\xi, \zeta) | r: A \times A \times \dots \rightarrow A^m; m \in \mathbb{N}\}$$

$$A^m = \{A_i^k \rightleftharpoons A_j^l; i, j = \overline{1, m}; k, l = \overline{1, K}\}$$

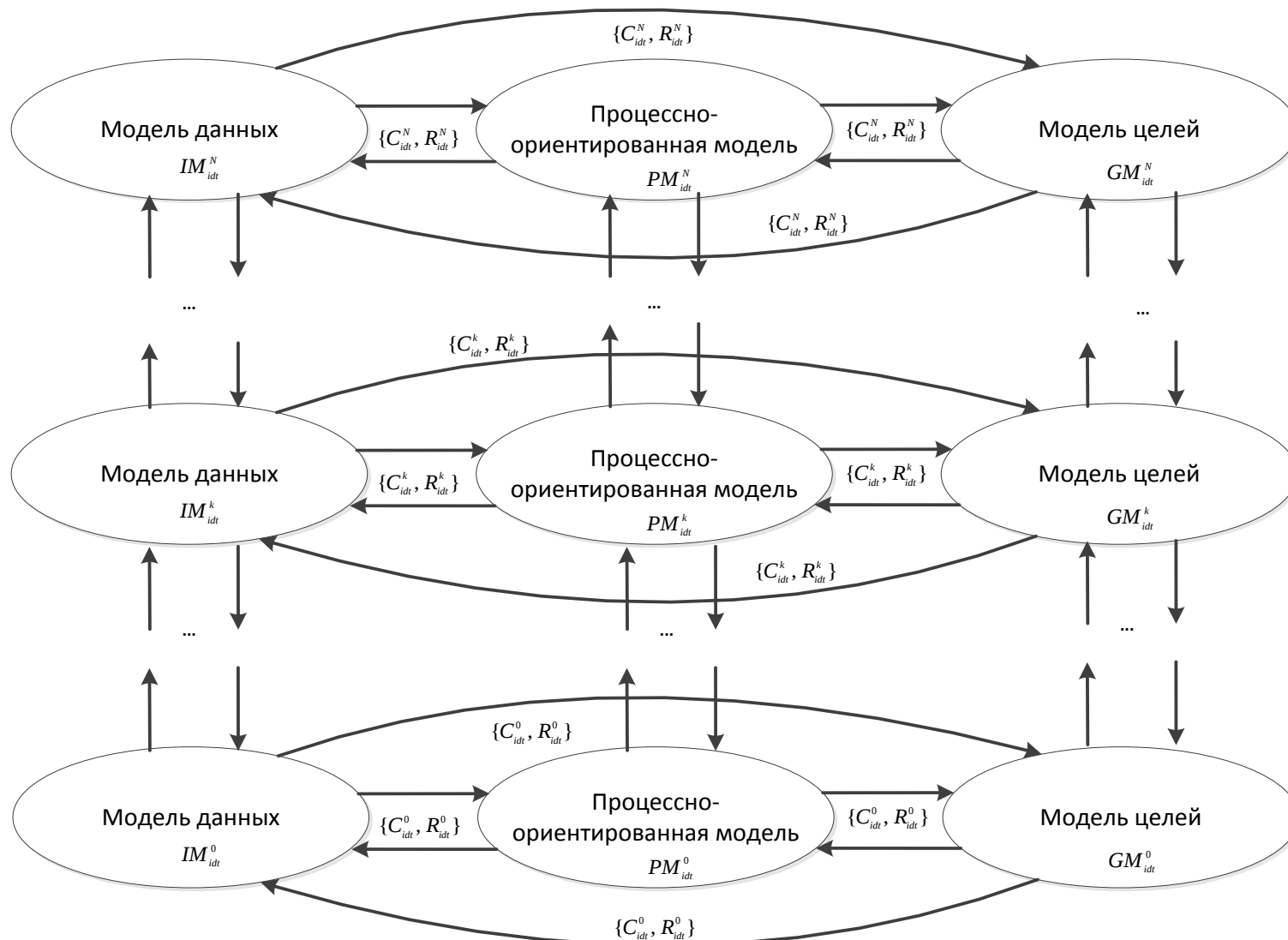
A^m - система из m связанных моделей;

$r(\xi, \zeta)$ - функционалы обработки на признаковом пространстве $D_f(A^m)$.

Четвертый научный результат (продолжение)

Методы и модели обеспечения многоуровневой трансформации данных (продолжение)

Общая модель обеспечения трансформации данных

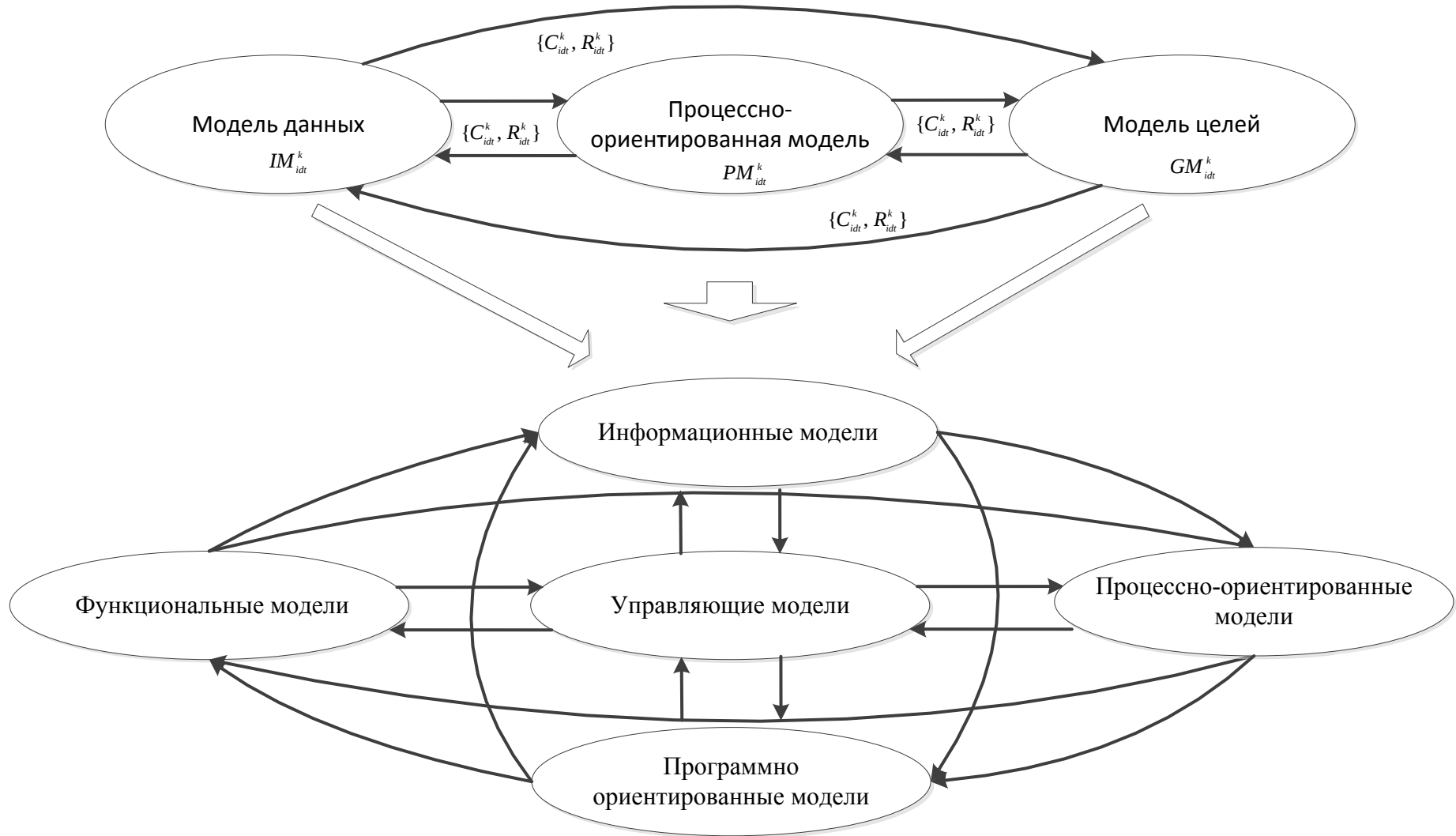


$(C_{idt}, R_{idt}(GM_{dt}, IM_{dt}, PM_{dt}))$ - система правил и условий их применения.

Четвертый научный результат (продолжение)

Методы и модели обеспечения многоуровневой трансформации данных (продолжение)

Состав моделей обеспечения трансформации данных:



Четвертый научный результат (продолжение)

Методы и модели обеспечения многоуровневой трансформации данных (продолжение)

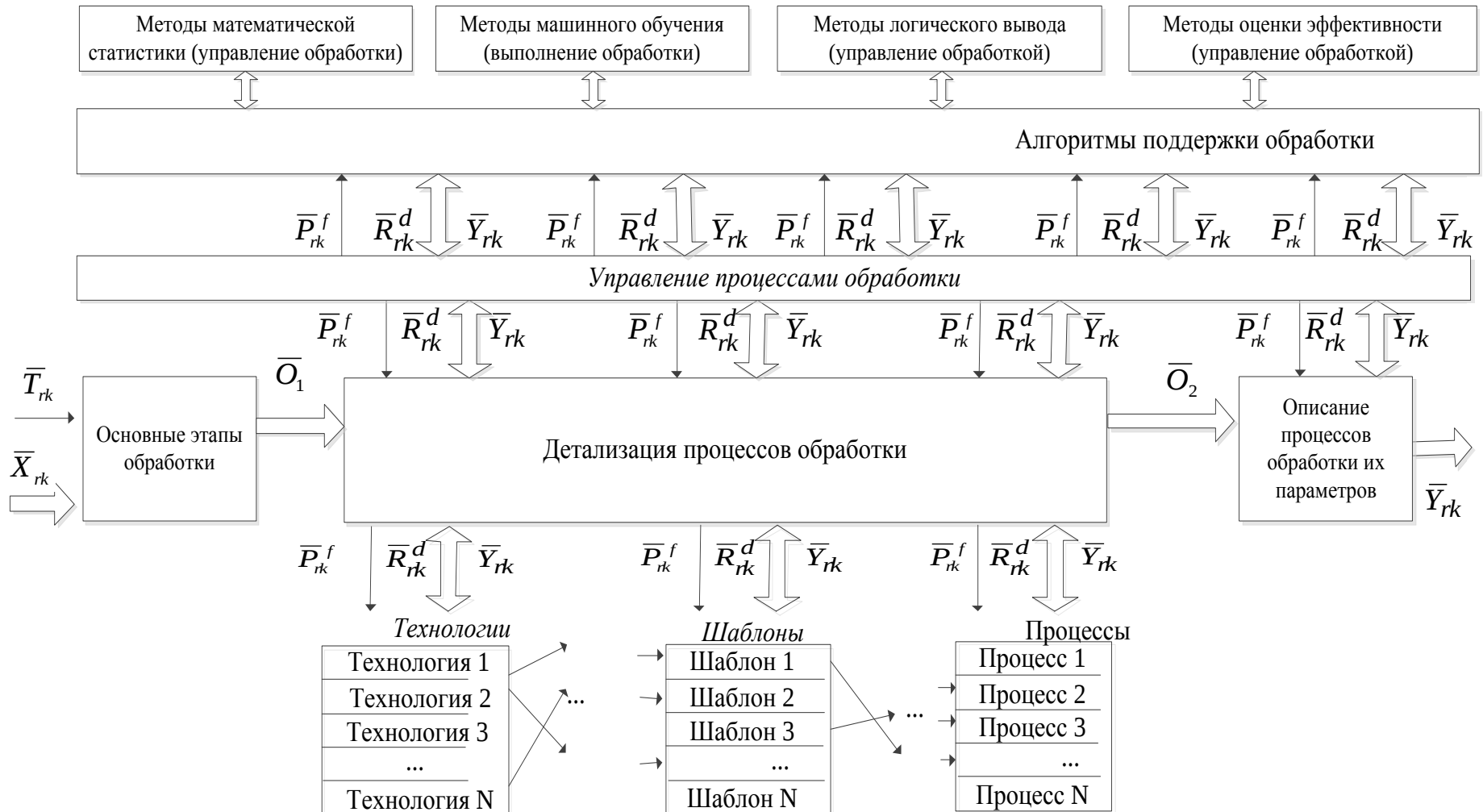
Функциональные модели:



Четвертый научный результат (продолжение)

Методы и модели обеспечения синтеза процессов многоуровневой трансформации данных (продолжение)

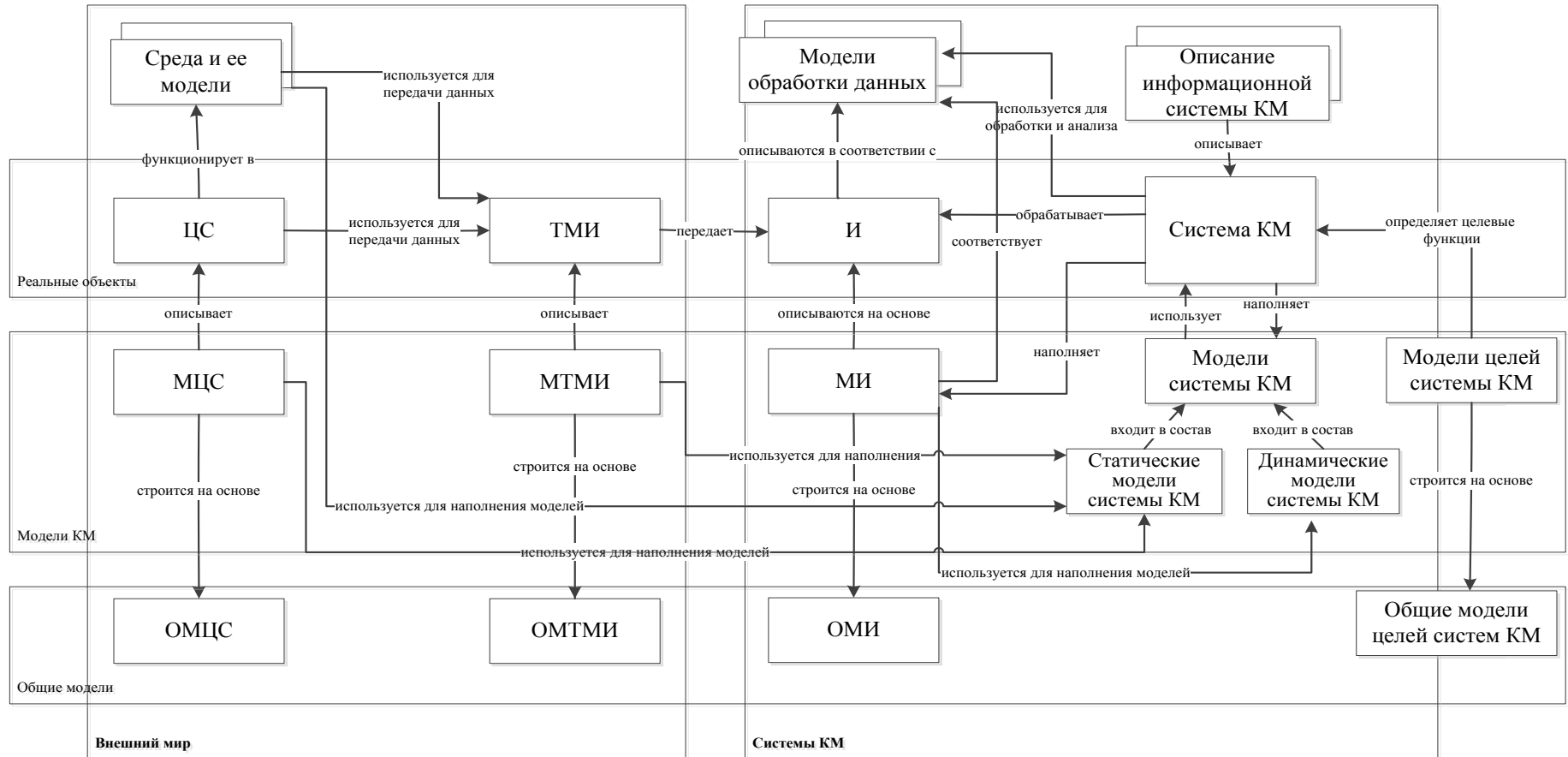
Процессно-ориентированные модели:



Четвертый научный результат (продолжение)

Методы и модели обеспечения синтеза процессов многоуровневой трансформации данных (продолжение)

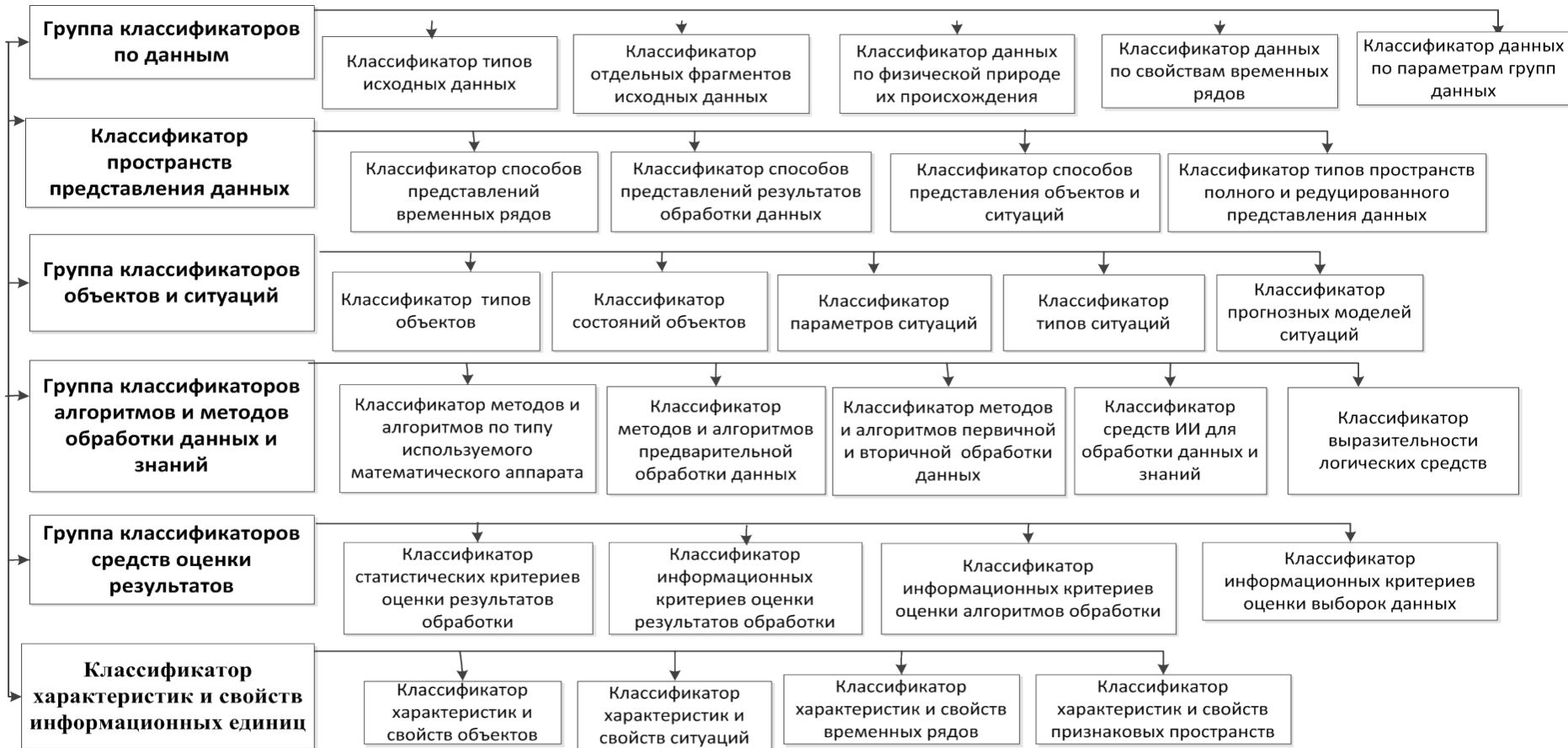
Программно-ориентированные модели :



Четвертый научный результат (продолжение)

Методы и модели обеспечения синтеза процессов многоуровневой трансформации данных (продолжение)

Управляющие модели:



Пятый научный результат

Методы и модели разработки проблемно- и предметно- ориентированных когнитивных систем для мониторинга:

1. Общий метод разработки проблемно- и предметно-ориентированных когнитивных систем (ППКС) для мониторинга.
2. Модель гибкой архитектуры ППКС.
3. Метод гибкого проектирования и сопровождения ППКС для мониторинга.
4. Метод гибкого построения ППКС для мониторинга.
5. Платформа и системы ППКС для мониторинга.

Пятый научный результат

Общий метод разработки проблемно- и предметно- ориентированных когнитивных систем для мониторинга

Основные положения общего метода:

1. ППКС определяют отдельный **класс информационных систем**. В один подкласс объединяются ИС, относящиеся к разным задачам и предметным областям, но использующие похожие решения.
2. Класс ППКС имеет **иерархическую структуру**, включающую многие подклассы систем и конечные системы, формируемые на их основе.
3. При разработке ППКС реализуется **модельный подход** к описанию систем, предусматривающий представление системы в виде совокупности связанных моделей, преобразование которых приводит к преобразованию самой системы.
4. Разработка ППКС предполагает использование **гибких методологий** при проектировании, создании, применении и сопровождении систем.
5. Разработка ППКС ориентирована на **интеграцию различных высокоуровневых элементов**, включая технологии, платформы и т.д.
6. Разработка ППКС поддерживается **инструментальными и программными средствами**, включающими каркасы и их расширения.

Пятый научный результат (продолжение)

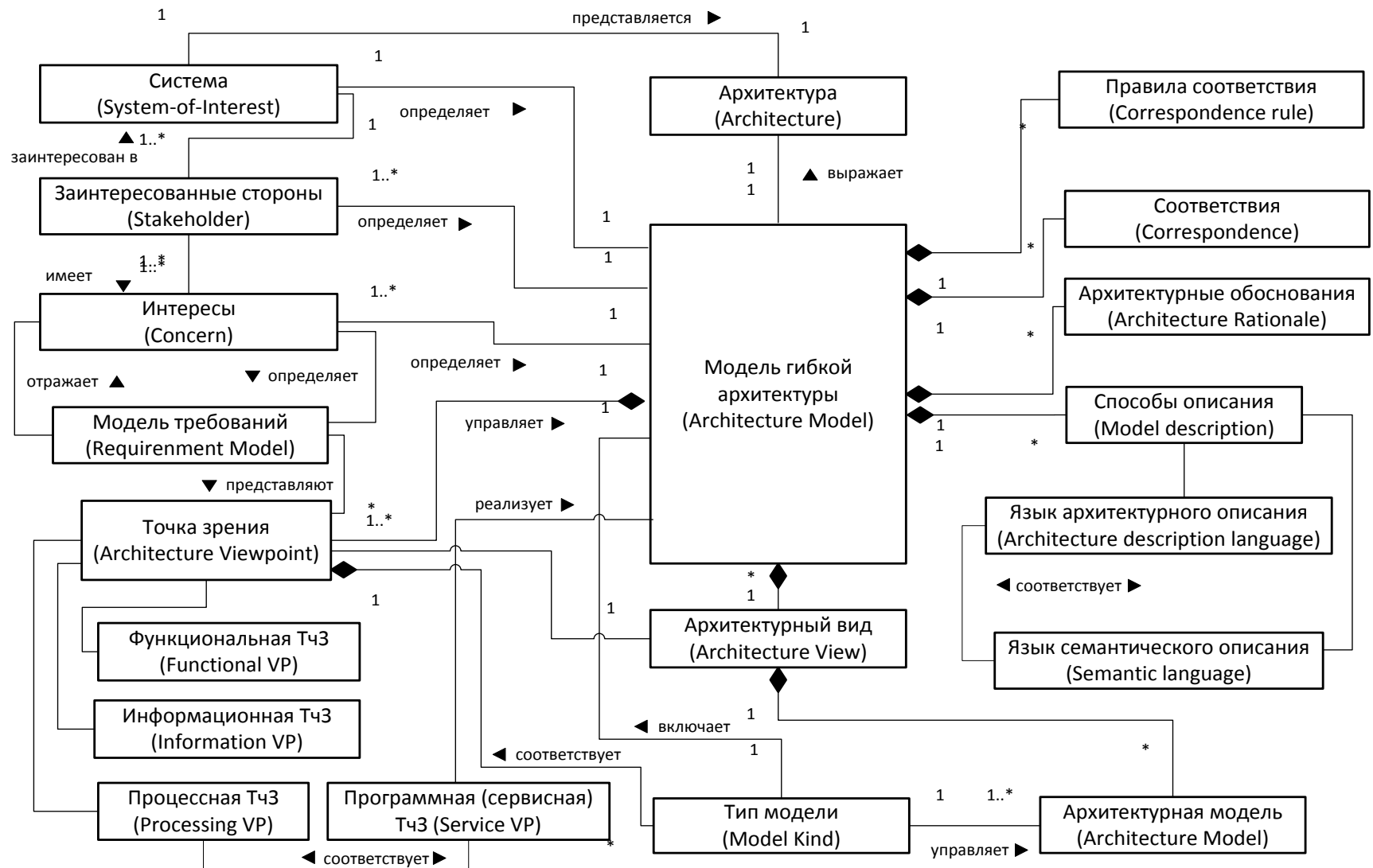
Общий метод разработки проблемно- и предметно- ориентированных когнитивных систем для мониторинга (продолжение)

Основные понятия и их соотношение



Пятый научный результат (продолжение)

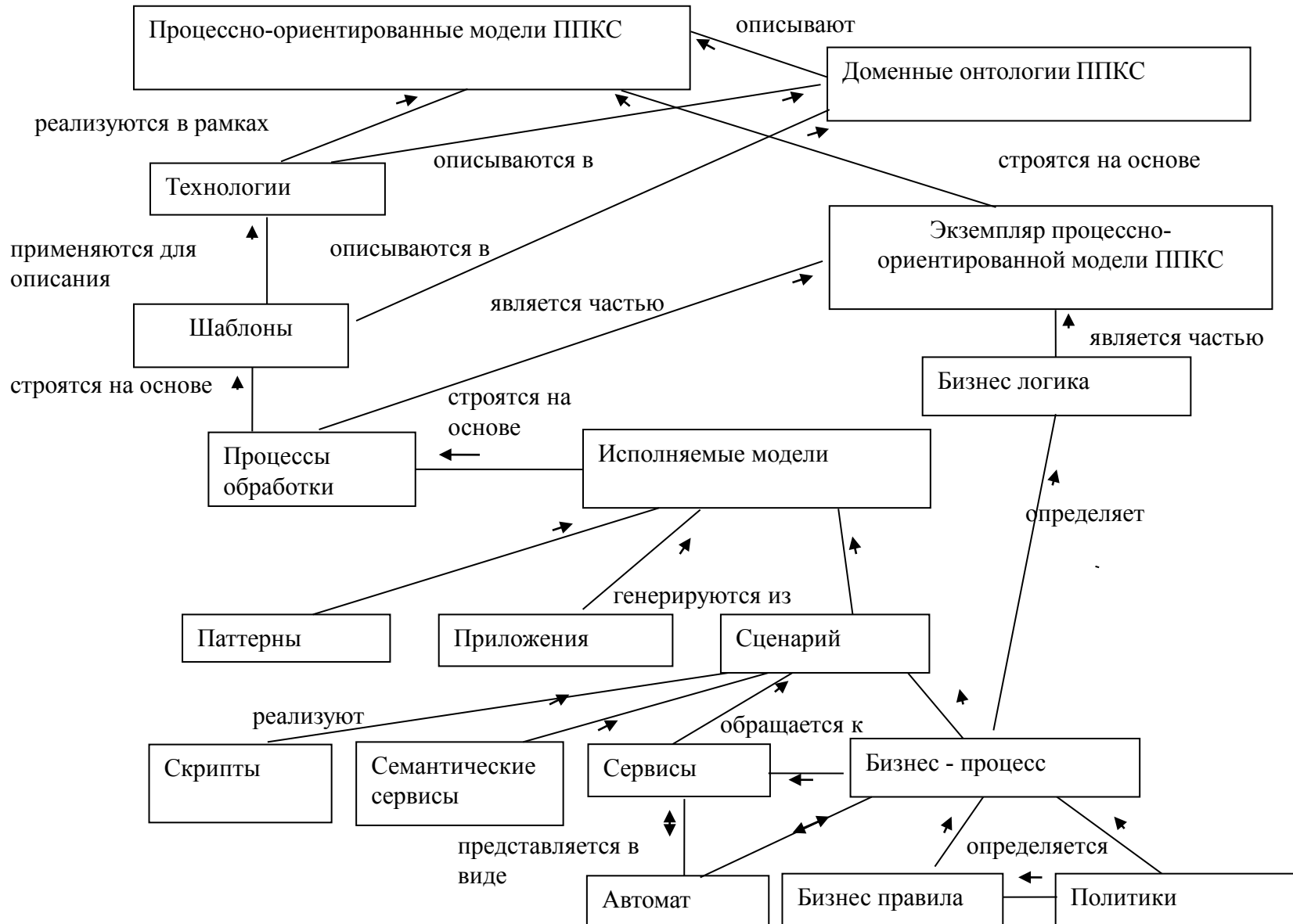
Модель гибкой архитектуры ППКС



Пятый научный результат (продолжение)

Модель гибкой архитектуры ППКС (продолжение)

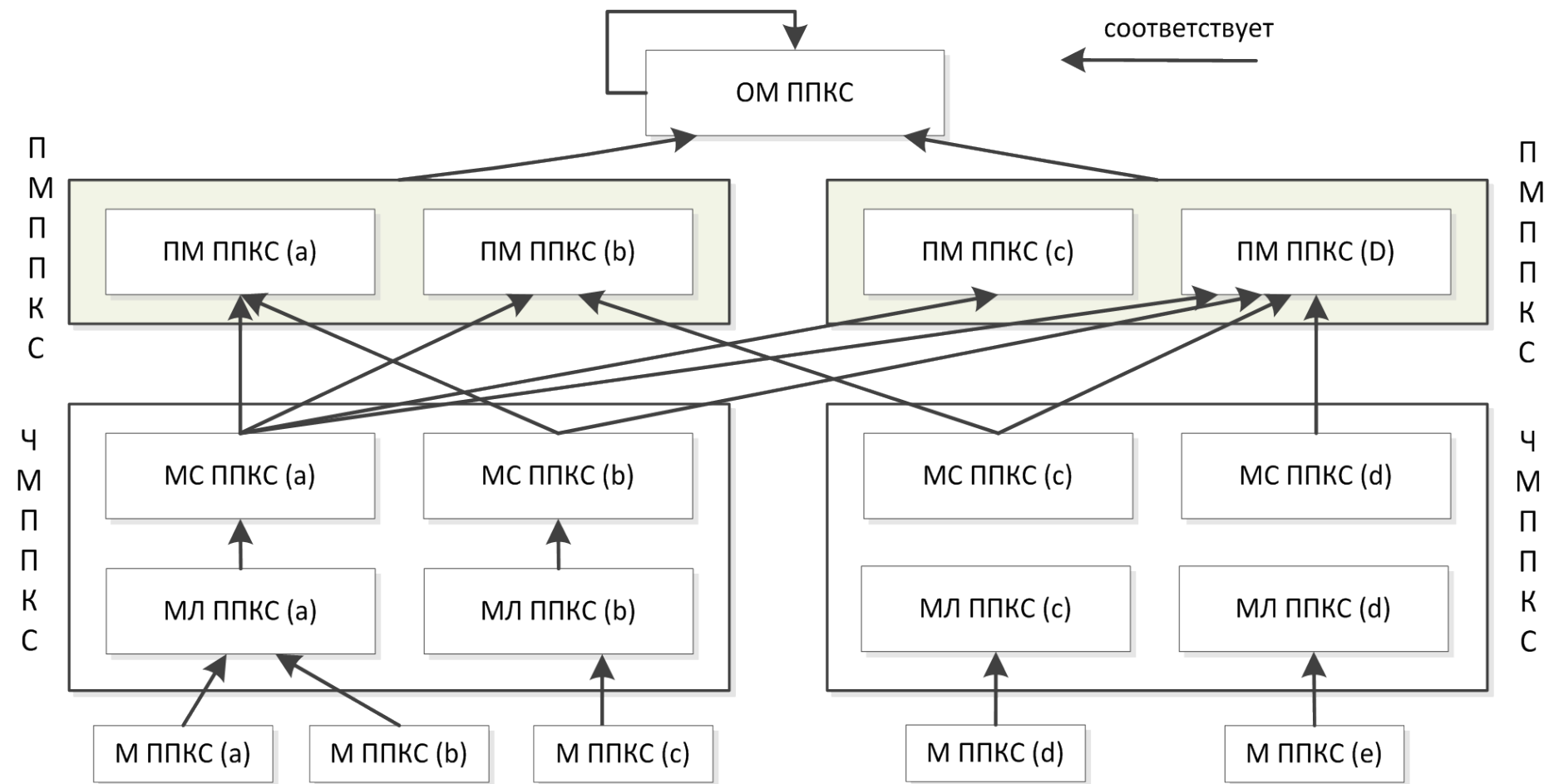
Процессно-ориентированные модели ППКС



Пятый научный результат (продолжение)

Метод гибкого проектирования и сопровождения проблемно- и предметно-ориентированных когнитивных систем для мониторинга

Иерархия проблемно- и предметно- ориентированных когнитивных систем



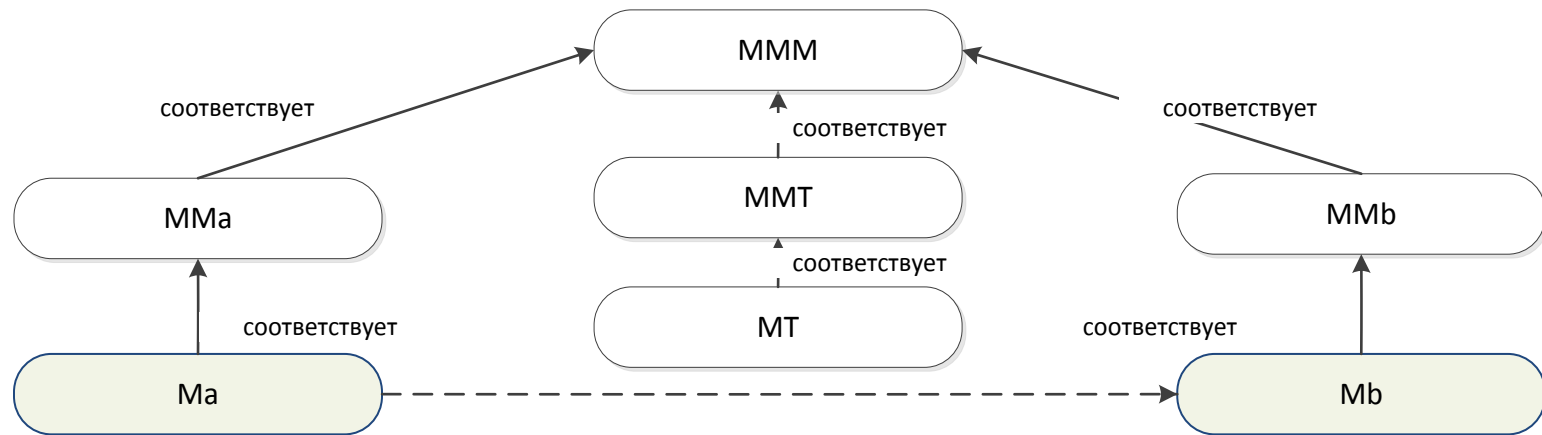
OM – общая модель; ПМ - проблемно / предметно -ориентированная модель; ЧМ – частная модель;
МС – модель семейства; МЛ – модель линейки; М - модель конечной системы

Пятый научный результат (продолжение)

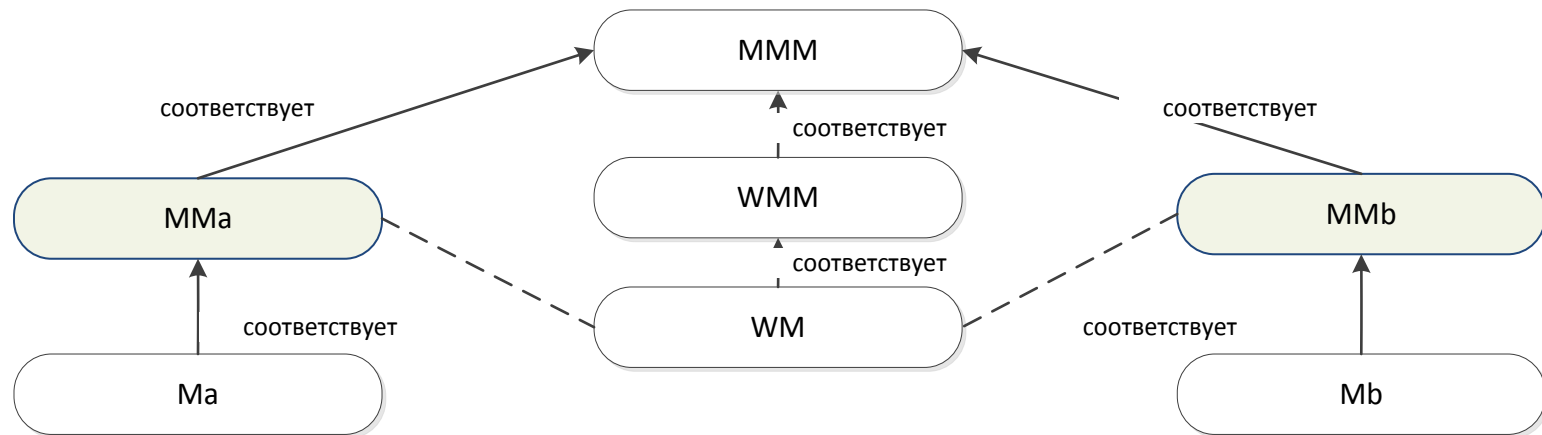
Метод гибкого проектирования и сопровождения ППКС (продолжение)

Модели преобразований

Модель трансформаций (горизонтальных преобразований)



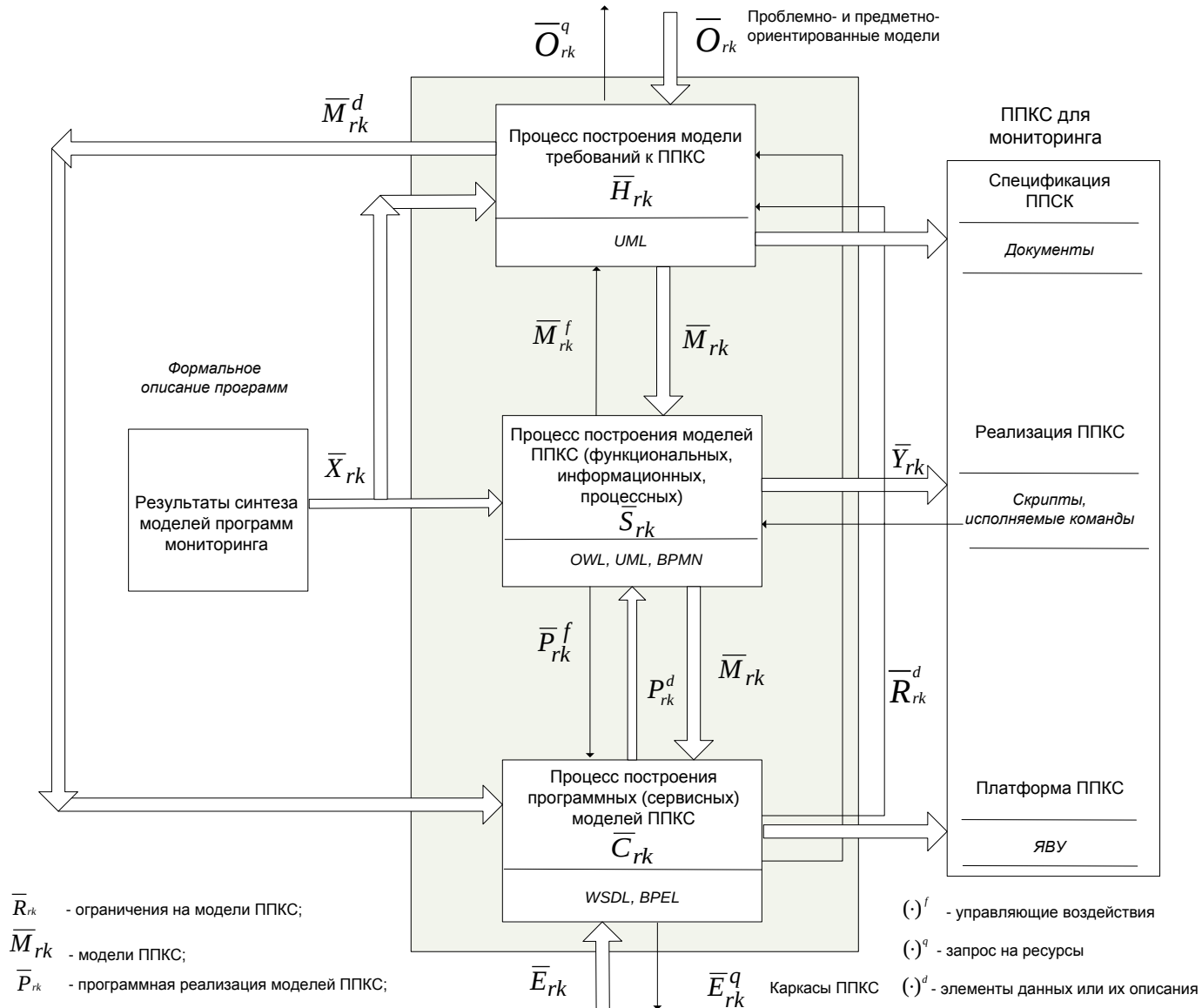
Модель связывания (вертикальных преобразований)



М – модель конечной системы; MM – мета модель; MT - модель трансформаций; MM – модель связывания;

Пятый научный результат (продолжение)

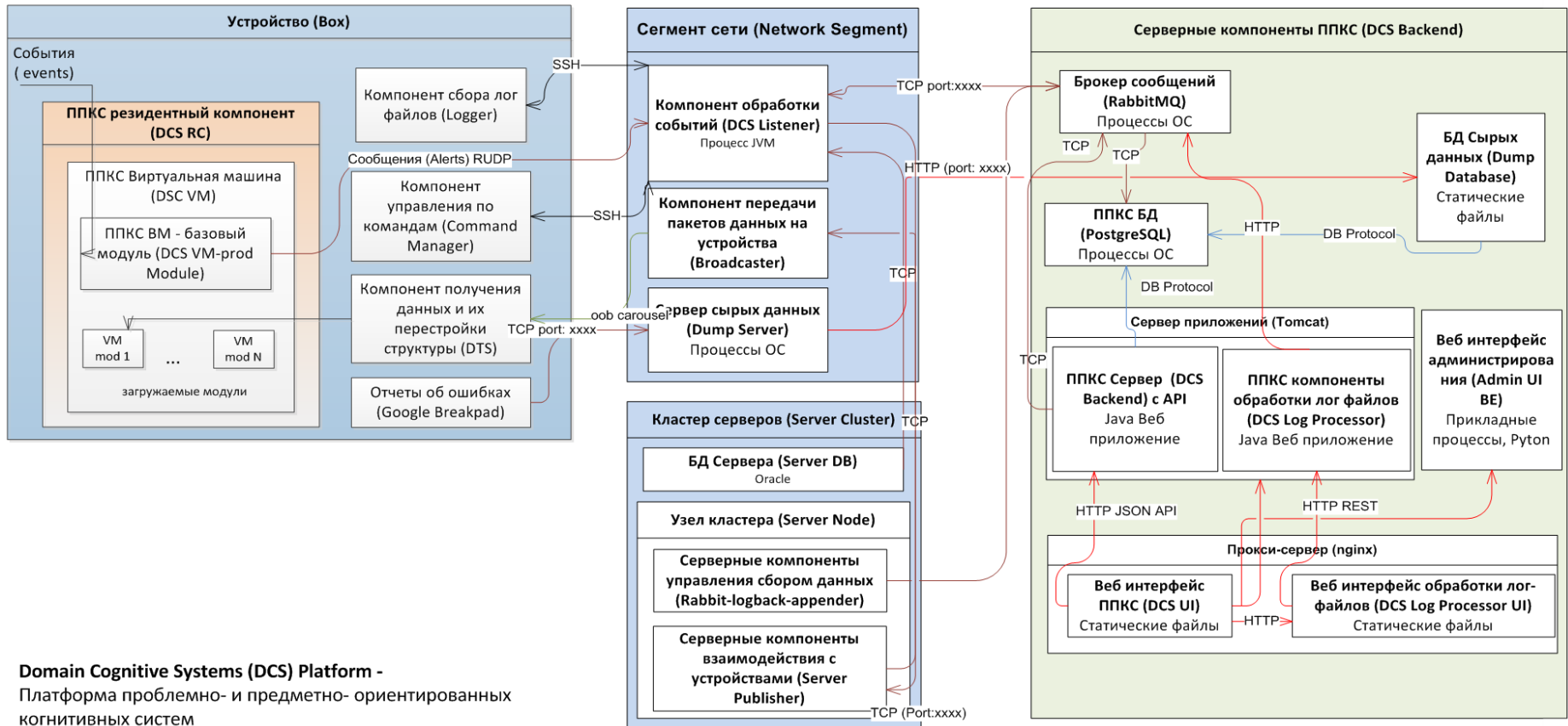
Метод гибкого построения ППКС



Пятый научный результат (продолжение)

Платформа и системы ППКС

Структура ППКС



Domain Cognitive Systems (DCS) Platform -

Платформа проблемно- и предметно- ориентированных когнитивных систем

Шестой научный результат

Методики моделирования объектов по данным мониторинга для прикладных предметных областей:

1. Система программно реализуемых методик синтеза моделей объектов, процессов и программ для когнитивного мониторинга.
2. Рекомендации по обеспечению когнитивного мониторинга в прикладных предметных областях.
3. Комплексы прикладных моделей и методов обработки данных для когнитивного мониторинга в предметных областях.

Шестой научный результат (продолжение)

Система программно реализуемых методик синтеза моделей объектов, процессов и программ для когнитивного мониторинга (продолжение)

Структура общей методики



Шестой научный результат (продолжение)

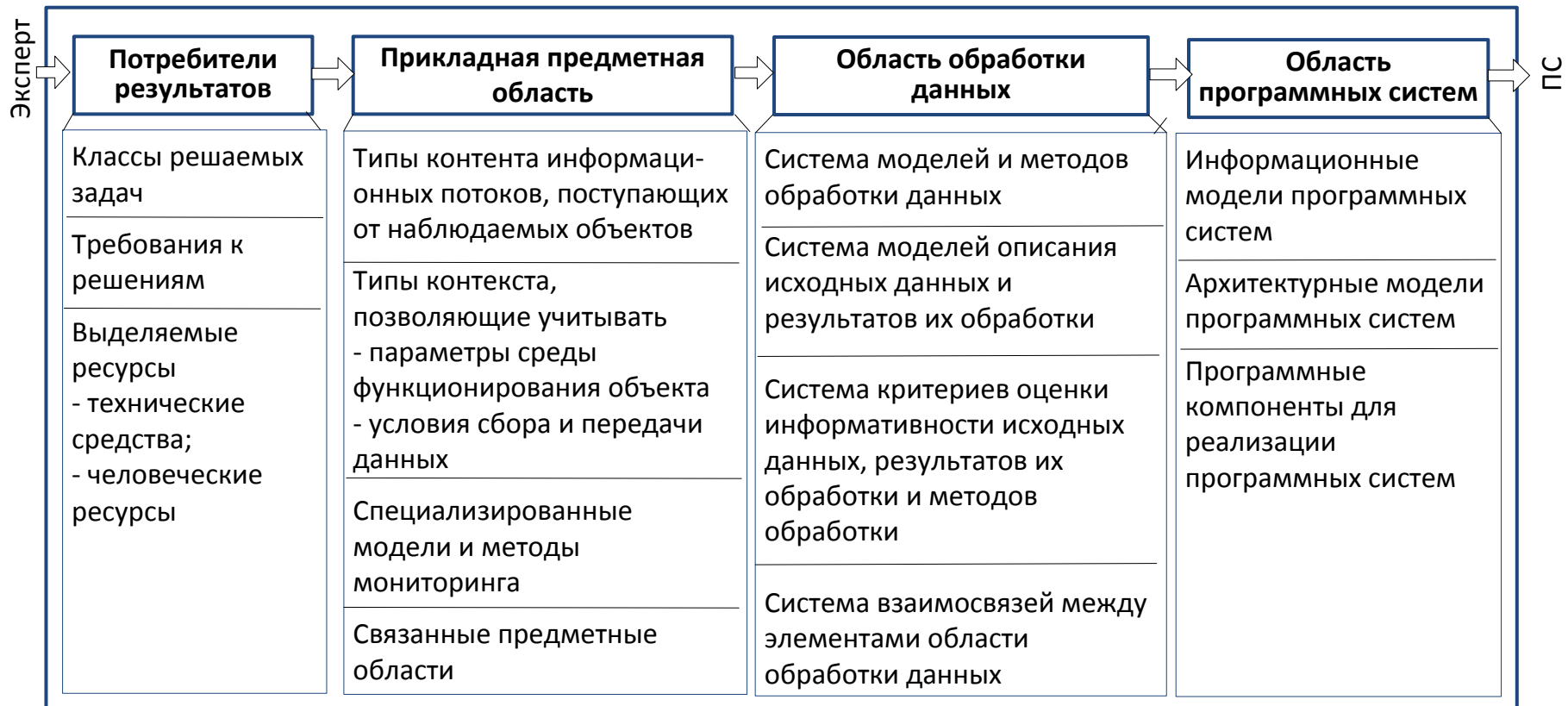
Система программно реализуемых методик синтеза моделей объектов, процессов и программ для когнитивного мониторинга (продолжение)

Методики для прикладных предметных областей



Шестой научный результат (продолжение)

Рекомендации по обеспечению когнитивного мониторинга в прикладных предметных областях



Когнитивный мониторинг в прикладных предметных областях:

- монография “Когнитивные информационные системы мониторинга” (2017);
- монография “Когнитивный мониторинг телекоммуникационных сетей” (2018).

Онтологические модели: <https://github.com/529492252/ontology>

Программная платформа: <https://soylent-grin.github.io/multilevel-modeling/>

Шестой научный результат (продолжение)

Комплексы прикладных моделей и методов для когнитивного мониторинга в предметных областях

Классы решаемых прикладных задач предметных областей

Объекты космического назначения (совместно со специалистами космодромов и полигонов РФ)	Кабельное телевидение (совместно со специалистами операторов кабельного ТВ Северной Америки и Канады)	Практическая и исследовательская медицина (совместно со специалистами ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова»)	Океанография (совместно со специалистами ААНИИ)
Восстановление и анализ ЛТХ и БНО Анализ состояния объектов по результатам измерений их параметров Анализ надежности, безопасности, выявления причин отказов, инцидентов Планирование профилактики и предотвращения происшествий Информационная поддержка средств НТК Оперативное координационное планирование применения средств НАКУ КА	Контроль и своевременное выявление возможных ошибочных ситуаций работы элементов сети Оперативная локализация возникших сбоев в работе сети или ее отдельных элементов Определение целесообразных способов устранения ошибочных ситуаций	Комплексная оценка состояния пациентов по результатам объективных измерений Оперативная локализация возникших сбоев в работе сети или ее отдельных элементов Определение целесообразных способов устранения ошибочных ситуаций	Оперативная обработка океанографических данных Обработка данных специализированных средств измерений и генерация программ адаптивного поведения таких устройств Исследование процессов, протекающих в водных средах

ЛТХ – летно-технические характеристики;
 БНО – баллистико-навигационное обеспечение;
 НТК – научно-технический контроль;

НАКУ – наземные автоматизированные комплексы управления;
 КА - космический аппарат;

Шестой научный результат (продолжение)

Комплексы прикладных моделей и методов для когнитивного мониторинга в предметных областях (продолжение)

Модели и методы многоуровневого синтеза для предметных областей

Модели и методы, разработанные для области объектов космического назначения

- Иерархия моделей описания результатов измерений параметров объектов космического назначения (ОКН);
- Методы восстановления структуры группового телеметрического сигнала (ГТС);
- Методы синхронизация данных ГТС во времени, пространстве, относительно внешних событий;
- Методы восстановления временных рядов значений параметров из ГТС;
- Методы идентификации параметров и выявления функциональных взаимосвязей между ними;
- Методы очистки от шума, сбоев, выбросов временных рядов значений параметров;
- Методы сегментации и кластерного анализа значений параметров ОКН;
- Методы формирования образов параметров ОКН;
- Методы секвенциального анализа временных рядов значений параметров ОКН;
- Методы выявления логических зависимостей в поведении параметров ОКН.

Модели и методы, разработанные для области океанографии

- Иерархия моделей описания результатов измерений параметров водной среды (ВС);
- Модели областей ВС;
- Методы обработки данных специализированных средств измерений;
- Методы адаптивной верификации данных о ВС;
- Методы адаптивной интерполяции данных о ВС;
- Методы совместного анализа профилей параметров ВС;
- Методы адаптивной оперативной и отложенной обработки данных о ВС;
- Методы адаптивного объективного анализа и реанализа данных о ВС;
- Методы построения статистических моделей ВС.

Шестой научный результат (продолжение)

Комплексы прикладных моделей и методов для когнитивного мониторинга в предметных областях (продолжение)

Модели и методы многоуровневого синтеза для предметных областей (продолжение)

Модели и методы, разработанные для области телекоммуникаций

- Иерархические модели состояний и поведения телекоммуникационных сетей (ТКС) по их параметрам;
- Система моделей описания источников данных о ТКС;
- Система моделей описания одиночных и групповых ошибочных ситуаций, возникающих в ТКС;
- Модели групп пользователей ТКС и их поведения;
- Модели каналов передач ТКС;
- Методы восстановления зависимостей между параметрами элементов ТКС;
- Методы построения шаблонов поведения элементов ТКС;
- Методы предупреждения, локализации и выявления причин возникновения ошибочных ситуаций;
- Методы прогнозирования состояния ТКС и ее элементов;
- Методы динамического построения процессов мониторинга;
- Методы построения программ мониторинга для различных технических средств;
- Методы динамического распределения вычислительных задач мониторинга по элементам ТКС

Модели и методы, разработанные для области практической и исследовательской медицины

- Модели состояний групп пациентов по данным отдельных обследований;
- Модели изменения состояний пациента, восстанавливаемые по объективным данным;
- Модели внешних и внутренних факторов, влияющих на изменение состояния пациента;
- Методы структурирования и систематизации медицинских данных, выявления зависимостей;
- Методы анализа согласованности изменений параметров подсистем организма;
- Методы комплексной оценки состояний пациентов в статике и динамике;
- Методы расчета интегральных показателей состояния пациентов;
- Методы связывания объективных и субъективных данных о состоянии пациентов;
- Методы обогащения моделей за счет данных внешних источников

Шестой научный результат (продолжение)

Комплексы прикладных моделей и методов для когнитивного мониторинга в предметных областях (продолжение)

Критерии эффективности решения задач предметных областей

1. **Существенное повышение точности и достоверности результатов обработки** данных мониторинга
Область: объекты космического назначения
2. **Существенное сокращении времени** их обработки при решении задач мониторинга
Области: объекты космического назначения
3. **Усовершенствование существующих моделей, методов и систем** за счет включения в их состав адаптивных процедур, настройки параметров, внесения изменений в конфигурацию
Области: океанография
4. **Расширение числа решаемых прикладных задач** в результате модификации постановок существующих задач, а также рассмотрения принципиально новых, ранее не решавшихся задач требующих аппарата системного анализа.
Области: практической и исследовательской медицины
5. **Увеличение объема потребляемой информации** в интересах решения прикладных задач за счет автоматического синтеза
Области: практической и исследовательской медицины; Телекоммуникаций
6. **Развитие информационного пространства связанных данных** за счет связывания синтезируемых новых и существующих информационных элементов.
Области: практической и исследовательской медицины
7. **Расширение области применения программных систем** мониторинга за счет низкой стоимости их проектирования и сопровождения, а также удобства работы с ними конечных пользователей, обеспечиваемой адаптивными способностями этих систем.
Области: телекоммуникаций

Результаты моделирования

Оценки сложности синтеза моделей объектов

Индуктивный синтез моделей

Подход / параметр	Одноуровневый	Многоуровневый	Структура
Сложность синтезируемой модели	$O(m + m^2)$	$O(\lg m^k)$	R деревья; m- число элементов; k-число уровней
Сложность восстановления зависимостей	$O(m!)$	$O(mk)$	FP деревья; m- число элементов; k-число уровней

Дедуктивный синтез моделей

Подход / параметр	Одноуровневый	Многоуровневый	Структура
Сложность восстановления зависимостей	$O(m_r m_s)$	$O((n_r n_s) m / n)$	Графовые структуры m_r, m_s – число элементов r-ой и s-ой структур; n – распределение элементов по уровням
Сложность параметризации зависимостей	$O(m_v m_v)$	$O(m_v \lg m_v)$	Множества m_v – пространство параметров элементов;

Результаты моделирования (продолжение)

Оценки сложности синтеза моделей процессов и программ

Дедуктивный синтез моделей процессов

Подход / параметр	Одноуровневый	Многоуровневый	Структура
Сложность синтеза процессов	$NPSpace(m)$	$kNPSpace(m/k)$	ALC логика (RETE; Tableaux) m - число элементов пространства вывода; k-число уровней
Сложность синтеза процессов	$NPExpTime(m)$	$kNPExpTime(m/k)$	SHOIN логика (Pellet) m - число элементов пространства вывода; k-число уровней

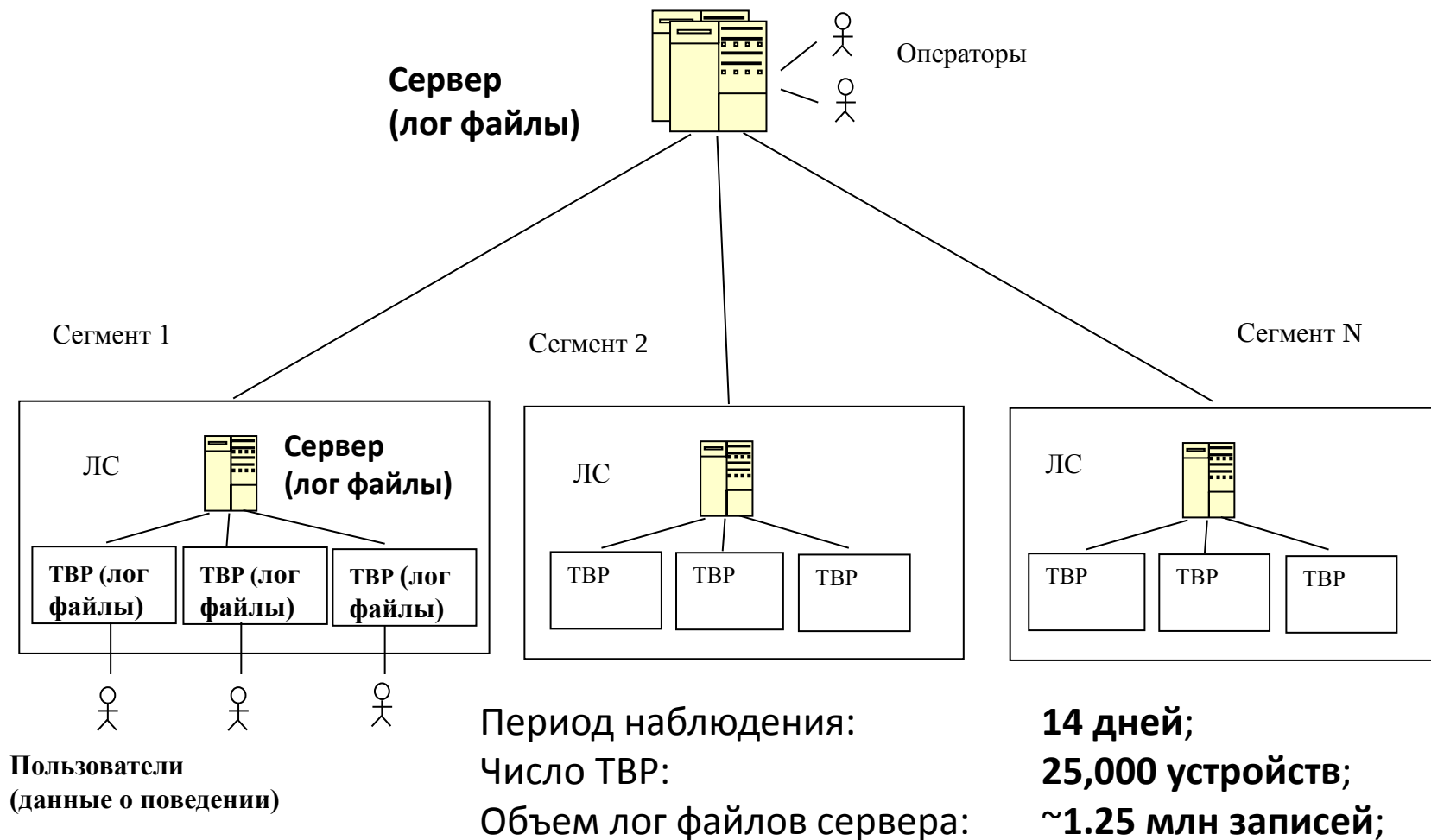
Дедуктивный синтез моделей программ

Подход / параметр	Одноуровневый	Многоуровневый	Структура
Сложность синтеза программы	$O(mn)$	$O(m_i n_i)$	Онтологическая модель m_i – число элементов на уровне; n_i – пространство допустимых программных структур на уровне;

Результаты моделирования (продолжение)

Синтез моделей объектов, процессов, программ мониторинга сетей кабельного телевидения

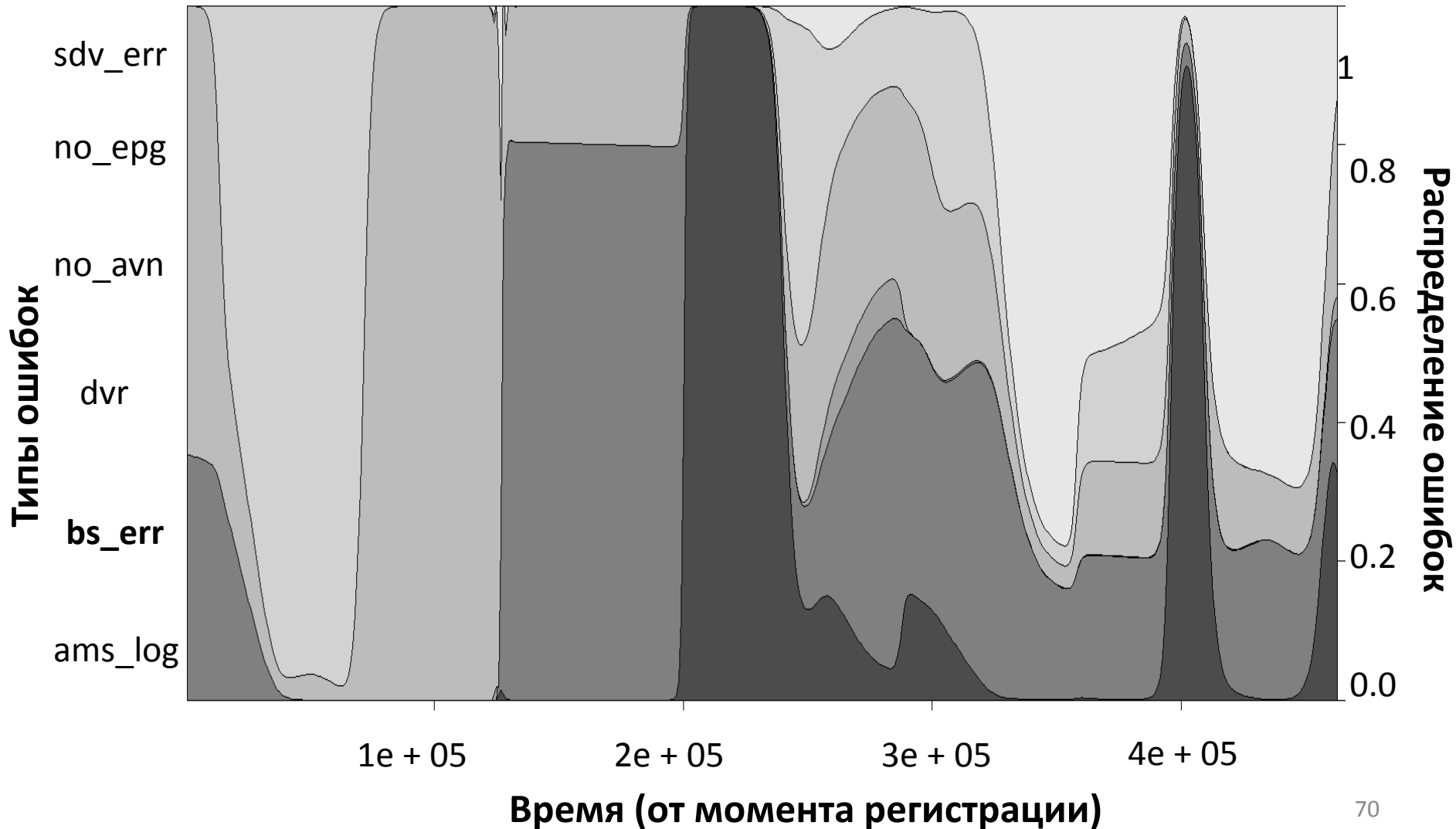
Структура и параметры сети кабельного телевидения



Результаты моделирования (продолжение)

Синтез моделей объектов, процессов, программ мониторинга сетей кабельного телевидения (продолжение)

Динамическая модель зависимостей между группами ошибок в компонентах сети



Результаты моделирования (продолжение)

Синтез моделей объектов, процессов, программ мониторинга сетей кабельного телевидения (продолжение)

Динамическая модель зависимостей между событиями на TBP при отсутствии / наличии ошибки BS_ERR



Результаты моделирования (продолжение)

Синтез моделей объектов, процессов, программ мониторинга сетей кабельного телевидения (продолжение)

Динамическая модель зависимостей между событиями на сервере при наличии ошибки BS_ERR

Channel switch key pressed (переключение на канал)

...

Start channel tune (попытка подключения к каналу)

[INF] 05.12.2016 09:06:16.682 [DOB2PE] [949:995 DOB2::AppThread] :4892 [I]

ScriptLogger: [start] 357004 [AGG][reportDCEvent] "TuneStart" 5189833 :
25621|10575|1480946776|357004|TUNE_NUMERIC(4)

...

Channel not available popup is shown (канал не доступен)

ScriptLogger: [start] 2902588 [AGG][reportDCEvent] "AppSessionComplete" 5161625 :
APP_OVERLAYS(7)|1480928792|2902588|1480928132|REASON_SUSPENSION(29)|0

...

Channel retune completed (попытка повторного подключения к каналу)

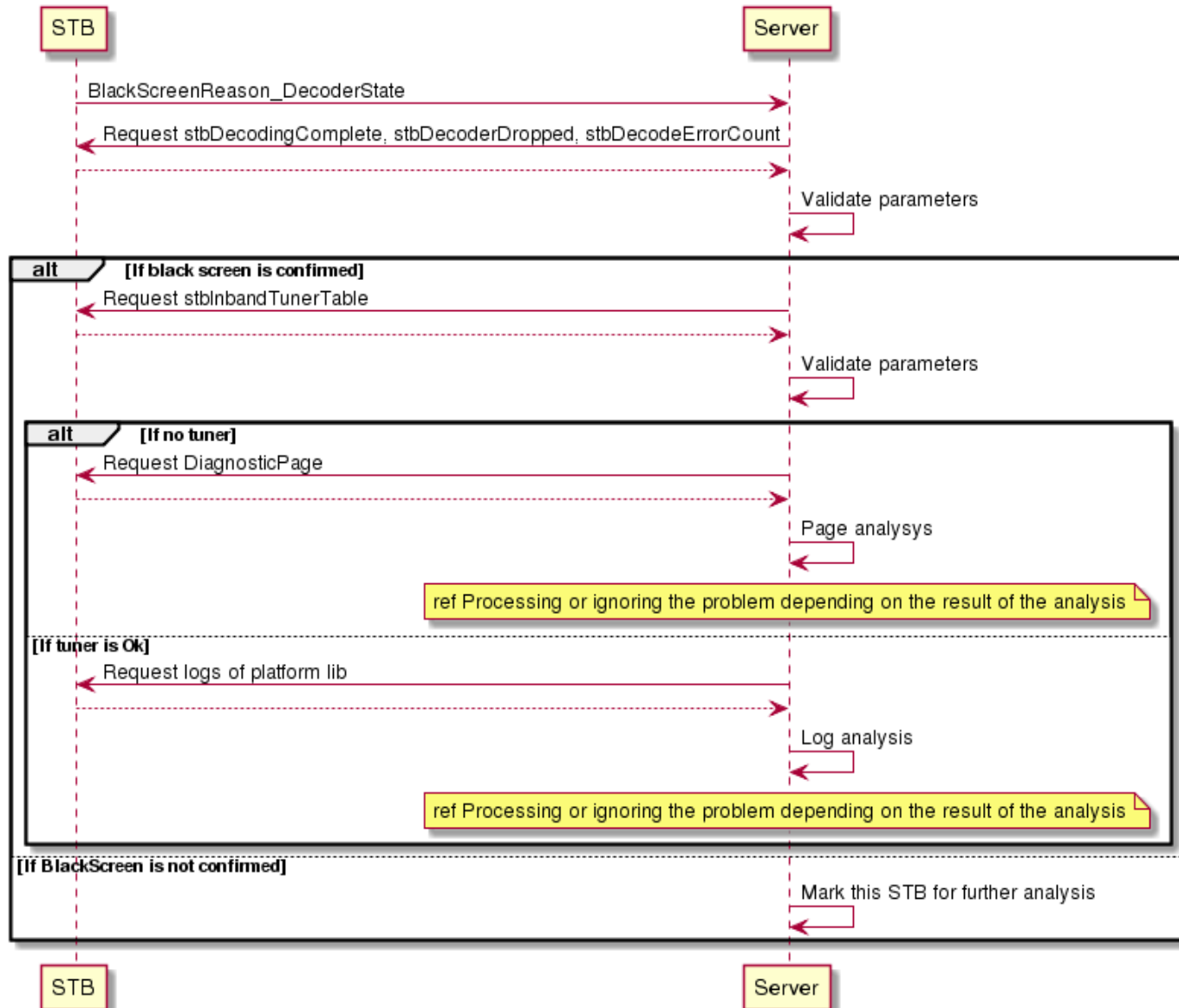
ScriptLogger: [start] 2907901 [AGG][reportDCEvent] "TuneComplete" 5174545 :
10575|36

ScriptLogger: [start] 2907626 [AGG][reportDCEvent] "AppSessionComplete" 5161625 :
APP_CHANNEL_BAR(1)|1480928841|2907626|1480928835|REASON_TIMER(2)|0

Результаты моделирования (продолжение)

Синтез моделей объектов, процессов, программ мониторинга сетей кабельного телевидения (продолжение)

Модель процесса локализации ошибки BS_ERR (BS_ERR_DecoderState)



Результаты моделирования (продолжение)

Синтез моделей объектов, процессов, программ мониторинга сетей кабельного телевидения (продолжение)

Модель программы мониторинга BS_ERR (BS_ERR_DecoderState) на TBP

```
start() {  
    // регистрация программы  
    register("dc:AppLaunch(int screen, int startTime, int  
        timestampPartMsec, int reason, int channel)", AppLaunch);  
    register("dc:AppSessionComplete(int app, int appEndTime, int  
        timestampPartMsec, int sessionId, int reason, int  
        clientSessionId)", AppSessionComplete);  
  
    // регистрация контролируемых ошибочных ситуаций  
    register("dc:BlackScreen (int reason)", BlackScreen);  
    register("dc:EpgDataError (int date,int type,int error)", EpgDataError);  
    register("dc:SdvError (int reason)", SdvError);  
}
```

Результаты моделирования (продолжение)

Синтез моделей объектов, процессов, программ мониторинга сетей кабельного телевидения (продолжение)

Модель процесса и программы мониторинга BS_ERR (BS_ERR_TunerTimeout) на TBP



// сбор параметров тюнера TBP

SendNoVideoDiag(params)

```
{
    reportInt(vm_ia_firstQamEqGain); // уровень сигнала QAM тюнера
    reportInt(vm_ia_firstQamModulationErrorRatio); // ошибки QAM-тюнера
    reportInt(vm_ia_firstQamSignalLevel); // уровень QAM-сигнала
    reportInt(vm_ia_firstQamSignalToNoiseRatio); // соотношение уровня
                                                сигнала к шуму
    reportInt(vm_ia_firstQamFrequencyTuned); // частота настройки тюнера
    reportInt(vm_ia_firstQamVideoPids); // список видео PIDs в потоке
    reportInt(vm_ia_firstQamAudioPids); } // список аудио PIDs в потоке
}
```

Заключение

Таким образом, поставленная научная проблема решена, получены шесть новых научных результатов:

1. Теоретические основы многоуровневого синтеза моделей наблюдаемых объектов при когнитивном мониторинге.
2. Методы многоуровневого синтеза моделей объектов мониторинга.
3. Методы многоуровневого синтеза моделей процессов и программ мониторинга.
4. Методы и модели многоуровневой трансформации данных мониторинга.
5. Методы и модели разработки проблемно- и предметно-ориентированных когнитивных систем для мониторинга.
6. Методики когнитивного мониторинга для прикладных предметных областей.

В целом, **значимость исследования** для науки и практики состоит в **развитии аппарата синтеза до уровня, обеспечивающего моделирование наблюдаемых объектов средствами информационных систем.**

Публикации

Общее число: 145 публикации;

монографий: 5;

трудов из перечня ВАК: 25;

проиндексированы в Scopus и в WoS: 24

Из них за 2019 год Scopus - 7; ВАК – 2; WiP – 3;
GS – 2.

Внедрение

Опытно-конструкторские работы:

“Алеврит”, “Автоматизм”, “ Галтель - Алеврит ”, «Радиент» , «Математика-ПИК», «Интеграция», «Моренос», «Поиск-СНВ», «Адекватность», «Ленинградка» , «Модернизация», «ИАС-М», «Признак», «Перспектива-ПИК», «Диагностика- НИЦ», «Указчик-ВКО/ПТК ОДПП и ОРИ».

Научно-исследовательские работы:

ONR-Global # 62909-12-1-7013, исследования по программе фундаментальных исследований Президиума РАН №23, «Эстафета-Ф-СПИИРАН», «Радиент» , «Листва-2000-НЦ».

НИОКР:

№ 2007-288. N У-2007-3/1-3, №6947/УНИЦ ПСКС-7, №6937/МО-79, №13-71/МО-87, №13. G25.31.0054/ФКТИ, №2012-1.1-12-000-2010-011, № 012-1.5-12-000-2010-002.

Общее число НИР и ОКР, в которых реализованы результаты: 28.