

УДК 658.3:004.8

## РАЗРАБОТКА ФОРМАЛЬНОЙ ИНТЕГРАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

А. В. Речкалов<sup>1</sup>, В. В. Антонов<sup>2</sup>, А. В. Артюхов<sup>3</sup>

boss@bashkortostan.ru

<sup>1,2</sup> ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный технический университет» (УГАТУ)

<sup>3</sup> ОАО «Уфимское моторостроительное производственное объединение» (УМПО)

*Поступила в редакцию 30 июня 2014 г.*

**Аннотация.** Практика внедрения автоматизированных систем управления на крупных машиностроительных предприятиях показывает, что, несмотря на усложнение моделей управления снабженческими и сбытовыми функциями, маркетинговыми и финансовыми операциями, наиболее трудоемким и сложным разделом системы управления остается управление производством. В статье рассматривается вопрос построения формальной модели производственного процесса с применением интегрального подхода, требующего всестороннего анализа и системного развития. Сложность построения таких моделей заключается в необходимости учета значительного количества динамических условий производственного процесса и обеспечения оперативного реагирования систем на возникающие возмущения.

**Ключевые слова:** интегрированная обработка информации; атрибутивная трансляция; предметная область; производство; семантическая модель; категория множеств.

### ВВЕДЕНИЕ

Применение информационных технологий в авиастроении, в частности в авиационном двигателестроении, сопровождается сегодня накоплением и хранением больших объемов технической и производственной информации. Причем в отдельных базах данных и хранилищах указанная информация, как правило, структурирована (или слабоструктурирована) и семантически понятна предметно-ориентированным специалистам. Для решения же интегральных задач, например задачи оптимизации проектирования новых производственных процессов и их интеграции в производственную среду, задачи обеспечения поддержки принятия решений на основе поиска и анализа производственных прецедентов (ситуаций), требуются новые подходы и модели.

Указанные задачи связаны с известными проблемами построения экспертных систем, основу которых составляют базы данных и базы знаний соответствующей предметной области. Дальнейшим развитием экспертных систем являются искусственные интеллектуальные системы. Известно, что основу последних составляет модельная гипотеза, определяющая форму представления знаний о предметной области, их

пополнения и модификации в среде имеющихся знаний и др. Система моделей предметной области должна дополняться моделями механизмов мышления, такими как метапроцедуры целенаправленного поиска (ассоциативного поиска) в заданном информационном пространстве, метапроцедурами классификации объектов и элементов предметной области по структурным и др. признакам [1].

Для представления знаний об исследуемой предметной области разработаны и применяются различные подходы и методы, на основе которых создаются соответствующие формализованные графо-аналитические предметные языки для системного моделирования (описания) [1]. Можно отметить, что формальные логические и операционные свойства и правила применения таких языков базируются на основных положениях теории множеств, теории категорий и формальных грамматик Н. Хомского второго типа [3]. При этом прежде всего определяют концептуальную (понятийную) модель предметной области, как правило, в виде кортежа множеств: имен объектов  $X = \{x_i \mid i = 1, \dots, n_x\}$ , имен существенных свойств (признаков)  $C = \{c_i \mid i = 1, \dots, n_c\}$  этих объектов, имен отношений  $R = \{r_i \mid i = 1, \dots, n_r\}$ ,

в которые могут вступать эти объекты, имен действий  $G = \{g_i | i = 1, \dots, n_G\}$ , которые допустимы над множеством данных объектов:

$$Z_{pr\_o} = \langle X, C, R, G \rangle. \quad (1)$$

Модель состояния предметной области  $S_{pr\_o} = \{s_i^{pr\_o} | i = 1, \dots, n_{S_{pr\_o}}\}$  в каждый момент времени может быть представлена кортежем

$$S_{pr\_o}(t) = \langle X(t), C(t), R(t) \rangle. \quad (2)$$

Модель задачи  $Z$  может быть представлена кортежем множеств имен начальных состояний предметной области  $S = \{s_i | i = 1, \dots, n_S\}$ , имен целевых состояний предметной области  $F = \{f_i | i = 1, \dots, n_F\}$ , имен операторов  $G = \{g_i | i = 1, \dots, n_G\}$ , переводящих предметную область из начальных состояний в целевые:

$$Z = \langle S, G, F \rangle. \quad (3)$$

Несложно показать, что границы и, соответственно, мощность концептуальной модели предметной области будут определяться гранями многомерного куба в декартовой системе координат. Здесь в роли осей могут выступать номинативные шкалы, определяемые множествами имен  $X, C, R, G$ . Например, общее количество составных имен для концептуальной модели предметной области (1) составит  $n = n_X \times n_C \times n_R \times n_G$ . Можно также отметить, что концептуальная модель предметной области (1), модель состояния (2) и модель задачи (3) соответствуют математической, то есть формальной модели категории множеств [5].

С другой стороны, при высокой степени зрелости использования информационных технологий на предприятии открывается возможность построения интеллектуальных информационных систем. При этом, например, для предприятий, находящихся на уровне зрелости использования информационных технологий выше среднего, показателем эффективности их применения может являться отношение себестоимости информационного сервиса к экономически оцениваемым преимуществам, которые получает предприятие за счет этого сервиса.

Необходимым условием применения информационных технологий, реализующих ИИС, является наличие систем интеллектуального поиска и идентификации, необходимых для управления информацией в существующем

контенте предметной области. Эта проблема требует решения 2 задач:

- структурирование и классификация контента для заданного класса производственных задач;
- формирование правил для поисковых запросов, которые, по сути, должны соответствовать структуре и основным параметрам модели идентифицируемых производственных объектов.

В работе предлагается формальный метод построения системной модели для предметной области производственной деятельности, на основе которой решается задача структурирования и классификации располагаемого производственного контента, определяются правила поиска класса сходных (похожих) моделей. Мерой кластеризации выступает схожесть структуры и соответствующий данной структуре алфавит (символьный). Для решения задачи в данной постановке более всего подходит математическая теория категорий множеств [5]. В основе такой модели лежит формальный графо-аналитический метаязык с символьным базисом и логикой нулевого порядка.

Эта модель является интегральной моделью-категорией верхнего уровня, которая включает в себя в качестве подкатегорий существующие на предприятии формальные системы (автоматизированная система управления ВААН, конструкторско-технологическая программа Юни-графикс и др.)

## СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Сформулируем на первом этапе основные положения формального графо-аналитического метаязыка, базирующегося на основных положениях математической теории категорий и ориентированного на исследуемую предметную область – «производственный процесс».

В основе такого подхода может лежать классическая модель производственного процесса, представленная как процесс взаимодействия производственных ресурсов: Средства труда; Предмета труда и Труда. В результате чего реализуется цель производственного процесса – Продукт (рис. 1).

Введем обозначения:  $St = \{st_i | i = 1, \dots, n_{St}\}$

как множество средств труда, в которых овеществлен прошлый труд, и которые используются в процессе производства для преобразования предмета труда в товар,  $Pt = \{pt_i | i = 1, \dots, n_{Pt}\}$  как множество предметов труда (взаимосвязанные объекты производственного процесса).

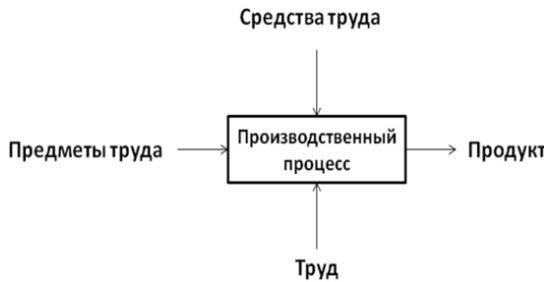


Рис. 1. Схема представления производственного процесса

Обозначим  $Tru = \{tru_i | i = 1, \dots, n_{Tru}\}$  как множество целенаправленных действий человека (рабочего) по реализации производственного процесса (практически выступают в роли правил взаимодействия). Обозначим

$Pro = \{pro_i | i = 1, \dots, n_{Pro}\}$  как множество продуктов (это цель и результат производственного процесса);

$Tm = \{tm_i | i = 1, \dots, n_{Tm}\}$  как множество технологических методов;

$To = \{to_i | i = 1, \dots, n_{To}\}$  как множество технологических операций;

$Otr = \{otr_i | i = 1, \dots, n_{Otr}\}$  как множество орудий труда;  $Uch = \{uch_i | i = 1, \dots, n_{Uch}\}$  как множество участков, оснащенных и оборудованных для выполнения работ;

$Podr = \{podr_i | i = 1, \dots, n_{Podr}\}$  как множество подразделений организации;

$SvPodr = \{svpodr_i | i = 1, \dots, n_{SvPodr}\}$  как множество взаимосвязей подразделений организации;

$Chr = \{chr_i | i = 1, \dots, n_{Chr}\}$  – численность категорий работников;

$Rpodr = \{rodr_i | i = 1, \dots, n_{Rpodr}\}$  – размещение (привязка к условным координатам) подразделений на территории предприятия.

Далее Ресурсы производственного процесса структурируются и представляются документами в рамках регламентов Единой системы технологической документации (ЕСТД) [6]. Они принимаются за основу классификации элементов производственного процесса при формировании интегральной модели. Так, при введенных обозначениях множество технологических процессов  $Tpr = \{tpr_i | i = 1, \dots, n_{Tpr}\}$  может быть представлено кортежем

$Tpr = \langle St, Pt, Tru, Pro, Tm, To \rangle$ , множество средств труда  $Ctr = \{ctr_i | i = 1, \dots, n_{Ctr}\}$  кортежем  $Ctr = \langle Utr, Tpr \rangle$ , организационная структура кортежем  $Octr = \langle Podr, SvPodr \rangle$ . Тогда множество рабочих мест [7]  $Rm = \{rm_i | i = 1, \dots, n_{Rm}\}$  представимо в виде  $Rm = \langle Uch, Octr \rangle$ , а статическая модель производственного процесса, представленная понятием "Производственная структура"[7]  $Pctr = \{pctr_i | i = 1, \dots, n_{Pctr}\}$ , – кортежем  $Pctr = \langle Octr, Chr, Rpodr \rangle$ . Таким образом, если процесс преобразования исходных предметов труда можно именовать динамической моделью производственного процесса, то производственная структура по сути представляет собой статическую модель производственного процесса  $Pr = \{pr_i | i = 1, \dots, n_{Pr}\}$ , как определенным образом организованную и отраженную в технологической документации совокупность элементарных составляющих: организационной структуры, технологических методов, рабочих мест, производственных операций, т. е. кортежа  $Pr = \langle Tpr, Pctr \rangle$ . Приведенная на рис. 2 статическая интегральная модель производственного процесса показывает отношения элементов, формирующих производственную структуру.



Рис. 2. Графическое представление статической интегральной модели производственного процесса

Она дает целостное представление о структуре и взаимосвязях элементов модели и может быть последовательно сформирована на основе создания моделей взаимосвязи пар элементарных составляющих производственного процесса и взаимосвязи созданных моделей. Например,

отношения рабочих мест и организационной структуры формируют модель рабочего центра  $Rcentr = \langle Rm, Octr \rangle$ , а отношения модели технологического процесса с отношением технологических методов и рабочих центров формируют модель производственной структуры  $PRstr = \langle Tpr, \langle Tm, Rm \rangle \rangle$ .

Таким образом, интегральная модель производственного процесса представляет собой многомерную модель взаимосвязи производственных ресурсов, представленную в виде последовательного построения трех двумерных матриц (моделей): модели рабочих центров, модели технологических операций, модели технологических процессов. Формирование интегральной модели хорошо прослеживается в процессе последовательного формирования моделей в виде ортогональных двумерных матриц.

**ФОРМИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ РАБОЧИХ ЦЕНТРОВ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ И ПРОЦЕССОВ**

Элементарные производственные процессы являются процессами взаимодействия предметов труда  $Pt = \{pt_i | i = 1, \dots, n_{Pt}\}$  с ресурсами "Рабочее место"  $Rm = \{rm_i | i = 1, \dots, n_{Rm}\}$ . Структура рабочих мест содержит состав элементарных объектов средств труда и рабочих, взаимодействующих с элементарным предметом труда: складские

$$Rm^s = \left\{ \begin{array}{l} rm_{1i}^s | i = 1, \dots, n_{rm_1^s}, \\ rm_{2i}^s | i = 1, \dots, n_{rm_2^s}, \\ rm_{3i}^s | i = 1, \dots, n_{rm_3^s} \end{array} \right\},$$

производственные

$$Rm^p = \left\{ \begin{array}{l} rm_{1i}^p | i = 1, \dots, n_{rm_1^p}, \dots, \\ rm_{7i}^p | i = 1, \dots, n_{rm_7^p} \end{array} \right\}.$$

Имеет место формула:  $Rm = \langle Rm^s, Rm^p \rangle$ .

Графически модель рабочего центра можно представить в виде традиционного иерархического представления организационной структуры предприятия.

В этой иерархической схеме мы можем выделить горизонтальные и вертикальные бизнес-процессы, которые представляют собой структурированное описание заданной последовательности выполняемых бизнес-операций, то есть горизонтальную иерархию внутренних и зависимых между собой функциональных действий.

При этом бизнес-процесс, рассматриваемый как совокупность последовательно выполняемых цепочек операций, может трактоваться как множество взаимодействующих подсистем, т.е. в виде дискретной динамической системы, изменяемой в пространстве и времени. Вертикальные бизнес-процессы выполняют функции консолидации горизонтальных процессов, учета дополнительно появляющихся атрибутов, описывающих правила взаимодействия информационных характеристик объектов.

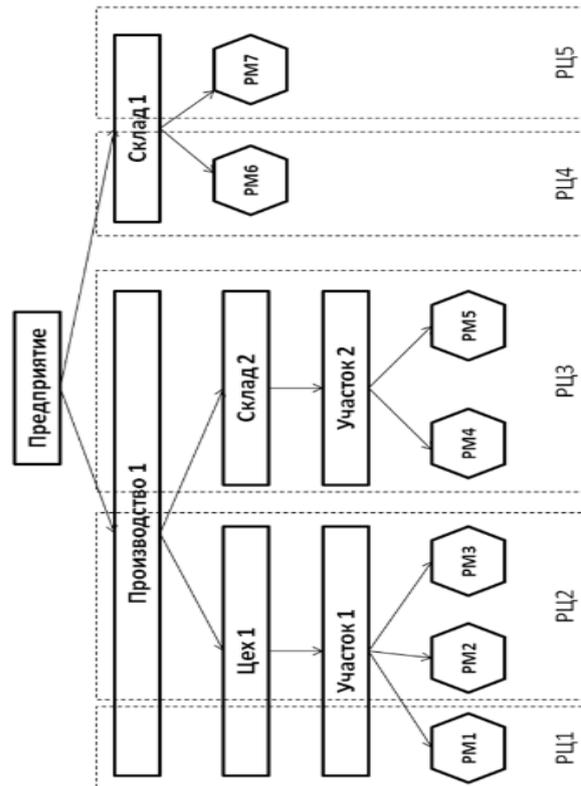


Рис. 3. Графическое представление модели рабочего центра

Организационная структура

$$Octr = \langle Podr, SvPodr \rangle$$

может быть представлена в виде многоуровневого списка подразделений предприятия, участвующих в производственном процессе: склада закупаемых предметов труда

$$Podr^{SZ} = \{podr_1^{SZ}, \dots, podr_{n_{SZ}}^{SZ}\},$$

склада реализуемых предметов труда

$$Podr^{SR} = \{podr_1^{SR}, \dots, podr_{n_{SR}}^{SR}\},$$

консигнационного склада

$$Podr^{SK} = \{podr_i^{SK} | i = 1, \dots, n_{SK}\},$$

изолятора брака  $Podr^I = \{podr_1^I, \dots, podr_{n_i}^I\}$ ,  
 цеха  $Podr^{SC} = \{podr_1^{SC}, \dots, podr_{n_{sc}}^{SC}\}$ .

Имеет место формула:

$$Podr = \left\langle \begin{matrix} Podr^{SZ}, Podr^{SR}, Podr^{SK} \\ Podr^I, Podr^{SC} \end{matrix} \right\rangle.$$

Модель рабочих центров  $MRC$  может быть представлена в виде двухмерной матрицы, отражающей взаимосвязь модели рабочих мест и модели организационной структуры предприятия  $MRC = \langle Rcentr, Octr \rangle$ . Анализ множества элементарных производственных процессов как процессов взаимосвязи предметов труда может быть проведен методом анализа вариантов преобразования исходного ресурса предмета труда в целевой ресурс. Определим варианты преобразования предметов труда термином «Модель технологической операции». В основе процессов планирования и управления производством лежат объекты управления, которые могут представлять собой как отдельные элементарные предметы труда, так и их совокупность. Технологический состав элементарных предметов труда  $Pt$ , обеспечивающих осуществление производственного процесса, приведен в [8]:

- $Pt_{ml}$  – материал, покупной предмет труда, потребляемый для изготовления изделия;
- $Pt_{pf}$  – полуфабрикат, покупной предмет труда, подлежащий дальнейшей обработке на предприятии-потребителе;
- $Pt_{ki}$  – комплектующее изделие, покупное изделие, которое поступает на предприятие в готовом виде;
- $Pt_{dt}$  – деталь, изготавливаемый на предприятии предмет труда, который не может быть разделен на части, составная часть изделия;
- $Pt_{ce}$  – сборочная единица, изготавливаемый на предприятии предмет труда, представляющий собой разъемное или неразъемное сопряжение между собой деталей и сборочных единиц, составная часть изделия;
- $Pt_{ck}$  – сборочный комплект, создаваемый на предприятии предмет труда, группа составных частей изделия, которые необходимо подать на рабочее место для сборки изделия или его составной части;
- $Pt_{gi}$  – готовое изделие, законченный комплект, подготовленный к продаже, прошедший сборку, испытания и окончательный контроль.

Имеет место формула

$$Pt = \langle Pt_{ml}, Pt_{pf}, Pt_{ki}, Pt_{dt}, Pt_{ce}, Pt_{ck}, Pt_{gi} \rangle.$$

Анализ технологических документов, определяющих разнообразие взаимосвязей элементарных предметов труда в процессе выполнения технологических операций, позволяет выделить шесть типов взаимосвязей или шесть моделей технологических операций.

Модель технологической операции 1 представляет собой модель, когда производственная операция преобразует один предмет труда в другой предмет труда. Данная модель характерна для операций преобразования материала, полуфабриката или комплектующего изделия в деталь и может быть представлена формулой

$$Po_1 = \langle St, Pt_1, Pt_2, Tru, Pro \rangle.$$

Модель технологической операции 2 представляет собой процесс, когда выполнение производственной операции не изменяет предмета труда как объекта производственного процесса и не меняет его идентификатора. Данная модель характерна для операции хранения или транспортировки предметов труда и может быть представлена формулой

$$Po_2 = \langle St, Pt_1, Tru, Pro \rangle.$$

Модель технологической операции 3 представляет собой процесс, когда один предмет труда преобразуется в другой предмет труда без изменения основного идентификатора (обозначения), но при этом физическое их различие определяется номером выполненной технологической операции. Данная модель характерна для операции обработки детали или сборочной единицы в технологическом процессе и может быть представлена формулой

$$Po_3 = \langle St, Pt_1, Tru, Pro \rangle.$$

Модель технологической операции 4 представляет собой процесс, когда несколько предметов труда в процессе соединения создают новый предмет труда и может быть представлена формулой  $Po_4 = \langle St, Pt_1, Pt_2, Pt_3, Pt_4, Tru, Pro \rangle$ .

При этом соединение может быть как разъемным (например, для операции комплектования), так и неразъемным (например, для операций клепки, пайки, сварки, покрытия) (рис. 4).



Рис. 4. Модель технологической операции 4

Модель технологической операции 5 представляет собой процесс, когда несколько предметов труда создают новый предмет труда с кодом основного предмета труда и добавлением номера операции и может быть представлена формулой  $Po_5 = \langle St, Pt_1, Pt_2, Pt_3, Tru, Pro \rangle$ . Такая модель характерна для операций комплектования или сборки в технологическом процессе сборки.

Модель технологической операции 6 представляет собой процесс, когда один предмет труда преобразуется в несколько других предметов труда и может быть представлена формулой  $Po_6 = \langle St, Pt_1, Pt_2, Pt_3, Tru, Pro \rangle$ . Такая модель характерна для операций разборки сборочной единицы, разделения заготовки на несколько деталей или на деталь и отход.

Во всех предыдущих шести моделях присутствует фиксированные или альтернативные нормативы взаимодействия предметов труда. В то же время для модели 4 имеет место ситуация, когда нормативы взаимодействия определяются некоторым полем размерности, и при этом норматив взаимодействия одного предмета труда зависит от норматива другого предмета труда (модель 7). Такая модель характерна для операции шихтовки при подготовке шихтового состава для операции плавки (рис. 5) и может быть представлена формулой

$$Po_7 = \langle St, Pt_1', Pt_3', Pt_3', Pt_4, Tru, Pro \rangle.$$

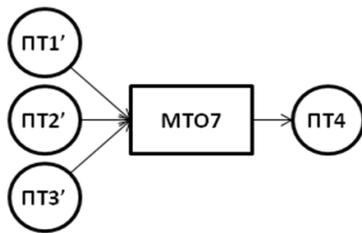


Рис. 5. Модель технологической операции 7

Построение модели технологических процессов требует анализа и построения модели каждого технологического метода. Выделим из состава технологических методов неповторяющиеся с точки зрения взаимодействия предметов труда процессы. Определим перечень базовых технологических методов для формирования модели технологических процессов:  $Trav_1^1$  – литье,  $Trav_1^2$  – формование,  $Trav_2^1$  – обработка резанием,  $Trav_2^2$  – обработка давлением,  $Trav_2^3$  – раскрой,  $Trav_2^4$  – слесарная об-

работка,  $Trav_3^1$  – электрофизическая обработка,  $Trav_3^2$  – электрохимическая обработка,  $Trav_4^1$  – гальванопластика,  $Trav_5^1$  – нанесение покрытия,  $Trav_6^1$  – сборка,  $Trav_7^1$  – испытания,  $Trav_8^1$  – технический контроль,  $Trav_9^1$  – комплектование,  $Trav_{10}^1$  – разборка,  $Trav_{11}^1$  – транспортировка,  $Trav_{12}^1$  – хранение. Имеет место формула

$$Tm = \left\{ \begin{array}{l} (Trav_1^1, Trav_1^2), \\ (Trav_2^1, Trav_2^2, Trav_2^3, Trav_2^4), \\ (Trav_3^1, Trav_3^2), \\ Trav_4^1, \dots, Trav_{12}^1 \end{array} \right\}.$$

Построение модели технологического процесса представляет собой формирование совокупности моделей технологических операций для каждого технологического метода. Такая модель может быть создана в графическом виде или представлена в виде двумерной матрицы для построения модели производственной структуры.

Так, модель литейного процесса состоит из последовательности операций, которые могут быть представлены в виде совокупности моделей технологических операций: шихтовка, плавка (получение неразделимой совокупности компонентов сплава как предмета труда), заливка (распределение сплава по литейным формам и получение блоков заготовок), обрубка (разделение блоков на отдельные заготовки). Модель литейного технологического процесса может быть представлена формулой

$$Tpr_1 = \langle Po_4, Po_1, Po_3, Po_6 \rangle,$$

см. рис. 6.

Другой пример модели – это процесс обработки давлением, который состоит из моделей технологических операций раскроя (получение заготовок дляковки из материала), обработки (получение единичной заготовки или блока заготовок деталей методом горячего прессования), обрубки (получение готовой заготовки или нескольких заготовок деталей путем удаления облоя). Модель процесса обработки давлением может быть представлена формулой

$$Tpr_2 = \langle Po_1, Po_1, Po_6 \rangle.$$

Следующий пример – это процесс обработки резанием, представляет собой процесс превращения заготовки или материала в деталь методом снятия стружки на операциях без изменения основного идентификатора детали. Модель

процесса обработки резанием может быть представлена формулой  $TP_{r_3} = \langle PO_1, PO_3, PO_3 \rangle$ .

Модели технологических процессов могут быть представлена в виде двухмерной матрицы, представляющей взаимосвязь модели технологических операций и технологических методов.

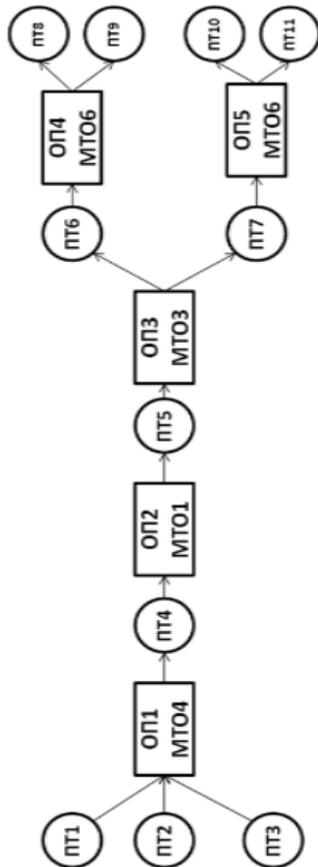


Рис. 6. Модель литейного процесса

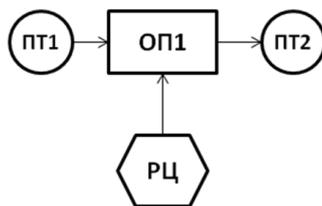


Рис. 7. Схема однопредметного рабочего центра

Модель производственной структуры по существу представляет собой отражение взаимосвязей производственных операций и рабочих центров. Она по сути является статической моделью производственного процесса и отражает потребности в наименованных ресурсах (материальных, трудовых и мощностях) для производства единичного изделия. Рассмотрим взаимосвязь операций и рабочих центров, опреде-

ляющих особенности организации производства. Если на рабочем центре выполняется только одна или несколько последовательных операций одного предмета труда, то такой рабочий центр и, соответственно, производственный процесс, может быть представлен формулой  $Rcentr_1 = \langle Pt_1, Pt_2, To_1 \rangle$  (см. рис. 7).

Если на рабочем центре выполняются операции нескольких предметов труда, то такой рабочий центр и, соответственно, производственный процесс может быть представлен формулой  $Rcentr_2 = \langle Pt_1, Pt_2, To_1, Pt_3, Pt_4 \rangle$ .

Далее, в соответствии с требованиями стандарта ИСО(МЭК-15288 [9], в целях организации планирования, обеспечения, функционирования и поддержки производства, модели процессов обработки (как модели жизненного цикла системы) могут быть сегментированы на стадии, что обеспечивает упорядоченное продвижение во времени. Стадии имеют ответственного за их выполнение. Каждая стадия посвящена только одной функции, а число интерфейсов между стадиями держится минимальным. Таким образом, основная функция каждой стадии может быть описана как специфическая цель и набор действий. В нашем случае речь идет о дальнейшей композиции моделей производственных процессов в процессы предприятия, в проектные процессы и технические процессы. Отметим, что речь идет об информационном подходе для формализации предметной области, где первичными являются категории объектов и отношения между ними, т. е. когда формально система может быть представлена множеством объектов предметной области и множеством отношений между ними. Далее – это описание свойств объектов и их отношений. Такое описание тождественно описанию между математическими объектами, не зависящими от внутренней структуры объектов, используемых в теории категорий. Согласно [9, 10] множество моделей технических процессов и отношений между ними может быть представлено формулой в виде упорядоченного множества

$$TP = \langle TP_{tot}, TP_{tpa}, TP_{tpa}, TP_{res}, TP_{com}, TP_{ver}, TP_{per}, TP_{val}, TP_f, TP_{to}, TP_{isp} \rangle .$$

В нашем случае речь идет о процессе реализации элементов системы  $TP_{res}$ , который состоит из цели процесса  $TP_{res}^1 = \{res_1^1\}$ , результата процесса  $TP_{res}^2 = \{res_1^2, \dots, res_4^2\}$  и деятельности в процессе  $TP_{res}^3 = \{res_1^3, \dots, res_5^3\}$ .

В ходе этого процесса происходит преобразование заданных поведенческих, интерфейсных и производственных ограничений в действия по реализации, в результате которых в соответствии со сложившимися правилами и технологией создается элемент системы. Системный элемент конструируется или адаптируется путем обработки материалов и (или) информации, соответствующих выбранной технологии реализации, и использования соответствующих технических приемов и дисциплин. Результатом процесса является элемент системы, удовлетворяющий как архитектурным решениям, что подтверждается при верификации, так и требованиям правообладателей, что подтверждается при валидации. А именно – параметра  $res_3^3$  деятельности в процессе  $TP_{res}^3 = \{res_1^3, \dots, res_5^3\}$ . Граф взаимных связей и отношений приведенных объектов приведен на рис. 8.

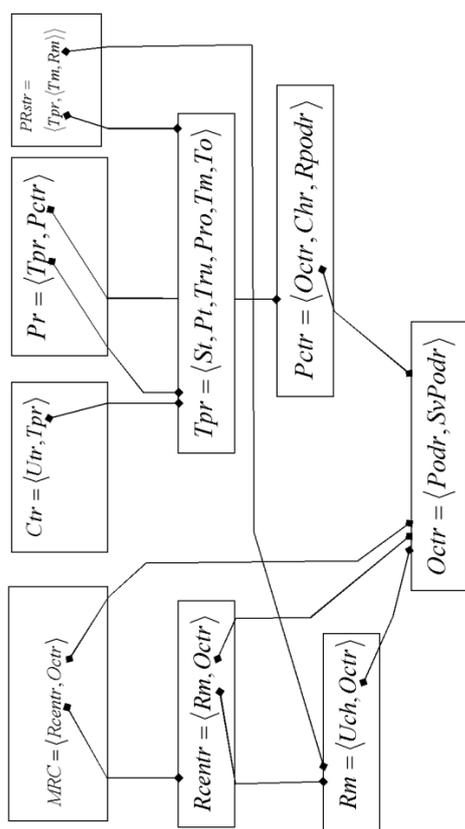


Рис. 8. Граф взаимных связей и отношений объектов

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обобщая результаты исследований, можно отметить, что для каждой пары объектов  $A, B$  существует множество морфизмов  $Hom_C(A, B)$ , причем каждому морфизму соответствует единственные  $A$  и  $B$ . В нашем случае речь идет о ка-

тегории множеств, элементами которых является знаковый алфавит и семантические определения исследуемой предметной области. Таким образом, Объектами в этой категории являются множества, морфизмами – отображения множеств. Причем в каждом случае может быть построена многомерная матрица (OLAP-куб), измерениями которого являются приведенные к определенной мере (оцифрованные) знаковые показатели объектов. Значениями кубов являются на низшем уровне элементарные значения, на более высоких уровнях иерархии – OLAP-кубы более низкого порядка.

Модель производственной структуры может быть представлена в виде матрицы взаимосвязи модели рабочих центров и моделей технологических процессов. Необходимо подчеркнуть, что все рабочие центры в данной модели являются многопредметными.

Нетрудно показать, что символьная теоретико-множественная модель является эквивалентной иерархической структуре семантического словаря данных соответствующего графоаналитического языка, описанного выше. При этом выполняются все необходимые требования формальной грамматики Н. Хомского. А это в символьном базисе (с Декартовым произведением) будет эквивалентно OLAP-кубу. Семантической основой этого куба будет являться словарь данных, составленный из алфавита моделируемой предметной области и последующих семантических определений-проекции (частные структур). Эти символьно-синтаксические структуры могут выполнять роль моделей для интеллектуальной конфигурации (настройки) поискового сервера в производственном информационном контенте предприятия.

Таким образом, разработан формальный метод моделирования производственных процессов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болотова Л. С. Системы искусственного интеллекта: модели и технологии, основанные на знаниях. М.: Финансы и статистика, 2012, 664 с. [ L. S. Bolotova, *Artificial intelligence systems: models and technologies based on knowledge*, (in Russian). Moscow: Finansy i statistika, 2012. ]
2. Бениаминов Е. М. Алгебраические методы в теории баз данных и представлении знаний. М.: Научный мир, 2003, 184 с. [ Е. М. Beniaminov, *Algebraic methods in the theory of databases and knowledge representation*, (in Russian). Moscow: Nauchni mir, 2003. ]
3. Хомский Н. Язык и проблема знания // Вестник МГУ. 1996. Вып. 6. С. 157–185. [ N. Chomsky, « The language and the problem of knowledge, " (in Russian), *Vestnik MGU*, no. 6, pp. 157-185, 1996. ]

4. **Погонин В. А.** Модели диспетчерского управления роботами. // Информационные процессы и управление: интернет-журнал. 2006. № 1. С. 45–57. [ V. A. Pogonon, "The model of Supervisory control robots," (in Russian), *Internet-journal of Information processes and control*, no. 1, pp. 45-57, 2006. ]

5. **Википедия.** Категория множеств [Электрон. ресурс]. URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Категория\\_множеств](http://ru.wikipedia.org/wiki/Категория_множеств) (дата обращения 09.04.14). [ Wikipedia. Category of sets [Online]. Available: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Категория\\_множеств](http://ru.wikipedia.org/wiki/Категория_множеств) ]

6. **ГОСТ 3.1001-2011.** Единая система технологической документации. Общие положения. М.: Стандартинформ, 2011. 8 с. [ *Unified system for technological documentation. General provisions, GOST 3.1001-2011*, (in Russian). Moscow: Standartinform, 2011. ]

7. **Речкалов А. В.** Дифференциация типов производств при формировании системы оперативного управления машиностроительным предприятием // Проблемы улучшения использования математических методов ЭВМ в народном хозяйстве области: тез. докл. IV обл. науч.-техн. конф. Тюмень, 1984. С. 16–17. [ A. V. Rechkalov, "The different types of industries in the formation of the system of operational control engineering company," (in Russian), in *Problems of improving the use of mathematical methods of computers in the national economy region: abstracts IV regional scientific and technology conf. Tyumen*, pp. 16-17, 1984. ]

8. **ГОСТ 3.1123-84.** Единая система технологической документации. Формы и правила оформления технологических документов, применяемых при нормировании расхода материалов. М.: Госстандарт СССР, 1984. 212 с. [ *Unified system for technological documentation. Forms and rules of design and technological documents used in the valuation of material consumption*, (in Russian), Federal standard R GOST 3.1123-84. Moscow: Goststandart USSR, 1984. ]

9. **ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005.** Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем. М.: Стандартинформ, 2006. 54 с. [ *Information technology. System engineering. System life cycle processes*, (in Russian), Federal standard R ISO/IEC 15288:2008. Moscow: Standartinform, 2006. ]

10. **Антонов В. В., Куликов Г. Г., Антонов Д. В.** Теоретические и прикладные аспекты построения моделей информационных систем. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG, Germany, 2011, 134 с. [ G. G. Kulikov, V. V. Antonov, D. V. Antonov, *Theoretical and applied aspects of building models of information systems*, (in Russian). LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co.KG, Germany, 2011. ]

#### ОБ АВТОРАХ

**РЕЧКАЛОВ Александр Васильевич**, проф. каф. АСУ, дир. по развитию бизнеса компании GMCS. Дипл. инж. Д-р техн. наук по автоматиз. и упр. технол. процессами и производствами (УГАТУ, 2001). Иссл. в обл. упр. технол. процессами и производствами.

**АНТОНОВ Вячеслав Викторович**, доц. каф. АСУ. Дипл. математик (Баш. гос. ун-т, 1979). Канд. техн. наук по упр. в соц. и экон. системах (УГАТУ, 2007). Иссл. в обл. автомат. систем управления.

**АРТЮХОВ Александр Викторович**, ген. дир. – упр. дир. Дипл. инженер (УГАТУ, 1996). Иссл. в обл. упр. технол. процессами и производствами.

#### METADATA

**Title:** Development of formal integrated model of production of the machine-building enterprise.

**Authors:** A. V. Rechkalov<sup>1</sup>, V. V. Antonov<sup>1</sup>, A. V. Artuhov<sup>2</sup>

**Affiliation:**

<sup>1</sup> Ufa State Aviation Technical University (UGATU), Russia.

<sup>2</sup> Ufa Engine Industrial Association (UMPO), Russia.

**Email:** <sup>1</sup>boss@bashkortostan.ru .

**Language:** Russian.

**Source:** Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 18, no. 4 (65), pp. 125-133, 2014. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

**Abstract:** Practice of introduction of the automated control systems at the large machine-building enterprises shows, that, despite of complication of models of management by supplying and marketing functions, marketing and financial transactions, the most toilful and complex section of a control system there is a production management. In article the question of construction of formal model process with application of the integrated approach demanding the all-round analysis and system development is considered. Complexity of construction of such models consists in necessity of the account of a fair quantity of dynamic conditions of production and maintenance of operative reaction of systems on arising indignations.

**Key words:** attributive translation; a subject domain; semantic model; a category of sets.

**About authors:**

**RECHKALOV, Alexander Vasil'evich**, the professor of faculty of ASU (UGATU). Dr. of Tech. Sci. Sciences, the director on development of business of company GMCS.

**ANTONOV, Vyacheslav Viktorovich**, docent faculty of ASU(UGATU). Cand. Tech. Sci. (UGATU, 2007).

**ARTUHOV, Alexander Viktorovich**, the general director of open joint stock company "Ufa motor-building production Association".