

## ЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА КОНЦЕПТУАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ (ИАС), ОСНОВАННОЙ НА СЛАБОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ЗНАНИЯХ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ

А.В. Артюхов<sup>1</sup>, Г.Г. Куликов<sup>2</sup>, А.В. Речкалов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> АО «Объединенная двигателестроительная корпорация», г. Москва, Россия,

<sup>2</sup> Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа, Россия

Рассмотрена проблема построения концептуальной модели информационной автоматизированной системы, основанной на знаниях промышленного предприятия и предназначенной для информационной поддержки принятия решений.

Основой таких систем является модельная гипотеза, которая определяет форму представления знаний об исследуемой предметной области. Здесь основная проблема, как правило, состоит в том, что предметная область слабоструктурирована и должна рассматриваться одновременно как с внутренней (системной), так и с внешней стороны. Для последовательного согласования необходимо повысить уровень абстракции модели, что напрямую связано с проблемой описания семантики. Нужно описать свойства отношений между математическими объектами, не зависящими от внутренней структуры объектов, т. е. применение теории категорий и использование логики понятия морфизмов в качестве базового примитива позволяет единообразно трактовать логические и функциональные отношения между объектами. Использование метода Ноэля Хомского синтаксически-ориентированной трансляции открывает путь к созданию формальной теории и методов проектирования ИИС.

В основе структурно-параметрического моделирования рассматриваемой предметной области может лежать классическая модель производственного процесса, которая представляется как процесс взаимодействия производственных ресурсов.

Приведен пример формирования непротиворечивого с точки зрения информационного взаимодействия контура организационно-функционального управления производственной системой с применением ИАС.

Определены необходимые условия формального синтеза самоорганизующейся структуры ИАС, базирующиеся на композиции объектов, – множеств теории категорий, имеющих свойства коммутативности в структуре логического квадрата Декарта, и далее – в декартовом многограннике. Показано, что для таких структур сохраняются правила формальной логики, позволяющие определять возникающие структурные противоречия, т. е. осуществлять контроль состояния процессов.

*Ключевые слова:* система знаний, концептуальная модель, категория множеств, семантическая модель, производственная система, корпоративная информационная система (КИС).

Известно, что в основе построения современных моделей планирования и управления производством класса ERP лежит понимание структуры и закономерностей формирования ресурсного объекта управления – собственно производственных процессов и моделей взаимодействия с внешней средой [1–6]. Данная задача в современных условиях является основой для решения проблемы построения ИАС или экспертных систем (ЭС), входящих в класс искусственных интеллектуальных систем (ИИС). Известно, что базис таких систем составляет модельная гипотеза, определяющая форму представления знаний об исследуемой предметной области (Пр.О) [7, 8].

Основная проблема состоит, как правило, в слабой структурированности предметной области, которая должна рассматриваться одновременно как с внутренней (системной) стороны, так и с внешней. Это затрудняет применение известных математических методов для анализа и синтеза системных свойств, таких как функциональная полнота, целостность, взаимодействие с внешней средой и др. При этом остается проблемой решение задачи преодоления семантического разрыва между содержательными представлениями о предметной области и теми метаязыковыми средствами, которые служат для выражения этих представлений в виде формальных спецификаций (рис. 1) [8–14].

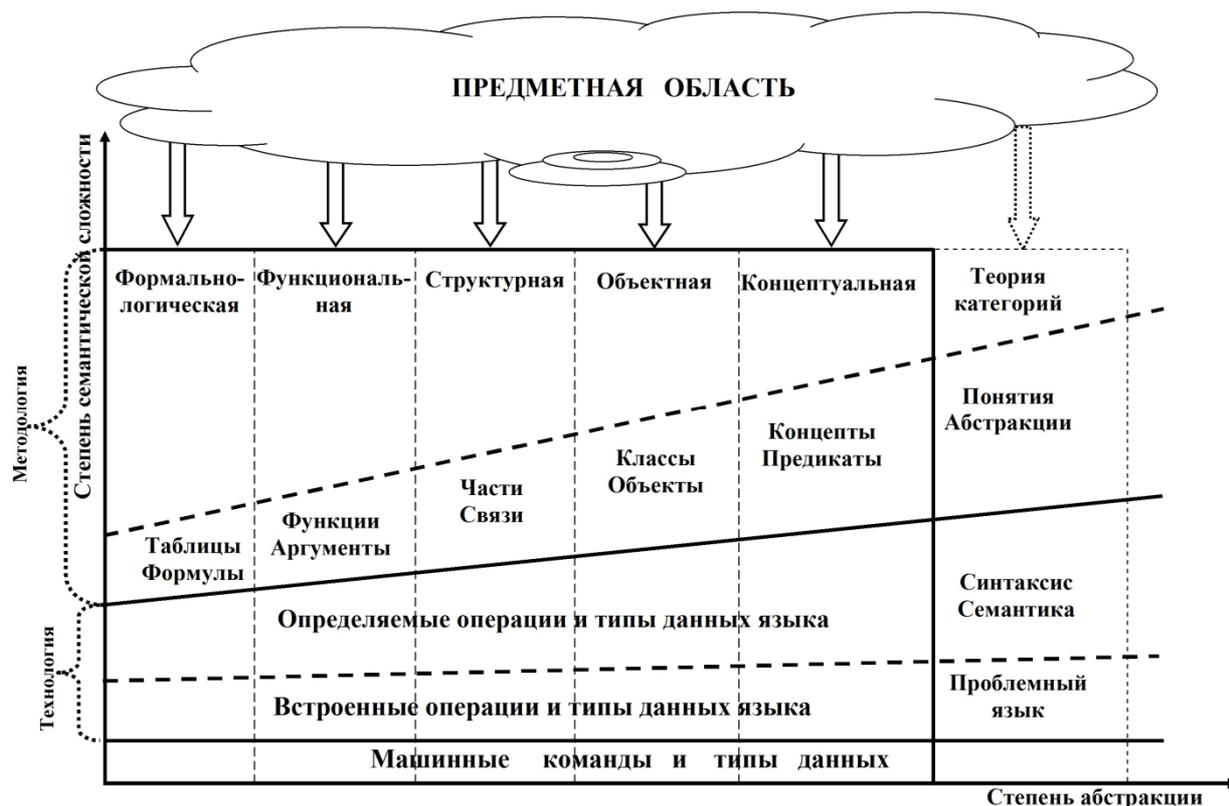


Рис. 1. Теоретическая база методологий анализа предметной области

Для сокращения семантического разрыва (или последовательного согласования) необходимо повышение уровня абстракции модели, что напрямую связано с проблемой описания семантики [8]. Речь идет об описании свойств отношений между математическими объектами, не зависящими от внутренней структуры объектов – т. е. использование теории категорий, [9, 13, 15]. Кроме того, использование логики понятия морфизмов в качестве базового примитива позволяет единообразно трактовать логические и функциональные отношения между объектами. В сочетании с методом Ноэля Хомского синтаксически-ориентированной трансляции, основанной на гипотезе [11] возможности сведения семантического анализа к синтаксическому анализу, открывается путь к созданию формальной теории и методов проектирования ИИС.

Пусть на первом этапе определяется концептуальная (понятийная) модель Пр.О (КМПр.О) в виде:

$$\text{КМПр.О} = \langle X, C, R, G \rangle, \quad (1)$$

где:  $X = \{x_i\}$ ,  $i = 1, n$  – множество имён объектов, предметов, сущностей и др.;  $C = \{c_k\}$ ,  $k = 1, m$  – множество имён существенных свойств (признаков) объектов множества  $X$ ;  $R = \{r_l\}$ ,  $l = 1, n$  – множество имён отношений, в которые могут вступать объекты моделируемой Пр.О (множество одноместных, двухместных и т. д. предикатов);  $G = \{g_j\}$ ,  $j = 1, n$  – множество имён действий, которые допустимы над множеством объектов  $X$  моделируемой Пр.О.

Модель состояния Пр.О:

$$\text{СПр.О}(t) = \langle X(t), C(t), R(t) \rangle, \quad (2)$$

где  $\text{СПр.О}(t) = \{s_{\text{Пр.О}}(t)_r\}$ ,  $r = 1, \dots$  – множество имён структурных и параметрических состояний объектов Пр.О;  $t$  – временной параметр.

Модель задачи:

$$Z = (S_n \rightarrow G \rightarrow S_c) \text{ или } Z = \langle S, G, F \rangle, \quad (3)$$

где  $S_n, S_c$  – множество имён начальных и целевых состояний Пр.О;  $F$  – множество имён целевых состояний Пр.О;  $G$  – множество имён функциональных операторов, переводящих Пр.О из состояний  $S$  в состояние  $F$ .

Несложно показать, что общее количество составных имён для КМПр.О составит порядок  $\sim mn^2$ . Отметим, что КМПр.О (1), модель состояния (2) и модель задачи (3) представлены в терминах языка математической теории Категории множеств. Указанные множества имен элементов и их отношений образуют в ИИС соответствующие иерархические словари данных, глоссарии и др. семантические структуры [12–14].

Для представления знаний об исследуемой Пр.О в различных аспектах (Асп.Пр.О) создаются и применяются соответствующие универсальные формализованные графоаналитические метаязыки системного описания, это: естественный язык, определяющий основные понятия и их отношения в производственной деятельности (ЕЯ.Пр.О), язык теории категорий (ЯТК), базирующийся на языках теории множеств (ЯТМ) и диаграмм (ЯД), язык спецификаций (таблиц) (ЯС), формальный язык структурного анализа и синтеза систем (ЯИДЕФ), формальный язык объектно-ориентированного моделирования (ЯUML) и др. [12–14, 15]. По аналогии с концептуальной моделью предметной области (КМПр.О) определим концептуальную метамодель предметно-ориентированного языка (КМЯПр.О) исследуемой ПО:

$$\text{КМЯПр.О} = \langle \text{КМПр.О, Асп.Пр.О, РМСГО, ЯПр.О} \rangle, \quad (4)$$

где КМПр.О – концептуальная (понятийная) модель Пр.О; ЯПр.О = {ЕЯ.Пр.О, ЯТК(ЯТМ,ЯД), ЯС, ЯИДЕФ, ЯUML} – множество локальных (элементарных) языков; Асп.Пр.О – множество аспектов моделирования Пр.О; РМСГО = {сгоI,k}, I, k = 1, m – множество семантико-грамматических отношений, в которые могут вступать локальные языки (множество одноместных и двухместных предикатов). Если выделить и классифицировать (идентифицировать) с помощью теоретико-множественного аппарата модели исследуемой предметной области в виде формул (1)–(4), а в комплексных информационных системах (КИС) определить соответствующие этим исходным (предметным) множествам элементов (элементарных объектов) и их отношениям контекстные (аспектные) элементы. При этих условиях можно получить контекстные теоретико-множественные модели, составляющие семантико-логическую базу знаний ЭС. Пр.О включает конструкторско-технологическую, производственную и др. области деятельности, представляемыми ИС:

$$\text{CAD} = \{\text{edi} / i = 1, N\}; \text{CAM} = \{\text{emi} / i = 1, M\}; \dots; \text{ERP} = \{\text{epi} / i = 1, K\}; \dots,$$

где грамматики соответствующих входных языков будут определены как множество правил для отображения отношений (начиная с одноместных и далее), а множество операций с параметрами элементарных объектов и их отношений функциональным оператором FO, формальная семантико-логическая модель будет определена, как:

$$\begin{aligned} \text{MCAD} &= \langle \text{CAD, GILCAD, FOCAD} \rangle; \\ \text{MCAM} &= \langle \text{CAM, GILCAM, FOCAM} \rangle; \\ &\dots \dots \dots \\ \text{MERP} &= \langle \text{ERP, GILERP, FOERP} \rangle. \end{aligned} \quad (5)$$

Если далее раскрыть системные свойства данных моделей как новых элементарных объектов: MCAD = {emcadi / i = 1, N1}; MCAM = {emerpi / i = 1, M1}; ...; MERP = {emecami / i = 1, K1}; ... и как множество элементарных объектов КИС, т. е. КИС = {MCAD, MCAM, ..., MERP, ...}, а грамматику входных языков верхнего уровня GCASE как множество возможных правил, определяющих множество отношений, а множество операций с параметрами объектов и отношений определить как модель функционального оператора КИС, МФОКИС, то получим модель второго уровня МКИС:

$$\text{МКИС} = \langle \text{КИС, GCASE, МФОКИС} \rangle. \quad (6)$$

Отметим, что элементарными подобъектами моделей МКИС являются: МКИС = {mkuci / i = 1, L}, а свойства и характеристики самого объекта МКИС интерпретируются по правилам грамматики естественного языка (ЕЯ), а множество операций с параметрами модели МКИС и отношений GEЯ моделью функционального оператора управления МФОУ, т. е.

$$\text{МКИС} = \langle \text{МКИС, GEЯ, МФОУ} \rangle. \quad (7)$$

Для формального системного описания изучаемых процессов производственной деятельности в форме математических структур, обобщим предметно-ориентированные понятия и правила логических закономерностей как модели актуальной действительности.

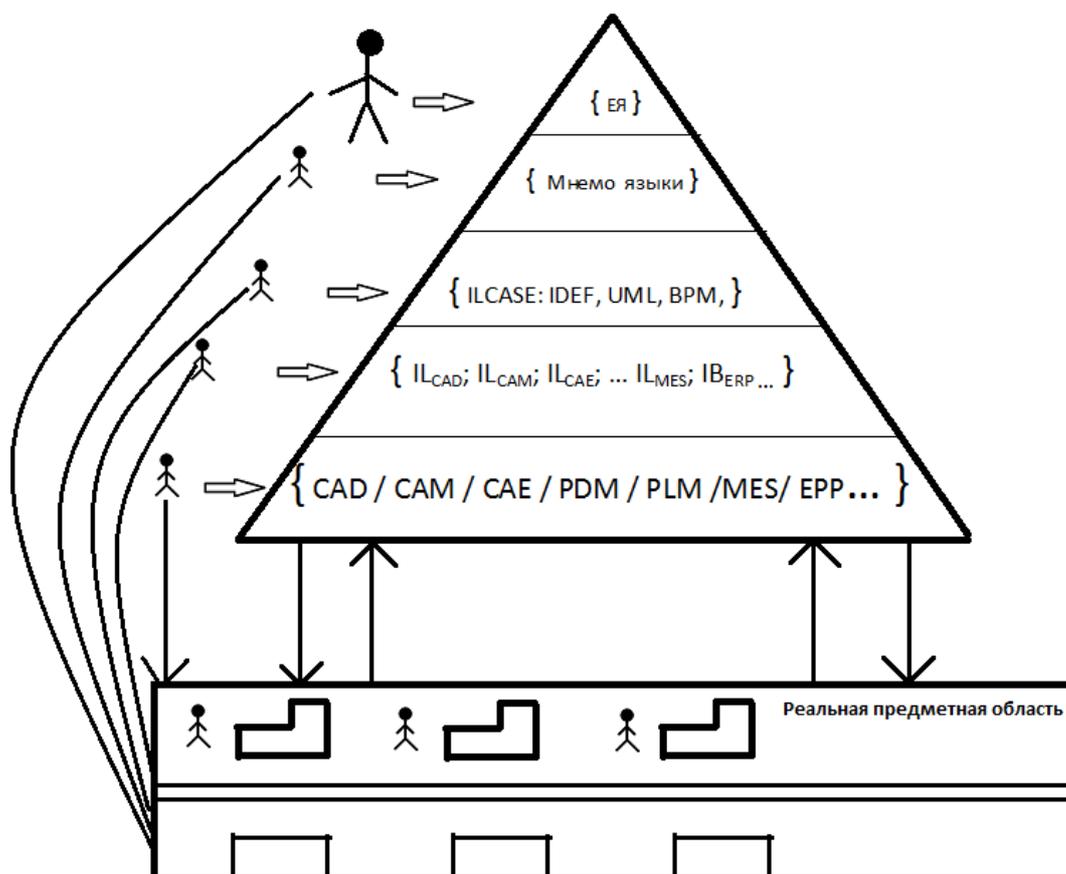


Рис. 2. Схема системного моделирования и интерпретации

### Анализ и моделирование производственной системы

В основе структурно-параметрического моделирования рассматриваемой предметной области может лежать классическая модель производственного процесса [15–20], которая представляется как процесс взаимодействия производственных ресурсов: Средства труда (СТ), Предмета труда (ПТ) и Труда (Тр), в результате которого реализуется цель производственного процесса – Продукт (Пр). Таким образом, понятие «производственный процесс» можно сформулировать как взаимодействие средства труда, предмета труда и труда (рабочей силы), где Стр – множество средств труда; Рт – множество предметов труда; Про – множество продуктов; Тгу – множество целенаправленных действий (практически выступают в роли правил взаимодействия); То – множество технологических операций; Тм – множество технологических методов; Ттр – множество трудовых ресурсов; Трм – множество производственных мощностей; Трм = {Ттр, Трм} – множество рабочих мест; Tos – множество элементов организационной структуры; Трс = {Tos, Трм} – множество элементов производственной структуры; Трг = {Трс, Тм} – множество технологических процессов; Тси – множество парных отношений предметов труда в производственном составе изделия; Трп = {Тси, Трс} – множество производственных процессов предприятия.

В основе построения моделей производственного процесса лежит нормативно-справочная информация и, по сути, она составляет основу формирования организационно-функциональной модели производственного процесса.

Концептуальная организационно-функциональная модель производственного процесса отражает характеристики статической, информационной и динамической моделей с учетом целевых количественных и временных характеристик выпускаемого продукта (рис. 3).

Представленная на рис. 4 интегральная функциональная модель производственного процесса показывает отношения элементов, формирующих функциональную модель стоимостной структуры ОПС как объекта управления, и дает целостное представление о структуре и взаимосвязях элементов модели.



Рис. 3. Концептуальное представление модели производственного процесса

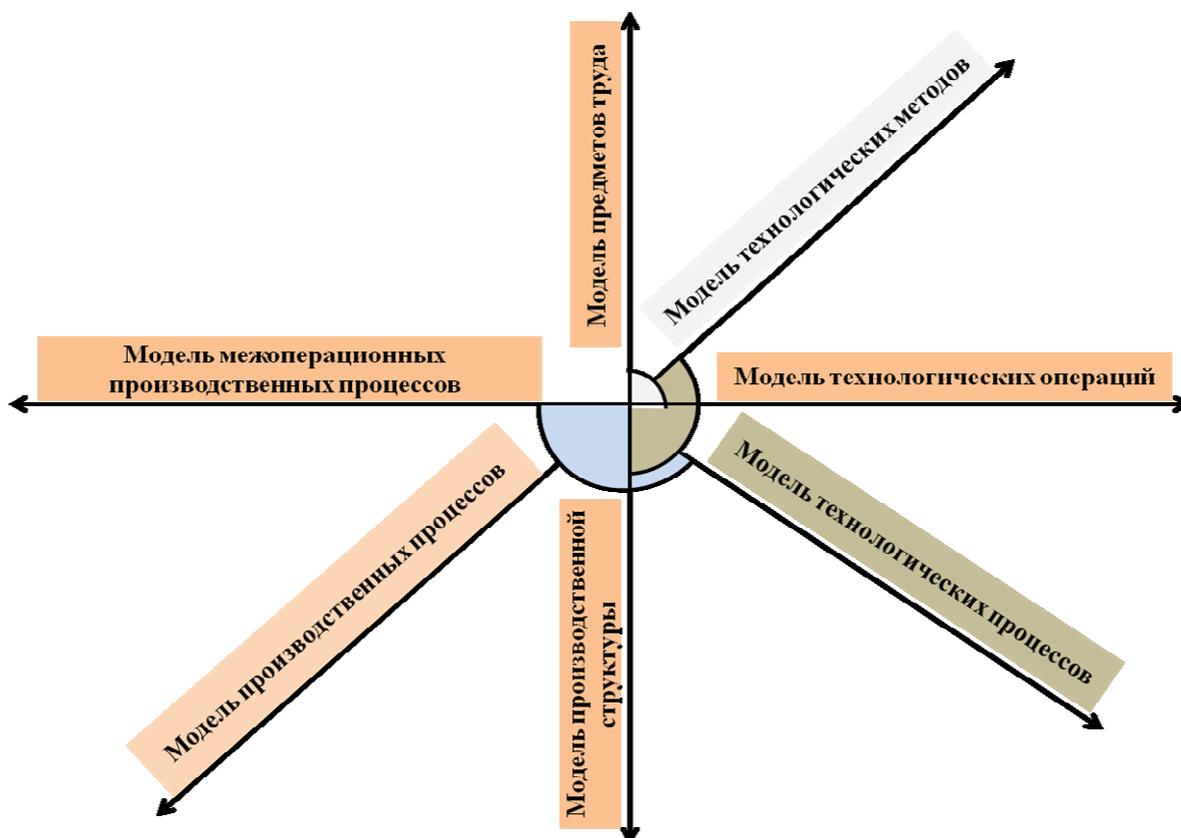


Рис. 4. Графическое представление интегральной функциональной модели производственного процесса

Интегральная модель производственного процесса представляет собой многомерную модель взаимосвязей производственных ресурсов и элементарных производственных процессов (опера-

ций), представленных в виде базовых моделей: модель структуры ПТ (МСПТ); модель технологических методов (МТМ); модель производственной структуры (МПС); модель себестоимости ПТ (МСПТ). Представление производственного процесса в виде интегральной модели позволяет обосновать структуру модели производственного процесса путем интеграции моделей элементарных ресурсов – предметов труда и рабочих мест, элементарных процессов – технологических операций, и последовательного формирования моделей технологического процесса и производственного процесса.

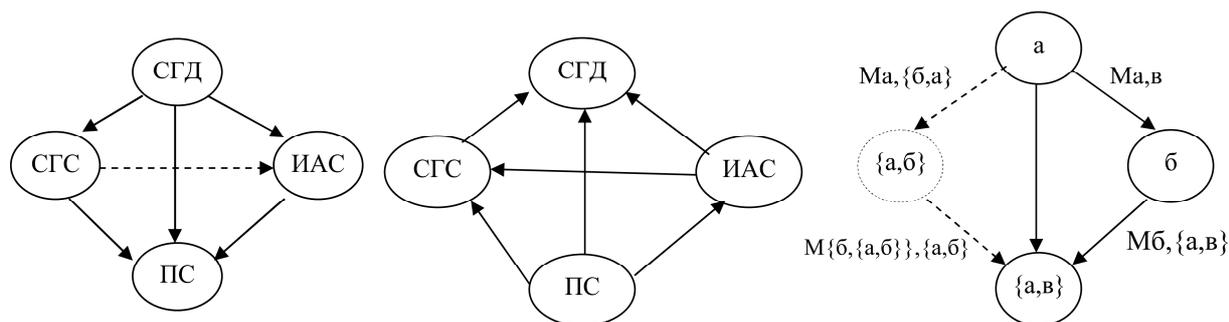
**ПРИМЕР.** Рассмотрим пример формирования непротиворечивого с точки зрения информационного взаимодействия контура организационно-функционального управления производственной системой с применением ИАС, структура которой приведена на рис. 3–4. Выделим в качестве объектов: ИАС; Службу Генерального директора (СГД); Службу главных специалистов (СГС); Производственную систему (ПС). Определим связи между ними, обладающие свойствами Морфизмов Теории категории множеств (М) [9].

Очевидно, что структура информационного контура управления (ИКУ) будет определяться категориейной моделью объектов:

$$\text{ИКУ} = \{\text{ИАС}, \text{СГД}, \text{СГС}, \text{ПС}, \text{М}\}.$$

Из Теории управления, известно, что в контуре управления взаимодействуют (синхронно или асинхронно) два канала: канал прямого воздействия и канал обратной связи (контроля).

На рис. 5 приведена схема взаимодействия объектов в состоянии прямого (а), обратного (б) и совместного ( $\{a, b\}$ ,  $\{b, a\}$ ) взаимодействия в процессе управления.



**Рис. 5.** Логика функционирования контуров организационно-функционального управления при плановом и внеплановом управлении

Необходимыми условиями для нормального (планового) состояния данного контура системы управления является логическая непротиворечивость данных структур, что соответствует равновесному состоянию по Нешу. Но данные структуры являются эквивалентными структуре логического квадрата Декарта [20–23].

Можно показать, что если определённые Морфизмы в каждом квадрате будут обладать свойствами коммутативности, то соответствующие структуры будут непротиворечивыми.

Наличие противоречия является признаком инициализации внешнего (непланового) процесса управления, а признаком его устранения – исключение (окончание) этого противоречия. В этом случае исполненный процесс управления будет обладать всеми свойствами категорийного объекта и идентифицироваться значениями внутреннего состояния в ИАС. Таким образом, будут соблюдены логические ограничения для исполнения внешних процессов управления. Достаточные же параметрические (информационные) условия для комплексной управляемости производственного процесса будут определяться соблюдением принципа необходимого разнообразия Эшби [21, 24, 25].

Технологически информационная структура данной концептуальной модели ИАС может быть реализована путем определённой адаптации типового Поискового сервера (настройки) к контенту исследуемой предметной области. Для предметно-ориентированной ИАС на производственную область путем интеграции систем CAD/CAM/CAE/PDM/PLM/SCADA/ERP/CRM и др., а также средствами универсальных экспертных систем класса J2 или информационными технологиями создания интеллектуальных ХД [26].

### Выводы

Определены необходимые условия формального синтеза самоорганизующейся структуры ИАС, базирующиеся на композиции объектов – множеств теории категорий, имеющих свойства коммутативности в структуре логического квадрата Декарта, и далее – в декартовом многограннике. Показано, что для таких структур сохраняются правила формальной логики, позволяющие определять возникающие структурные противоречия, то есть осуществлять контроль состояния процессов.

### Литература

1. Речкалов, А.В. Разработка формальной интегральной модели производственного процесса машиностроительного предприятия / А.В. Речкалов, В.В. Антонов, А.В. Артюхов // Вестник УГАТУ. – 2014. – Т. 18, № 4 (65). – С. 125–133.
2. Артюхов, А.В. Построение и эффективность ERP системы на ОАО «УМПО» / А.В. Артюхов // Деловой портал «Управление производством», [www.up-pro.ru](http://www.up-pro.ru). – 08 февраля 2013.
3. Артюхов, А.В. Современные информационные технологии в авиадвигателестроении / А.В. Артюхов, В.Л. Христолюбов // Двигатель. – 2007. – № 5 (50).
4. Разработка формальной модели производственного процесса с применением корпоративной информационной системы / А.В. Речкалов, Г.Г. Куликов, В.В. Антонов, А.В. Артюхов // Научное обозрение. – 2015. – № 12. – С. 187–196.
5. Разработка формальной модели производственного процесса для организации проектного и производственного менеджмента с применением интеллектуальной КИС / А.В. Речкалов, Г.Г. Куликов, В.В. Антонов, А.В. Артюхов // Вестник ПНИПУ. – 2014. – № 11. – С. 34–54.
6. Речкалов, А.В. Об организации территориально-распределенного виртуального производственного планирования машиностроительного дивизиона / А.В. Речкалов, А.В. Артюхов, К.А. Ризванов // Актуальные вопросы науки, технологии и производства: V междунар. науч.-практ. конф. – СПб., 2015. – С. 38–41.
7. Волкова, В.Н. Основы теории систем и системного анализа / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – СПб.: СПбГТУ, 2001. – 512 с.
8. Антонов, В.В. Метод построения математической модели предметной области / В.В. Антонов, Г.Г. Куликов // Вестник Самарского государственного экономического университета. – 2010. – № 5 (67). – С. 10–14.
9. Категория множеств // Википедия. – [http://ru.wikipedia.org/wiki/Категория\\_множеств](http://ru.wikipedia.org/wiki/Категория_множеств) (дата обращения: 09.04.14).
10. Заболеева-Зотова, А.В. Лингвистическое обеспечение автоматизированных систем / А.В. Заболеева-Зотова, В.А. Камаев. – М.: Высшая школа, 2008. – 244 с.
11. Хомский Н. Язык и проблемы знания // Вестник Московского университета. Сер. 9. Филология. – 1996. – № 6. – С. 157–185.
12. Марка, Д.А. Методология структурного анализа и проектирования: пер. с англ. / Д.А. Марка, К. МакГоуэн. – М.: Метатехнология, 1993. – 240 с.
13. Системно-лингвистический подход к проектированию формальных моделей исследуемой предметной области на основе категорий диалектики и теоретико-множественных методов / Г.Г. Куликов, Т.П. Злобина, С.Ф. Бабак, Д.Г. Шамиданов // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2017. – Т. 21, № 2 (76). – С. 95–102.
14. Антонов, В.В. Семантико-математический язык описания структуры интеллектуальной системы на основе нечеткой логики / В.В. Антонов, Г.Г. Куликов // Междунар. науч.-практ. журн. «Программные продукты и системы». – Тверь, 2011. – № 3 (95). – С. 33–35.
15. Метод применения теории категорий для формализации содержательной модели производственного процесса в информационной среде предприятия / А.В. Речкалов, Г.Г. Куликов, В.В. Антонов, А.В. Артюхов // Управление экономикой: методы, модели, технологии: 14-я междунар. конф. – Уфа, 2014. – С. 141–143.
16. ГОСТ Р ИСО 9000:2001. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь. – <http://www.unilib.neva.ru/dl/quality/std/gsriso90002001.html>.
17. Р50.1.028–2001. Методология функционального моделирования. – М.: Госстандарт России, 2000.

18. ISO/IEC/IEEE 15288:2015 System and software engineering – System life cycle processes.
19. Разработка формальной модели производственного процесса для организации проектно-го и производственного менеджмента с применением рекурсивной системной модели / А.В. Артюхов, В.В. Антонов, А.В. Речкалов, Г.Г. Куликов // Актуальные вопросы науки, технологии и производства: V междунар. науч.-практ. конф. – СПб., 2015. – С. 29–31.
20. Development of the Formal Model of the production Process for Organization of the Project and Management Using Iterative Model / A.V. Artuhov, A.V. Rechkalov, G.G. Kulikov, V.V. Antonov // Proceeding of the 1th International Workshop on technologies of Digital Signal Proceedings and Storing (DSPTech'2015), Ufa, Russia, December 10–13, 2015. – 2015. – Vol. 2. – P. 9–11.
21. Новиков, Д.А. Кибернетика: Навигатор. История кибернетики, современное состояние, перспективы развития / Д.А. Новиков. – М.: Ленанд, 2016. – 160 с. – (Серия «Умное управление»)
22. Голдблатт, Р. Топосы. Категорный анализ логики = Topoi. The categorial analysis of logic / Р. Голдблатт; пер. с англ. В.Н. Гришина и В.В. Шокурова под ред. Д. А. Бочвара. – М.: Мир, 1983. – 488 с.
23. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Расслоённое\\_произведение](https://ru.wikipedia.org/wiki/Расслоённое_произведение).
24. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Закон\\_необходимого\\_разнообразия](https://ru.wikipedia.org/wiki/Закон_необходимого_разнообразия).
25. Эшби, У.Р. Введение в кибернетику / У.Р. Эшби. – М.: Иностранная литература, 1959. – 432 с.
26. Куликов, Г.Г. Метод формирования структуры хранилища данных для автоматизированной учетной системы на основе процессного анализа предметной области / Г.Г. Куликов, В.В. Антонов // Вестник УГАТУ. – 2006. – Т. 8, № 1 (17). – С. 60–67.

**Артюхов Александр Викторович**, канд. техн. наук, генеральный директор, АО «Объединенная двигателестроительная корпорация», г. Москва; info@uecrus.com.

**Куликов Геннадий Григорьевич**, д-р техн. наук, профессор кафедры автоматизированных систем управления, Уфимский государственный авиационный технический университет, г. Уфа; gennadyg\_98@yahoo.com.

**Речкалов Александр Васильевич**, д-р техн. наук, эксперт, АО «Объединенная двигателестроительная корпорация», г. Москва; a.rechkalov@uecrus.com.

Поступила в редакцию 10 августа 2018 г.

DOI: 10.14529/ctcr180408

## LOGICAL STRUCTURE OF CONCEPTUAL MODEL OF THE INFORMATION AND ANALYTICAL SYSTEM (IAS) BASED ON POORLY STRUCTURED KNOWLEDGE OF THE PRODUCTION SYSTEM

**A.V. Artyukhov**<sup>1</sup>, info@uecrus.com,

**G.G. Kulikov**<sup>2</sup>, gennadyg\_98@yahoo.com,

**A.V. Rechkalov**<sup>1</sup>, a.rechkalov@uecrus.com

<sup>1</sup> JSC “United Engine Corporation”, Moscow, Russian Federation,

<sup>2</sup> Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation

In article the problem of creation of the conceptual model of the intelligence automated system based on knowledge of the production enterprise and intended for informational support of a decision making is considered.

Basis of such systems is the model hypothesis which defines a form of representation of knowledge of the studied subject domain. Here the main problem, as a rule, consists that the subject domain is poorly structured and has to be considered both with internal (systemic) and from outer side at the same time. For serial coordination it is necessary to increase the level of abstraction of model that is directly bound to a problem of the description of semantics. It is necessary to describe properties of the relations between the mathematical objects which are not depending on internal structure of objects, i.e. application of the theory of categories and use of logic of a concept of morphisms as a basic primitive allows to treat the logical and functional relations between objects uniformly. Use Noel Chomsky's method of the syntactic focused broadcasting opens a way to creation of the phenomenological theory and design methods of IIS.

The classical model of production which is represented as process of interaction of production resources can be the cornerstone of structural and parametrical model operation of the covered subject domain.

The example of formation of a contour of the organizational and functional management of a production system, consistent from the point of view of information exchange, with application of IAS is given.

The necessary conditions of the formal synthesis of the self-organized structure of IAS which are based on composition of objects – sets of the theory of the categories having properties of a commutability in structure of a logical square of Descartes, and further - in the Cartesian polyhedron are defined. It is shown that for such structures the rules of the formal logic allowing to define the arising structural contradictions, that is to exercise control of a condition of processes, remain.

*Keywords: system of knowledge; conceptual model; category of sets; semantic model; production system; corporate information system (CIS).*

### References

1. Rechkalov A.V., Antonov V.V., Artyukhov A.V. [Development of the Formal Integral Model of Production of Machine-Building Enterprise]. *Bulletin of USATU*, 2014, vol. 18, no. 4 (65), pp. 125–133. (in Russ.)
2. Artyukhov A.V. *Postroenie i effektivnost' ERP sistemy na OAO "UMPO"* [Construction and Efficiency of Enterprise Resource Planning on JSC UEPA]. Business Production Management Portal, www.up-pro.ru, on February 08, 2013, p. 8.
3. Artyukhov A.V., Hristolyubov V.L. [Modern Information Technologies in Aero-Engine Manufacturing]. *Engine*, no. 5 (50), 2007, pp. 5–6. (in Russ.)
4. Rechkalov A.V., Kulikov G.G., Antonov V.V., Artyukhov A.V. [Development of Formal Model of Production with Application of a Corporate Information System]. *Scientific Review*, 2015, no. 12, pp. 187–196. (in Russ.)
5. Rechkalov A.V., Kulikov G.G., Antonov V.V., Artyukhov A.V. [Development of Formal Model of Production for the Organization of Design and Production Management with Application of Intellectual Corporate System]. *Bulletin of PNIPU*, 2014, no. 11, pp. 34–54. (in Russ.)
6. Rechkalov A.V., Artyukhov A.V., Rizvanov K.A. [About the Organization of the Territorial Distributed Virtual Production Planning of a Machine-Building Division]. *Aktual'nye voprosy nauki, tekhnologii i proizvodstva. V mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [Topical Issues of Science, Technology and Production. V International Scientific and Practical Conference]. St. Petersburg, 2015, pp. 38–41. (in Russ.)
7. Volkova V.N., Denisov A.A. *Osnovy teorii sistem i sistemnogo analiza* [Bases of the Theory of Systems and System Analysis]. St. Petersburg, SPbSTU Publ., 2001. 512 p.
8. Antonov V.V., Kulikov G.G. [Method of Creation of Mathematical Model of Subject Domain]. *Bulletin of Samara State Economic University*, 2010, no. 5 (67), pp. 10–14. (in Russ.)
9. *Kategoriya mnozhestv* [Category of Sets]. Available at: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Kategoriya\\_mnozhestv](http://ru.wikipedia.org/wiki/Kategoriya_mnozhestv) (accessed 09.04.14).
10. Zaboлева-Zotova A.V., Kamayev V.A. *Lingvisticheskoye obespecheniye avtomatizirovannykh sistem* [The Linguistic Providing of the Automated Systems]. Moscow, Higher school Publ., 2008, 244 p.
11. Chomsky N. [Language and Problem of Knowledge]. *Bulletin of MSU*, 1996, iss. 6, pp. 157–185. (in Russ.)

12. Mark D.A., Makgouen K. *Metodologiya strukturnogo analiza i proektirovaniya* [Methodology of the Structural Analysis and Design]. Moscow, Metatechnology Publ., 1993. 240 p.
13. Kulikov G.G., Zlobina T.P., Babak S.F., Shamidanov D.G. [System and Linguistic Approach to Design of Formal Models of the Studied Subject Domain on the Basis of Categories of Dialectics and Set-Theoretic Methods]. *Bulletin of the Ufa State Aviation Technical University*, 2017, vol. 21, no. 2 (76), pp. 95–102. (in Russ.)
14. Antonov V.V., Kulikov G.G. [Semantic-Mathematic Language of the Description of Structure of Intellectual System on the Basis of Fuzzy Logic]. *Program Products and Systems*, 2011, no. 3 (95), pp 33–35. (in Russ.)
15. Rechkalov A.V., Kulikov G.G., Antonov V.V., Artyukhov A.V. [A Method of Application of the Theory of Categories for Formalization of Substantial Model of Production in the Information Environment of the Enterprise]. *Management of Economy: Methods, Models, Technologies. 14th International Conference*, Ufa, 2014, pp. 141–143. (in Russ.)
16. GOST R ISO 9000:2001. *Sistemy menedzhmenta kachestva. Osnovnye polozheniya i slovar'* [State Standard R ISO 9000:2001. Quality Management System. Basic Provisions and Dictionary]. Available at: <http://www.unilib.neva.ru/dl/quality/std/gsr>.
17. P50.1.028–2001. *Metodologiya funktsional'nogo modelirovaniya* [P50.1.028–2001 Methodology of Functional Modeling]. Moscow, Gosstandart of Russia, 2000.
18. ISO/IEC/IEEE 15288:2015 System and Software Engineering – System Life Cycle Processes.
19. Artyukhov A.V., Antonov V.V., Rechkalov A.V., Kulikov G.G. [Development of Formal Model of Production for the Organization of Design and Production Management with Application of Recursive System Model]. *Aktual'nyye voprosy nauki, tekhnologii i proizvodstva: V mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Topical Issues of Science, Technology and Production. V International Scientific and Practical Conference]. St. Peretburg, 2015, pp. 29–31.
20. Artuhov A.V., Rechkalov A.V., Kulikov G.G., Antonov V.V. Development of the Formal Model of the Production Process for Organization of the Project and Management Using Iterative Model. *Proc. of the 1th International Workshop on Technologies of Digital Signal Proceedings and Storing (DSPTech'2015)*, Ufa, December 10–13, vol. 2, 2015, pp. 9–11.
21. Novikov D.A. *Kibernetika: Navigator. Istoriya kibernetiki, sovremennoe sostoyanie, perspektivy razvitiya* [Cybernetics. Navigator. Cybernetics History, Current State, Prospects of Development]. Moscow, LENAND Publ., 2016. 160 p.
22. Goldblatt R. *Toposy: Kategornyy analiz logiki* [Topos. The Categorical Analysis of Logic]. Moscow, World Publ., 1983. 488 p.
23. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Rassloyonnoye\\_proizvedeniye](https://ru.wikipedia.org/wiki/Rassloyonnoye_proizvedeniye).
24. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Zakon\\_neobkhodimogo\\_raznoobraziya](https://ru.wikipedia.org/wiki/Zakon_neobkhodimogo_raznoobraziya).
25. Eshbi U.R. *Vvedenie v kibernetiku* [Introduction to Cybernetics]. Moscow, Foreign literature Publ., 1959. 432 p.
26. Kulikov G.G., Antonov V.V. [Method of Formation of Structure of Storage of Data for the Automated Registration System on the Basis of the Process Analysis of Subject Domain]. *Bulletin of USATU*, 2006, vol. 8, no. 1 (17), pp. 60–67. (in Russ.)

Received 10 August 2018

#### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Артюхов, А.В. Логическая структура концептуальной модели информационно-аналитической системы (ИАС), основанной на слабоструктурированных знаниях производственной системы / А.В. Артюхов, Г.Г. Куликов, А.В. Речкалов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2018. – Т. 18, № 4. – С. 78–87. DOI: 10.14529/ctcr180408

#### FOR CITATION

Artyukhov A.V., Kulikov G.G., Rechkalov A.V. Logical Structure of Conceptual Model of the Information and Analytical System (IAS) Based on Poorly Structured Knowledge of the Production System. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2018, vol. 18, no. 4, pp. 78–87. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr180408