

УДК 004.65

А.В. Речкалов¹, Г.Г. Куликов¹, В.В. Антонов¹, А.В. Артюхов²¹Уфимский государственный авиационный технический университет,
Уфа, Россия²ОАО «Уфимское моторостроительное производственное объединение»,
Уфа, Россия

РАЗРАБОТКА ФОРМАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЕКТНОГО И ПРОИЗВОДСТВЕННОГО МЕНЕДЖМЕНТА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ КИС

Рассмотрены проблемы построения формальной математико-семантической модели предметной области (организация производственной деятельности). Эволюция информационных систем рассматривается с позиции их встраивания в действующую систему бизнес-правил производственного предприятия путем формализации последних. До настоящего времени остаются неисследованными многие теоретические задачи, связанные с моделированием бизнес-процессов, их дальнейшим информационным сопровождением (совместно с семантическими правилами их регламентации) в корпоративных информационных системах (КИС). Предложен вариант моделирования предметной области с применением методов, учитывающих нечеткость описаний модели исследуемого объекта, в соответствии с положениями системной инженерии.

Ключевые слова: модель предметной области; семантическая модель; производственная система; корпоративная информационная система (КИС); интегрированная обработка информации; категория множеств; атрибутивная трансляция.

A.V. Rechkalov¹, G.G. Kulikov¹, V.V. Antonov¹, A.V. Artuhov²¹Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation²Ufa Engine Industrial Association, Ufa, Russian Federation

DEVELOPMENT OF THE FORMAL MODEL OF THE PRODUCTION PROCESS FOR ORGANIZATION OF PROJECT AND PRODUCTION MANAGEMENT USING INTELLIGENT KEYS

The article considers the problem of constructing a formal mathematical and semantic domain model (organization of production activities). The evolution of information systems is considered from the perspective of their integration into the operating system business rules production enterprise by

formalizing the last. Up to the present time, there remain many unexplored theoretical problems associated with the modeling of business processes further information support (in conjunction with semantic rules of the regulation on the corporate information systems (CIS). A variant of the domain model using methods that take into account the vagueness of the descriptions of the model of the investigated object, in accordance with the provisions of systems engineering.

Keywords: domain model; semantic model; production system; corporate information system (CIS); integrated information processing; category of sets; attribute translation.

Введение. В настоящее время широкое применение находит процессный подход для организации проектного и производственного менеджмента, основанный на формальных моделях жизненного цикла (ЖЦ) систем. Многие виды продукции представляют собой многосложные системы, основанные на взаимодействии совокупности управленческих и технических действий. Их производство осуществляется с помощью процессов, имеющих разнообразные технические и управляющие «входы» и «выходы». При этом возрастает роль стандартов, используемых на всех стадиях менеджмента, прежде всего потому, что стандарты обеспечивают возможность взаимодействия различных компонент между собой. Чем более сложной является архитектура организации, тем консолидирующая роль стандартов становится актуальнее. Принято различать стандарты де-юре, т.е. разработанные и поддерживаемые официальными органами по стандартизации, такими как Международная организация по стандартизации – ISO, и стандарты де-факто, основанные на существующем широком распространении технологии или методологии. Наибольший интерес представляет стандарт ISO/IEC 15288 [1], который является рамочным (Framework), т.е. задает только общие требования к реализации процессов, связанных с разработкой и поддержкой жизненного цикла систем. Как правило, он используется в качестве методологической базы для дальнейшей конкретизации управления процессами предприятия. При этом структура жизненного цикла систем представима в виде «дерева» процессов (рис. 1).

Модель бизнес-процессов для организационного, проектного и производственного менеджмента. Необходимая номенклатура бизнес-процессов (БП) и структура их связей для эффективной организации проектной и производственной деятельности определяются классификациями и требованиями международных стандартов ISO/IEC 15288, ISO 9000, и др. Модель ЖЦ системы обеспечивается соответствующими процессами, сегментированными стадиями их выполнения. Функция процесса описывается его специфической целью и набором действий.

Процесс по ходу жизненного цикла может использовать другой процесс для специализированной функции. При этом если процесс A вызывается только одним процессом B , то $A \in B$. Если функция реализуется более чем одним процессом, то эта функция сама становится процессом.



Рис. 1. Структура активностей стандарта ISO/IEC 15288

Таким образом, каждый процесс имеет цели, выходные продукты, ряд предписанных действий, которые состоят, в свою очередь, из обязательно выполняемых заданий. Процессы, определяемые в соответствии со стандартом, образуют полное множество, из которого организация может конструировать модели жизненного цикла сложных систем, соответствующие своим потребностям, выбирая по необходимости любое приемлемое подмножество таких процессов. Процессы жизненного цикла системного инжиниринга делятся на контрактные процессы и процессы, вложенные друг в друга (рис. 2).

Это организационно-обеспечивающие процессы, внутри них проектные процессы, а уже внутри последних технические процессы (выполняющие работу). Обозначим процессы соглашения – PS, процессы предприятия – PP, процессы проекта – PPR, технические процессы – TP. Еще раз подчеркнем, что каждый процесс имеет цели, выходные продукты, ряд предписанных действий, которые состоят, в свою очередь, из обязательно выполняемых заданий. Человек в процессе может выступать в качестве и пользователя, и элемента системы.

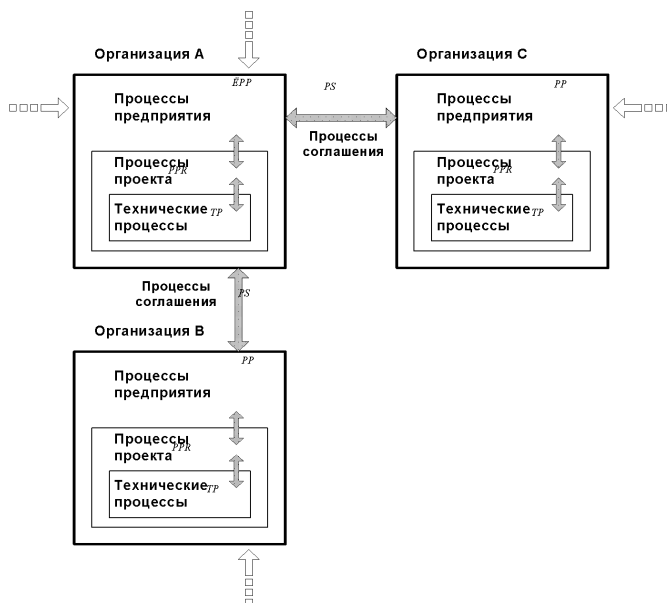


Рис. 2. Множество процессов организации

Основные информационные объекты, используемые в бизнес-процессах структурного подразделения, могут быть сведены в матрицу операций над ресурсами и приведены в таблице. Для информационного объекта определяется структура его жизненного цикла, назначаются роли и их исполнители в соответствии с организационной структурой.

Фрагмент матрицы операций над ресурсами

Первичные информационные процессы Информационные объекты		Сбор	Преобразование	Кодирование	...	Использование
		Обслуживаемая территория				
Вид учета 1						
	Объект учета 1	V		V		V
	Объект учета 2		V	V		V
Вид учета 2						
	Объект учета 1	V	V	V		
	Объект учета 2		V	V		V
	Объект учета 3					V
Вид учета 3						
	Объект учета 1	V	V	V		V
	Объект учета 2		V	V		V
	Объект учета 3					V
....						

Для инициализации и управления исполнением бизнес-процессов они дополняются необходимыми функциями управления (нормирование, планирование, регулирование, учет) и соответственно ролями и исполнителями этих функций.

Таким образом, за каждым бизнес-процессом с информационным объектом закрепляется и процесс управления:

$$\left\{ \begin{array}{l} MOR = \langle IO, FIP \rangle \quad MFU = \langle IO, FU \rangle \quad MR = \langle Roles, FU \rangle \\ BP = \langle IO, FIP, OS \rangle \quad PU = \langle BP, FU, OS \rangle \end{array} \right\}, \quad (1)$$

где IO – множество информационных объектов, FIP – множество первичных информационных процессов, FU – множество функций управления, MOR – матрица операций над ресурсами, MFU – матрица функций управления информационными объектами, MR – матрица ролей для функции управления, BP – бизнес-процесс, PU – процесс управления, OS – множество штатных единиц (штатная структура).

Повышение степени структурной и параметрической адекватности модели объекта учета осуществляется путем регулярной организации анализа функциональной составляющей системы учета. Основные аспекты представлены на рис. 3.

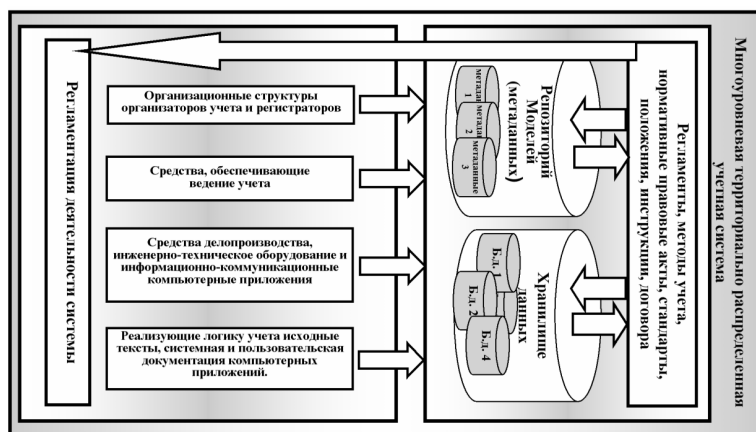


Рис. 3. Функциональная структура учетной системы в КИС

Обрабатываемые данные могут быть представлены в виде конечных последовательностей знаков и цифр, взятых из некоторого конечного алфавита N . Процесс обработки может быть представлен в виде преобразования входных данных V в выходные Y . Здесь $V = \{v_1, v_2, \dots, v_N\}$, а $F = \{f_1, f_2, \dots, f_N\}$, $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_N\}$ (рис. 4).

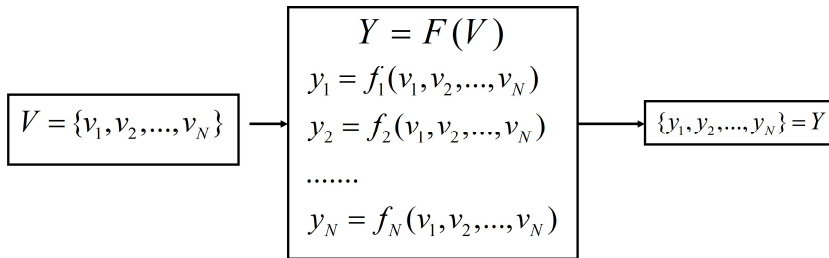


Рис. 4. Формальное представление преобразователя
входных данных в выходные

Могут быть использованы различные подходы, структурирующие предметную область и моделирующие ее, например, с помощью описания:

- функциональной структуры – модель SADT (IDEF0);
- последовательности выполняемых действий – модель IDEF3;
- передачи данных между структурными блоками – диаграммы потоков данных (DFD);
- отношений между данными – модель ERM.

Однако в любом случае, при информационном подходе для формализации предметной области, первичными являются категории объектов и отношения между ними – функторы, которые тоже образуют отдельную категорию, т.е. формально система отношений может быть представлена множеством объектов предметной области и множеством отношений между ними [2, 3].

Теоретико-множественная модель бизнес-процессов для организационного, проектного и производственного менеджмента. Процессы соглашения PS состоят из процесса приобретения PS_{pr} и процесса поставки PS_{po} . При этом процесс приобретения состоит:

- из цели процесса приобретения $PS_{pr}^1 = \{pr_1^1\}$;
- результата процесса приобретения $PS_{pr}^2 = \{pr_1^2, \dots, pr_7^2\}$;
- деятельности в процессе приобретения $PS_{pr}^3 = \{pr_1^3, \dots, pr_8^3\}$.

Процесс поставки состоит:

- из цели процесса поставки $PS_{po}^1 = \{po_1^1\}$;
- результата процесса поставки $PS_{po}^2 = \{po_1^2, \dots, po_7^2\}$;
- деятельности в процессе поставки $PS_{po}^3 = \{po_1^3, \dots, po_9^3\}$.

Имеет место формула, которая определяет отношения между организациями в виде упорядоченного множества:

$$PS = \langle PS_{pr}, PS_{po} \rangle = \langle \{PS_{pr}^1, PS_{pr}^2, PS_{pr}^3\}, \{PS_{po}^1, PS_{po}^2, PS_{po}^3\} \rangle. \quad (2)$$

Таким образом, процессы соглашения образуют класс объектов, для каждой пары объектов которого PS_1 и PS_2 задано множество морфизмов $Hom(PS_1, PS_2)$, для каждой пары которых (морфизмов), например $g_{PS} \in Hom(PS_1, PS_2)$ и $f_{PS} \in Hom(PS_2, PS_3)$, определена их композиция $g_{PS} \circ f_{PS} \in Hom(PS_1, PS_3)$, т.е. процессы соглашения образуют категорию множеств.

Процессы предприятия PP включают в себя:

а) процесс управления средой предприятия PP_{spr} , который состоит из цели процесса $PP_{spr}^1 = \{spr_1^1\}$, результата процесса $PP_{spr}^2 = \{spr_1^2, spr_2^2, spr_3^2\}$ и деятельности в процессе $PP_{spr}^3 = \{spr_1^3, \dots, spr_6^3\}$;

б) процесс управления инвестициями PP_{inv} , который состоит из цели процесса $PP_{inv}^1 = \{inv_1^1\}$, результата процесса $PP_{inv}^2 = \{inv_1^2, \dots, inv_5^2\}$ и деятельности в процессе $PP_{inv}^3 = \{inv_1^3, \dots, inv_8^3\}$;

в) процесс управления процессами жизненного цикла системы PP_{gcs} , который состоит из цели процесса $PP_{gcs}^1 = \{gcs_1^1\}$, результата процесса $PP_{gcs}^2 = \{gcs_1^2, \dots, gcs_5^2\}$ и деятельности в процессе $PP_{gcs}^3 = \{gcs_1^3, \dots, gcs_7^3\}$;

г) процесс управления ресурсами PP_{rs} , который состоит из цели процесса $PP_{rs}^1 = \{rs_1^1\}$, результата процесса $PP_{rs}^2 = \{rs_1^2, rs_2^2, rs_3^2\}$ и деятельности в процессе $PP_{rs}^3 = \{rs_1^3, \dots, rs_5^3\}$;

д) процесс управления качеством PP_{kch} , который состоит из цели процесса $PP_{kch}^1 = \{kch_1^1\}$, результата процесса $PP_{kch}^2 = \{kch_1^2, \dots, kch_6^2\}$ и деятельности в процессе $PP_{kch}^3 = \{kch_1^3, \dots, kch_6^3\}$.

Имеет место формула, которая определяет отношения между процессами организации(предприятия) в виде упорядоченного множества:

$$PP = \langle PP_{spr}, PP_{inv}, PP_{gcs}, PP_{rs}, PP_{kch} \rangle, \quad (3)$$

где

$$PP_{spr} = \{PP_{spr}^1, PP_{spr}^2, PP_{spr}^3\}, PP_{inv} = \{PP_{inv}^1, PP_{inv}^2, PP_{inv}^3\},$$

$$PP_{gcs} = \{PP_{gcs}^1, PP_{gcs}^2, PP_{gcs}^3\}, PP_{rs} = \{PP_{rs}^1, PP_{rs}^2, PP_{rs}^3\},$$

$$PP_{kch} = \{PP_{kch}^1, PP_{kch}^2, PP_{kch}^3\}.$$

Таким образом, процессы предприятия образуют: класс объектов, для каждой пары объектов которого PP_1 и PP_2 задано множество морфизмов $Hom(PP_1, PP_2)$, для каждой пары которых (морфизмов), например $g_{PP} \in Hom(PP_1, PP_2)$ и $f_{PP} \in Hom(PP_2, PP_3)$, определена их композиция $g_{PP} \circ f_{PP} \in Hom(PP_1, PP_3)$, т.е. процессы предприятия образуют категорию множеств.

Процессы проекта PPR состоят из следующих процессов:

а) процесс планирования проекта PPR_{sppr} , который, в свою очередь, состоит из цели процесса $PPR_{sppr}^1 = \{sppr_1^1\}$, результата процесса $PPR_{sppr}^2 = \{sppr_1^2, \dots, sppr_5^2\}$ и деятельности в процессе $PPR_{sppr}^3 = \{sppr_1^3, \dots, sppr_{11}^3\}$;

б) процесс оценки проекта PPR_{oc} , который, в свою очередь, состоит из цели процесса $PPR_{oc}^1 = \{oc_1^1\}$, результата процесса $PPR_{oc}^2 = \{oc_1^2, \dots, oc_5^2\}$ и деятельности в процессе $PPR_{oc}^3 = \{oc_1^3, \dots, oc_9^3\}$;

в) процесс контроля проекта PPR_{ctrl} , который, в свою очередь, состоит из цели процесса $PPR_{ctrl}^1 = \{ctrl_1^1\}$, результата процесса $PPR_{ctrl}^2 = \{ctrl_1^2, \dots, ctrl_4^2\}$ и деятельности в процессе $PPR_{ctrl}^3 = \{ctrl_1^3, \dots, ctrl_8^3\}$;

г) процесс принятия решений PPR_{rs} , который, в свою очередь, состоит из цели процесса $PPR_{rs}^1 = \{rs_1^1\}$, результата процесса $PPR_{rs}^2 = \{rs_1^2, \dots, rs_4^2\}$ и деятельности в процессе $PPR_{rs}^3 = \{rs_1^3, \dots, rs_7^3\}$;

д) процесс управления рисками PPR_{rsk} , который, в свою очередь, состоит из цели процесса $PPR_{rsk}^1 = \{rsk_1^1\}$, результата процесса $PPR_{rsk}^2 = \{rsk_1^2, \dots, rsk_5^2\}$ и деятельности в процессе $PPR_{rsk}^3 = \{rsk_1^3, \dots, rsk_{10}^3\}$;

е) процесс управления конфигурацией проекта PPR_{cfg} , который, в свою очередь, состоит из цели процесса $PPR_{cfg}^1 = \{cfg_1^1\}$, результата процесса $PPR_{cfg}^2 = \{cfg_1^2, \dots, cfg_6^2\}$ и деятельности в процессе $PPR_{cfg}^3 = \{cfg_1^3, \dots, cfg_4^3\}$;

ж) процесс управления информацией PPR_{in} , который, в свою очередь, состоит из цели процесса $PPR_{in}^1 = \{in_1^1\}$, результата процесса $PPR_{in}^2 = \{in_1^2, \dots, in_6^2\}$ и деятельности в процессе $PPR_{in}^3 = \{in_1^3, \dots, in_{11}^3\}$.

Имеет место формула, которая определяет отношения между процессами проекта в виде упорядоченного множества:

$$PPR = \langle PPR_{sppr}, PPR_{oc}, PPR_{ctrl}, PPR_{rs}, PPR_{rsk}, PPR_{cfg}, PPR_{in} \rangle, \quad (4)$$

где $PPR_{sppr} = \{PPR_{sppr}^1, PPR_{sppr}^2, PPR_{sppr}^3\}, \dots, PPR_{in} = \{PPR_{in}^1, PPR_{in}^2, PPR_{in}^3\}$.

Таким образом, процессы проекта образуют класс объектов, для каждой пары объектов которого PPR_1 и PPR_2 задано множество морфизмов $Hom(PPR_1, PPR_2)$, для каждой пары которых (морфизмов), например $g_{PPR} \in Hom(PPR_1, PPR_2)$ и $f_{PPR} \in Hom(PPR_2, PPR_3)$ определена их композиция $g_{PPR} \circ f_{PPR} \in Hom(PPR_1, PPR_3)$, т.е. процессы проекта образуют категорию множеств.

Технические процессы TP включают в себя:

а) процесс определения требований правообладателей TP_{tot} , который состоит из цели процесса $TP_{tot}^1 = \{tot_1^1\}$, результата процесса $TP_{tot}^2 = \{tot_1^2, \dots, tot_6^2\}$ и деятельности в процессе $TP_{tot}^3 = \{tot_1^3, \dots, tot_{12}^3\}$;

б) процесс анализа требований TP_{ta} , который состоит из цели процесса $TP_{ta}^1 = \{tat_1^1\}$, результата процесса $TP_{ta}^2 = \{tat_1^2, \dots, tat_4^2\}$ и деятельности в процессе $TP_{ta}^3 = \{tat_1^3, \dots, tat_8^3\}$;

в) процесс проектирования архитектуры TP_{tpa} , который состоит из цели процесса $TP_{tpa}^1 = \{tpa_1^1\}$, результата процесса $TP_{tpa}^2 = \{tpa_1^2, \dots, tpa_6^2\}$ и деятельности в процессе $TP_{tpa}^3 = \{tpa_1^3, \dots, tpa_{10}^3\}$;

г) процесс 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 $TP_{res}^3 = \{res_1^3, \dots, res_5^3\}$;

д) процесс комплексирования TP_{com} , который состоит из цели процесса $TP_{com}^1 = \{com_1^1\}$, результата процесса $TP_{com}^2 = \{com_1^2, \dots, com_4^2\}$ и деятельности в процессе $TP_{com}^3 = \{com_1^3, \dots, com_7^3\}$;

е) процесс верификации TP_{ver} , который состоит из цели процесса $TP_{ver}^1 = \{ver_1^1\}$, результата процесса $TP_{ver}^2 = \{ver_1^2, \dots, ver_4^2\}$ и деятельности в процессе $TP_{ver}^3 = \{ver_1^3, \dots, ver_7^3\}$;

ж) процесс передачи TP_{per} , который состоит из цели процесса $TP_{per}^1 = \{per_1^1\}$, результата процесса $TP_{per}^2 = \{per_1^2, \dots, per_6^2\}$ и деятельности в процессе $TP_{per}^3 = \{per_1^3, \dots, per_8^3\}$;

з) процесс валидации TP_{val} , который состоит из цели процесса $TP_{val}^1 = \{val_1^1\}$, результата процесса $TP_{val}^2 = \{val_1^2, \dots, val_4^2\}$ и деятельности в процессе $TP_{val}^3 = \{val_1^3, \dots, val_7^3\}$;

и) процесс функционирования TP_f , который состоит из цели процесса $TP_f^1 = \{f_1^1\}$, результата процесса $TP_f^2 = \{f_1^2, \dots, f_4^2\}$ и деятельности в процессе $TP_f^3 = \{f_1^3, \dots, f_{11}^3\}$;

к) процесс технического обслуживания TP_{to} , который состоит из цели процесса $TP_{to}^1 = \{to_1^1\}$, результата процесса $TP_{to}^2 = \{to_1^2, \dots, to_6^2\}$ и деятельности в процессе $TP_{to}^3 = \{to_1^3, \dots, to_{10}^3\}$;

л) процесс изъятия и списания TP_{isp} , который состоит из цели процесса $TP_{isp}^1 = \{isp_1^1\}$, результата процесса $TP_{isp}^2 = \{isp_1^2, \dots, isp_5^2\}$ и деятельности в процессе $TP_{isp}^3 = \{isp_1^3, \dots, isp_{11}^3\}$.

Имеет место формула, которая определяет отношения между техническими процессами в виде упорядоченного множества:

$$TP = \langle TP_{tot}, TP_{ipa}, TP_{ipa}, TP_{res}, TP_{com}, TP_{ver}, TP_{per}, TP_{val}, TP_f, TP_{to}, TP_{isp} \rangle, \quad (5)$$

где $TP_{tot} = \{TP_{tot}^1, TP_{tot}^2, TP_{tot}^3\}, \dots, TP_{isp} = \{TP_{isp}^1, TP_{isp}^2, TP_{isp}^3\}$.

Таким образом, технические процессы образуют класс объектов, для каждой пары объектов которого TP_1 и TP_2 задано множество морфизмов $Hom(TP_1, TP_2)$, для каждой пары которых (морфизмов), например $g_{TP} \in Hom(TP_1, TP_2)$ и $f_{TP} \in Hom(TP_2, TP_3)$ определена их композиция $g_{TP} \circ f_{TP} \in Hom(TP_1, TP_3)$, т.е. технические процессы образуют категорию множеств.

Конструктивной формой описания процессов следует считать также описание в виде синтаксических диаграмм, представляющих собой графическое представление. Из наиболее известных и широко применяемых можно назвать методику структурного анализа и проектирования SADT и основанную на нем IDEF0, а также относительно новую методологию описания бизнес-процессов BPMN. При этом для описания сложных процессов стандарт BPMN вводит новые графические элементы, определяющие:

- сложные ветвления, допускающие несколько параллельно запускаемых потоков (с точками синхронизации) или ветвления по произошедшему событию;
- события времени или внешние события;
- входящие или исходящие сообщения;
- различные варианты подпроцессов, включая повторяющиеся или содержащие нечеткие правила исполнения.

Все это позволяет повышать сложность диаграмм только там, где это диктуется сложностью самого процесса.

Теоретико-множественная модель стадий ЖЦ системы объекта производства. Система в течение жизни проходит через определенные стадии, которые будут определять структуру модели ЖЦ объекта производства [1]. Стадия – период в пределах ЖЦ системы, относящийся к состоянию системного описания или непосредственно к самой системе. Стадии определяются значительными изменениями системы, в соответствии с прохождением значимых этапов ее развития. Модель ЖЦ может включать одну или несколько моделей стадий и собирается в виде последовательности стадий, которые могут перекрываться или повторяться в зависимости от сферы применения, ее размеров, сложности. Стадии жизненного цикла образуют структурную основу для детализированного моделирования жизненных циклов системы с использованием типовых процессов ее

жизненного цикла. Каждая стадия отображает значимый прогресс и достижение запланированных этапов развития системы на протяжении всего жизненного цикла и дает начало важнейшим решениям относительно входов и выходов. Эти решения используются организациями для учета неопределенностей и рисков, непосредственно связанных с затратами, сроками и функциональностью при создании или применении системы. Таким образом, стадии обеспечивают организации структуру работ, в рамках которых управление предприятием обладает высокой способностью для обзора и контроля проекта и технических процессов.

Связь между процессами жизненного цикла может быть представлена в виде диаграммы, приведенной на рис. 5.

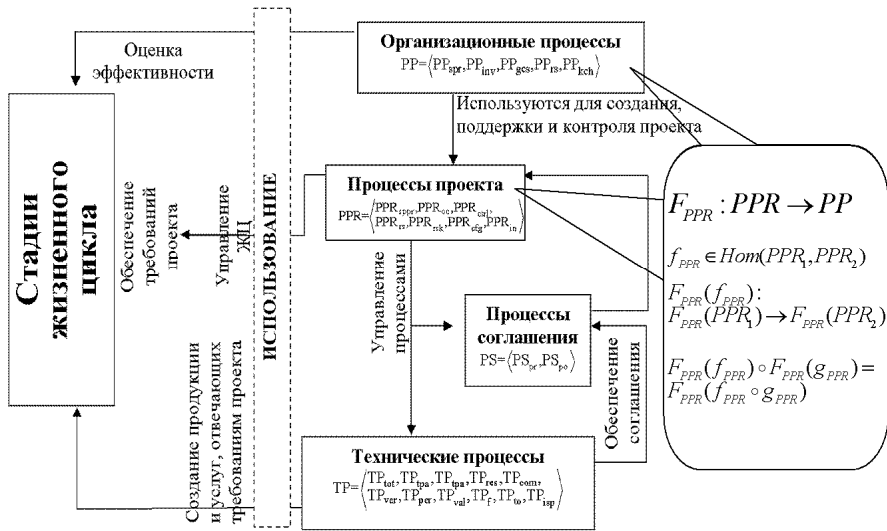


Рис. 5. Схема связей между процессами жизненного цикла

Обобщая результаты проведенной выше формализации, можно сделать вывод, что присутствует отображение категорий множеств, сохраняющее внутреннюю структуру этих категорий-множеств, т.е. связь между стадиями ЖЦ и соответствующими процессами жизненного цикла в свете положений стандарта ISO/IEC 15288 эквивалентна роли функторов, которые ставят в соответствие объекту одной категории объект другой категории, например, $F_{PPR} : PPR \rightarrow PP$ ставит в соответствие каждому процессу проекта процесс организации (организационный процесс) $F_{PPR}(PPR) \in PP$, соответственно каждому морфизму

$f_{PPR} \in \text{Hom}(PPR_1, PPR_2)$ морфизм $F_{PPR}(f_{PPR}): F_{PPR}(PPR_1) \rightarrow F_{PPR}(PPR_2)$.

При этом выполняется условие $F_{PPR}(f_{PPR}) \circ F_{PPR}(g_{PPR}) = F_{PPR}(f_{PPR} \circ g_{PPR})$.

В качестве примера рассмотрим следующие стадии жизненного цикла:

- стадия замысла Z_1 ;
- стадия разработки Z_2 ;
- стадия производства Z_3 ;
- стадия применения Z_4 ;
- стадия поддержки применения Z_5 ;
- стадия прекращения применения и списания Z_6 ;

Характеристику процесса можно представить в виде множества пар $\{\langle A_i, D_i \rangle, i=1, \dots, n\}$, где A_i – непустое множество имен свойств (атрибутов), D_i – множество значений соответствующих атрибутов. Значения разбиваются на классы объектов, которые взаимодействуют друг с другом на основе правил. Пусть π – множество этих правил. На множестве атрибутов могут быть установлены отношения $G = \{\bar{G}, \tilde{G}\}$, которые делятся на количественные \bar{G} и качественные \tilde{G} , для которых определено множество типов оценки, например $T = \{\text{“проекты продвигаются в направлении достижения поставленных целей”}, \text{“проекты ведутся согласно соответствующим директивам”}, \text{“проекты реализуются в соответствии с планами”}, \text{“проекты остаются жизнеспособными”}\}$. Тогда любое правило оценки может быть представлено кортежем $\pi = \langle G, T \rangle$. Таким образом, совокупность информационных характеристик процесса $\{\langle A_i, D_i \rangle, i=1, \dots, n\}$, установленных отношений $G = \{\bar{G}, \tilde{G}\}$ и правил установления отношений $\pi = \langle G, T \rangle$ может быть использована для формального определения процесса в виде следующего кортежа компонентов:

$$Z = \{\langle A_i, D_i \rangle, \{\bar{G}, \tilde{G}\}, T\}, i \in N. \quad (6)$$

Стадия замысла Z_1 начинается с момента осознания потребности или замысла создания новой или модификации существующей системы.

Целью стадии замысла является оценка новых возможностей в деловой сфере, разработка предварительных системных требований и осуществимых проектных решений. Результаты стадии могут быть использованы в качестве входной информации, как для последующих стадий, так и посредством обратной связи для рекурсивного анализа внутри самой стадии.

Исследуемые параметры:

– информация о состоянии рынка и экономического анализа $ZI_1 = \{z_{i_1}^1, \dots, z_{i_1}^{n_1}\}$;

– информация о приобретающей стороне $ZI_2 = \{z_{i_2}^1, \dots, z_{i_2}^{n_2}\}$;

– информация о приблизительных расчетах (таких как затраты, сроки, параметры рынка и логистики) $ZI_3 = \{z_{i_3}^1, \dots, z_{i_3}^{n_3}\}$;

– результаты стадии, используемые для рекурсивного анализа $ZI_4 = \{z_{i_4}^1, \dots, z_{i_4}^6\}$:

- установление новых замыслов, в которых предлагаются новые возможности, увеличение производительности или снижение общей стоимости собственности правообладателей в течение жизненного цикла системы;

- оценка осуществимости замысла и решений для рассматриваемой системы в течение жизненного цикла, включая обеспечивающие системы, с учетом как технических, так и деловых целей правообладателя;

- уточнение результатов стадий в модели жизненного цикла системы;

- планы идентификации, оценки и уменьшения рисков для данной и последующих стадий модели жизненного цикла системы;

- удовлетворение критериям завершения данной стадии;

- санкционирование перехода на стадию разработки;

– результаты стадии, используемые для последующих стадий $ZW_1 = \{zw_1^1, \dots, zw_1^7\}$:

- подготовка и формирование базовой линии требований правообладателя и предварительных системных требований (технических спецификаций для выбранной рассматриваемой системы и пригодности спецификаций для предусмотренного способа взаимодействия между человеком и системой);

- уточнение результатов стадий в модели жизненного цикла системы;
- планы идентификации, оценки и уменьшения рисков для стадий модели жизненного цикла системы;
- идентификация и предварительная спецификация услуг, которые необходимо получать от обеспечивающих систем в течение жизненного цикла рассматриваемой системы;
- замыслы выполнения всех последующих стадий;
- планы и критерии завершения стадии разработки;
- планы идентификации, оценки и уменьшения рисков для данной и последующих стадий модели жизненного цикла системы.

Имеет место формула, которая определяет отношения между процессами в стадии замысла в виде упорядоченного множества:

$$Z_1 = \langle ZI_1, ZI_2, ZI_3, PP, PPR, TP, ZI_4, ZW_1, \{\bar{G}_1, \tilde{G}_1\}, T_1 \rangle, \quad (7)$$

где $\bar{G}_1, \tilde{G}_1, T_1$ определены в соответствии с формулой (5) для стадии Z_1 .

Типовое описание процессов стадии замысла может быть представлено в виде диаграмм в форме, близкой к BPMN или IDEF0 (рис. 6). Таким образом, стадия замысла может быть представлена в виде класса объектов, для каждой пары объектов которого Z_1^1 и Z_1^2 задано множество морфизмов $Hom(Z_1^1, Z_1^2)$, для каждой пары которых (морфизмов), например, $g_{z_1} \in Hom(Z_1^1, Z_1^2)$ и $f_{z_1} \in Hom(Z_1^2, Z_1^3)$, определена их композиция $g_{z_1} \circ f_{z_1} \in Hom(Z_1^1, Z_1^3)$. Следовательно, объекты стадии замысла образуют категорию множеств.

Проводя аналогичные рассуждения для всех последующих стадий $Z_2 - Z_6$, можем сделать аналогичный вывод [4, 5].

Представление деятельности организации в форме теоретико-множественной семантической модели, представленной системой приведенных формул, позволяет определить логические правила для формирования функционального взаимодействия бизнес-процессов как на стадиях ЖЦ проекта, так и в пределах отдельных стадий.

Логические правила функционального взаимодействия определяются прежде всего согласованием целей и планируемых результатов отдельных процессов и правилами их ресурсного обеспечения [6, 7, 8].

Нечеткие описания в структуре модели организации могут появиться в связи с неуверенностью эксперта, которая возникает в ходе классификации уровня факторов [9]. Эксперт фиксирует показатель и его количественный носитель. На выбранном носителе эксперт строит лингвистическую переменную со своим терм-множеством значений. Каждому значению лингвистической переменной сопоставляет функцию принадлежности уровня менеджмента тому или иному нечеткому подмножеству. Для каждого критерия может быть построена матрица, где по строкам располагаются отдельные количественные показатели, а по столбцам располагаются качественные уровни данных показателей.

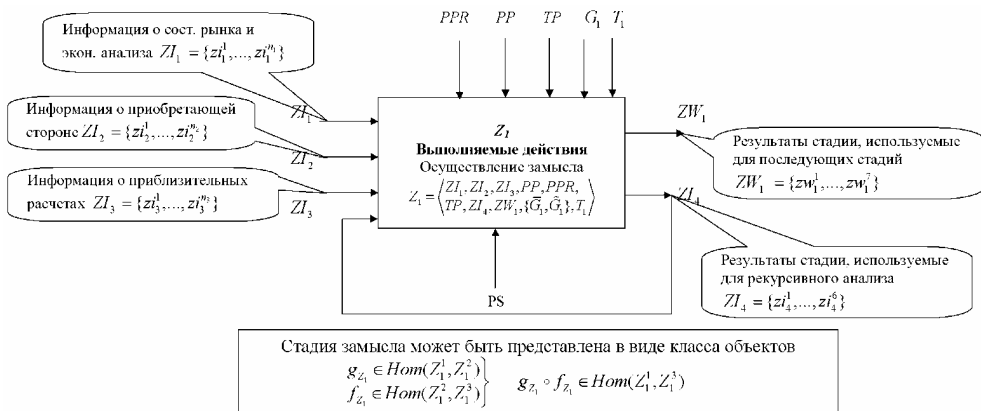


Рис. 6. Диаграмма типового описания процессов стадии замысла в нотации IDEF0

На пересечении строк и столбцов располагается степень принадлежности текущего количественного уровня фактора качественному подмножеству, измеренная определенным образом. Тогда результирующий показатель получается как двойная свертка построенной матрицы с предопределенными весами. Остается пронормировать результирующий показатель качественной оценки, и присвоить ему вес относительно совокупности всех прочих количественных показателей, включенных в оценку.

Формализуем разработанные условия и логические правила в виде матрицы (аналога матрицы Захмана), где по столбцам будем указывать стадии ЖЦ системы (продукта), а по строкам – бизнес-процессы, обеспечивающие указанные стадии.

Заполним ячейки матрицы соответствующими моделями бизнес-процессов из множества моделей, определяемых приведенными

формулами. Матрица, полученная таким образом, будет определять архитектуру формальной семантической модели деятельности организации во взаимодействии с окружающей бизнес-средой [5, 7]. Указанная матрица приведена на рис. 7.

Стадии ЖЦ	Стадия замысла	Стадия разработки	Стадия производства	Стадия применения	Стадия поддержки применения	Стадия прекращения применения и списания
Процессы	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6
Процессы соглашения	PS^{Z_1}	PS^{Z_2}	PS^{Z_3}	PS^{Z_4}	PS^{Z_5}	PS^{Z_6}
Процессы предприятия	PP^{Z_1}	PP^{Z_2}	PP^{Z_3}	PP^{Z_4}	PP^{Z_5}	PP^{Z_6}
Процессы проекта	PPR^{Z_1}	PPR^{Z_2}	PPR^{Z_3}	PPR^{Z_4}	PPR^{Z_5}	PPR^{Z_6}
Технические процессы	TP^{Z_1}	TP^{Z_2}	TP^{Z_3}	TP^{Z_4}	TP^{Z_5}	TP^{Z_6}

Рис. 7. Архитектура семантической модели в КИС предприятия

Модель позволяет формировать как структуру ЖЦ проекта (продукта) в пространстве ЖЦ БП, так и структуру ЖЦ отдельных БП в контексте выполняемого проекта.

Последняя структура позволяет использовать ее в качестве семантических и логических требований при построении матриц Захмана для определения архитектуры информационной системы проектируемого БП.

Можно отметить, что каждая строка и каждый столбец такой матрицы, ввиду своих формально-логических свойств, образуют категории и могут быть определены в виде кортежа множеств: имен объектов строк-категорий – $X = \{x_i | i = 1, \dots, n_x\}$ и столбцов-категорий $Y = \{y_i | i = 1, \dots, n_y\}$, имен отношений $R = \{r_i | i = 1, \dots, n_r\}$, в которые могут вступать эти объекты. Причем для каждой пары объектов

из строк-категорий X и столбцов-категорий Y существует отношение (возможно, определенное нечетким образом) – множество морфизмов $Hom_{Cmp}(X_i, X_j)$ и $Hom_{Cm}(Y_i, Y_j)$. Для каждой такой пары морфизмов $r_{ij} \in Hom_{Cmp}(X_i, X_j)$ и $r_{jk} \in Hom_{Cmp}(X_j, X_k)$ может быть определена композиция $r_{ij} \circ r_{jk} \in Hom_{Cmp}(X_i, X_k)$. Нетрудно показать, что между двумя зафиксированными категориями на перечечении столбца и строки существует отображение, сохраняющее структуру категорий – функтор, а пересечение строк-категорий X и столбцов-категорий Y образует категорию-ячейку.

Заключение. Обобщая результаты исследований, можно отметить, что в соответствии с положениями системной инженерии и ее стандарта ISO/IEC 15288 может быть построена целостная формальная семантическая модель производственного процесса с его детализацией до отдельных атрибутов и их значений (данных) в предметной области, определяемой экономической деятельностью, производственной деятельностью, МТС (логистикой) деятельностью и др. При этом семантическая архитектура информационной системы в форме эквивалентной модели (матрицы) Захмана будет определять общепринятую ортогональную логическую систему классификации базовых объектов предприятия как предметной области на категории-строки и категории-столбцы. Модель Захмана может быть расширена дополнительными измерениями, позволяющими интерпретировать ее в качестве OLAP-куба или совокупности OLAP-кубов. Очевидно, что каждый такой OLAP-куб будет удовлетворять свойствам категории множеств и при формализации предметной области на верхнем уровне может рассматриваться в виде объекта.

Библиографический список

1. ISO/IEC 15288:2008 Systems and software engineering. System life cycle processes. – URL: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=4356
2. Бениаминов Е.М. Алгебраические методы в теории баз данных и представлении знаний. – М.: Научный мир, 2003. – 184 с.
3. Категория множеств [Электронный ресурс]. – URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Категория_множеств (дата обращения: 09.04.2014).

4. Португал В.М., Семенов А.И., Марголин А.И. Внедрение типовой системы управления предприятием. – М.: Статистика, 1976. – 168 с.
5. 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.
6. ГОСТ 3.1001-2011 ЕСТД. Общие положения.
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 областной науч.-техн. конф. – Тюмень, 1984. – С. 16–17.
8. ГОСТ 3.1123-84. Единая система технологической документации. Формы и правила оформления технологических документов, применяемых при нормировании расхода материалов.
9. Недосекин А.О. Комплексная оценка риска банкротства корпорации на основе нечетких описаний. – URL: http://sedok.narod.ru/sc_group.html

References

1. ISO/IEC 15288:2008 Systems and software engineering. System life cycle processes. Available at: http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=4356 (accessed 23 November 2013).
2. Beniaminov E.M. Algebraicheskie metody v teorii baz dannykh i predstavlenii znaniy [Algebraic methods in the theory of databases and representation of knowledge]. Moscow: Nauchnyi mir, 2003, 184 P.
3. Kategoriia mnozhestv [Category of sets]. Available at: http://ru.wikipedia.org/wiki/Категория_множеств (accessed 09 April 2014).
4. Portugal V.M., Semenov A.I., Margolin A.I. Vnedrenie tipovoi sistemy upravleniia predpriatiem [Introduction of a standard enterprise management system]. Moscow: Statistika, 1976, 168 P.
5. Antonov V.V., Kulikov G.G., Antonov D.V. Teoreticheskie i prikladnye aspekty postroeniia modelei informatsionnykh system [Theoretical and applied aspects of creation of models of intelligence systems]. Germany: Academic Publishing GmbH & Co.KG, 2011, 134 P.
6. GOST 3.1001-2011 – Edinaia sistema tekhnologicheskoi dokumentatsii. Obshchie polozheniia [Unified system for technological documentation. General principles]. Moscow, Standartinform Publ., 2011.

7. Rechkalov A.V. Differentiatsiia tipov proizvodstv pri formirovanii sistemy operativnogo upravleniia mashinostroitel'nykh predpriiatiiem [Differentiation of types of productions when forming system of operating control by machine-building enterprise]. Problemy uluchsheniia ispol'zovaniia matematicheskikh metodov Elektro-vychislitel'noi mashiny v narodnom khoziaistve oblasti: tezisy doklada IV oblastnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii [Problems of improvement of use of mathematical methods Electro - the computer in a national economy of area: theses of the report of the IV regional scientific and technical conference]. Tiumen', 1984, pp. 16-17.

8. GOST 3.1123-84. Edinaia sistema tekhnologicheskoi dokumentatsii. Formy i pravila oformleniia tekhnologicheskikh dokumentov, primeniaemykh pri normirovanii raskhoda materialov [Unified system for technological documentation. Forms and rules for drawing up documents used in setting of proper rates of material consumption]. Moscow: Gosudarstvennyi komitet SSSR po standartam, 1984.

9. Nedosekin A.O. Kompleksnaia otsenka riska bankrotstva korporatsii na osnove nechetkikh opisaniia [A complex assessment of risk of bankruptcy of corporation on the basis of indistinct descriptions]. Available at: http://sedok.narod.ru/sc_group.html (accessed 16 December 2013).

Сведения об авторах

Речкалов Александр Васильевич – доктор технических наук, профессор кафедры автоматизированных систем управления Уфимского государственного авиационного технического университета, директор по развитию бизнеса компании GMCS (г. Уфа, ул. Карла Маркса, 12, e-mail: av@rechkalov.ru).

Куликов Геннадий Григорьевич – доктор технических наук по системному анализу, автоматическому управлению и тепловым двигателям профессор, заведующий кафедрой автоматизированных систем управления Уфимского государственного авиационного технического университета (г. Уфа, ул. Карла Маркса, 12, e-mail: gennadyg_98@Yahoo.com).

Артюхов Александр Викторович – генеральный и управляющий директор ОАО «УМПО» (г. Уфа, ул. Ферина, 2, e-mail: umpro@umpro.ru).

Антонов Вячеслав Викторович – кандидат технических наук по управлению в социальных и экономических системах, доцент кафедры автоматизированных систем управления Уфимского государственного авиационного технического университета (г. Уфа, ул. Карла Маркса, 12, e-mail: antonov.v@bashkortostan.ru).

About the authors

Rechkalov Alexander Vasilievich (Ufa, Russian Federation) Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of automated control systems Ufa State Aviation Technical University, Director of Business Development at GMCS (Ufa, Karl Marx str., 12, e-mail: av@rechkalov.ru).

Kulikov Gennady Grigorievich (Ufa, Russian Federation) Doctor of Engineering Systems Analyst, automatic control and heat engines Professor, Head of the automated control systems Ufa State Aviation Technical University (Ufa, Karl Marx str., 12, e-mail: gennadyg_98@Yahoo.com) .

Artukhov Aleksander Viktorovich (Ufa, Russian Federation) CEO and Managing Director of JSC "Ufa Engine Industrial Association" (Ufa, ul. Ferin, 2, e-mail: umpo@umpo.ru).

Antonov Vyacheslav Viktorovich (Ufa, Russian Federation) Ph.D. of Technical Sciences Management in social and economic systems, an Associate Professor of automated control systems Ufa State Aviation Technical University (Ufa, Karl Marx str., 12, e-mail: antonov.v@bashkortostan.ru).

Получено 12.09.2014