



Визуальные языки и методы моделирования бизнес-процессов: перспективы развития и проблематика обучения

Цель. Целью исследования является выявление основных проблем в области моделирования бизнес-процессов и определение основных направлений развития соответствующих языков и методов моделирования, включая их отражение в современных образовательных дисциплинах и процессах.

Материалы и методы. Методологической основой исследования выступает интеграция различных типов базовых моделей бизнес-процессов в рамках структурного подхода к моделированию. Исследование базируется на анализе требований профессиональных и образовательных стандартов в рассматриваемой предметной области. Систематизация и классификация направлений осуществлялась с применением системного подхода к проектированию образовательных технологий, а также с учетом требований государственной политики в сфере образования.

Результаты. В работе проведен анализ современного состояния визуальных языков, моделей, методов и технологий моделирования бизнес-процессов, являющихся одним из основных направлений созданной в ИПУ РАН теории бизнес-процессов. Предложена соответствующая классификация языков визуального моделирования. Выделены наиболее часто используемые нотации и диалекты языков и проведен их сравнительный анализ, рассмотрены основные направления их развития. Рассмотрены базовые типы технологий моделирования, выявлены их достоинства и недостатки. Приведены примеры наиболее часто используемых интеграционных и трансляционных технологий моделирования. Представлен анализ состояния дел в области формализации синтаксиса и семантики современных визуальных языков моделирования бизнес-процессов, исследованы известные методы формализации синтаксиса и семантики, сформулированы предложения по их дальнейшему развитию. Осуществлен анализ международных, отечественных и корпоративных стандартов в рассматриваемой области, выявлены их недостатки и сформирован перечень необходимых работ

в области стандартизации и унификации языков визуального моделирования. Среди основных направлений развития языков и методов выделены следующие: переход от языков моделирования бизнес-процессом к языкам моделирования предприятий, разработка и развитие формальных языков моделирования, разработка и исследование методов формального описания синтаксиса и семантики языков моделирования, стандартизация и унификация языков моделирования.

В части обучения осуществлен анализ профессиональных стандартов по ряду направлений и выделены знания, необходимые для выполнения работ по моделированию бизнес-процессов, а также их отражение в образовательных стандартах высшего профессионального образования третьего поколения по направлениям «Прикладная информатика» «Бизнес-информатика». На основании анализа ряда дисциплин в рамках программ подготовки бакалавров и магистров, посвященных рассматриваемым вопросам, выявлены их недостатки и узкие места. Для подготовки соответствующих специалистов предложен состав дисциплин и структура модулей, апробированных автором как при подготовке магистров в ведущих ВУЗах страны, так и в рамках коммерческих курсов.

Заключение. В последние годы в рамках междисциплинарных исследований сформировалось новое направление, связанное с унификацией и формализацией различных видов человеческой деятельности. При этом актуальной является задача создания общей теории процессов, для которой предлагается адаптация рассмотренных в настоящей статье визуальных языков, методов и моделей к различным категориям деятельности.

Ключевые слова. Бизнес-процесс, визуальный язык, концептуальная модель языка, синтаксис, семантика, прагматика, интеграционная технология, трансляционная технология, профессиональный стандарт.

Georgiy N. Kalyanov

V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Visual Languages and Methods for Business Process Modeling: Development Prospects and Training Issues

Purpose. The purpose of research is to reveal the main problems in the field of business process modeling and identify the main directions for the development of appropriate languages and modeling methods, including their reflection in modern educational disciplines and processes.

Materials and methods. The methodological basis of the research is the integration of various types of basic models of business processes within the framework of a structural approach to modeling. The research is based on an analysis of the requirements of professional and educational standards in the subject area under consideration. The systematization and classification of the directions was carried out

using a systematic approach to the design of educational technologies, as well as taking into account the requirements of state policy in the field of education.

Results. This paper analyzes the current state of visual languages, models, methods, and technologies for business process modeling, which are one of the main areas of business process theory developed at the Institute of Control Sciences of the Russian Academy of Sciences. A corresponding classification of visual modeling languages is proposed. The most frequently used notations and dialects of the languages are highlighted and a comparative analysis is conducted, and the main directions of their development are considered. Basic

types of modeling technologies are considered, their advantages and disadvantages are identified. Examples of the most commonly used integration and translational modeling technologies are given. An analysis of the state of affairs in the field of formalizing the syntax and semantics of modern visual languages for business process modeling is presented, existing methods for formalizing syntax and semantics are examined, and proposals for their further development are formulated. An analysis of international, domestic, and corporate standards in this area is carried out, their shortcomings are identified, and a list of necessary work in the field of standardization and unification of visual modeling languages is compiled. The following key areas of languages and methods' development are highlighted: the transition from business process modeling languages to enterprise modeling languages, the development and advancement of formal modeling languages, the development and research of methods for formally describing the syntax and semantics of modeling languages, and the standardization and unification of modeling languages.

In terms of training, professional standards were analyzed in a number of areas, identifying the knowledge necessary for performing work on

business process modeling and their reflection in the third-generation higher education standards in the fields of "Applied informatics" and "Business informatics". Based on the analysis of a number of disciplines within bachelor's and master's degree programs dedicated to the issues under consideration, their shortcomings and bottlenecks were identified. To prepare relevant specialists, a set of disciplines and a module structure are proposed, tested by the author both in master's degree programs at leading Russian universities and in commercial courses.

Conclusion. In recent years, interdisciplinary research has developed a new direction related to the unification and formalization of various types of human activity. At the same time, the urgent task is to create a general theory of processes, for which it is proposed to adapt the visual languages, methods and models discussed in this article to various categories of activity.

Keywords: business process, visual language, conceptual language model, syntax, semantics, pragmatics, integration technology, translational technology, professional standard.

I. Введение

Термин «бизнес-процесс» (БП) был введен в начале 90-х г.г. прошлого века Майклом Хаммером и получил широкое распространение после публикации монографии [1], посвященной новому подходу к реорганизации БП — реинжинирингу бизнес-процессов. Однако, исследованиями аналогичных объектов, называемых организационными (организационно-управляющими) процессами, деятельностью, работами и т.п., специалисты начали заниматься достаточно давно. В частности, Франк и Лилиан Гилбрет в 1921 году в своем докладе в ASME (American Society of Mechanical Engineers) предложили нотацию карт процессов (flow process chart), которая с небольшими модификациями используется и по сегодняшний день. Знаковым этапом развития языков описания БП являлся период конца 60-х — начала 70-х г.г. прошлого века — именно тогда появились широко используемые в настоящее время визуальные языки моделирования SADT-IDEF0, DFD, CFD, ERD, STD, прообразы классов объектов — кластеры, а имена их авторов (Росс, Йодан, ДеМарко, Гейн, Сарсон, Майер, Варнье, Опп, Джексон, Константайн, Лисков и др.) известны любому специалисту в рассматриваемой

области. Однако приоритет безоговорочно принадлежит опубликованному еще до отмены крепостного права в России отечественному изданию [2], в котором описан не только предшественник перечисленных выше языков моделирования, но предусмотрен и ряд конструкций, характерных для современных языков моделирования, таких как BPMML, UEMML и др.

За прошедшие годы были предложены десятки и сотни языков визуального моделирования, их нотаций и диалектов, исследования в данном направлении являются одними из ключевых в рамках современной теории БП [3].

Целью настоящей работы является выявление основных проблем в области визуального моделирования бизнес-процессов и определение основных направлений развития соответствующих языков и методов моделирования, включая их отражение в современных образовательных дисциплинах и процессах.

В работе проведен анализ современного состояния визуальных языков, моделей, методов и технологий моделирования бизнес-процессов. Предложена соответствующая классификация языков визуального моделирования. Выделены наиболее часто используемые нотации и диалекты языков и проведен их сравни-

тельный анализ, рассмотрены основные направления их развития. Рассмотрены базовые типы технологий моделирования, выявлены их достоинства и недостатки. Приведены примеры наиболее часто используемых интеграционных и трансляционных технологий моделирования. Представлен анализ состояния дел в области формализации синтаксиса и семантики современных визуальных языков моделирования бизнес-процессов, исследованы известные методы формализации синтаксиса и семантики, сформулированы предложения по их дальнейшему развитию. Осуществлен анализ международных, отечественных и корпоративных стандартов в рассматриваемой области, выявлены их недостатки и сформирован перечень необходимых работ в области стандартизации и унификации языков визуального моделирования. Среди основных направлений развития языков и методов выделены следующие: переход от языков моделирования бизнес-процессом к языкам моделирования предприятий, разработка и развитие формальных языков моделирования, разработка и исследование методов формального описания синтаксиса и семантики языков моделирования, стандартизация и унификация языков моделирования.

В части обучения осуществлен анализ профессиональных стандартов по ряду направлений и выделены знания, необходимые для выполнения работ по моделированию бизнес-процессов, а также их отражение в образовательных стандартах высшего профессионального образования третьего поколения по направлениям «Прикладная информатика» «Бизнес-информатика». На основании анализа ряда дисциплин в рамках программ подготовки бакалавров и магистров, посвященных рассматриваемым вопросам, выявлены их недостатки и узкие места. Для подготовки соответствующих специалистов предложен состав дисциплин и структура модулей, апробированных автором как при подготовке магистров в ведущих ВУЗах страны, так и в рамках коммерческих курсов.

Отметим, что в последние годы в рамках междисциплинарных исследований сформировалось новое направление, связанное с унификацией и формализацией различных видов человеческой деятельности, посвященное разработке единой теории деятельности в виде совокупности общих и универсальных моделей [4, 5]. В заключении предложено развитие теории БП, включая рассмотренные в настоящей статье разделы по языкам и методам моделирования, с целью ее ориентации на различные виды деятельности, представленные в [4].

II. Языки моделирования БП

Следует отметить, что визуальные языки рассматриваемого класса были созданы и успешно развиваются до настоящего времени в рамках структурного и объектного (объектно-ориентированного) подходов к проектированию сложных систем, включая организационные системы и сложные комплексы компью-

терных программ. При этом при моделировании организационных систем доминировали структурные методы, а при проектировании программного обеспечения – объектные. Попытки развития объектных методов в сторону моделирования БП путем создания новых видов диаграмм, ориентированных на организационные системы не получили дальнейшего развития. Так, например, в рамках ориентированной на использование UML (Unified Modeling Language) технологии RUP (Rational Unified Process) в числе шести основных дисциплин определена и необязательная дисциплина «построение бизнес-моделей», описывающая разработку моделей бизнес-процессов (Business Use-Case Model) и разработку моделей бизнес-объектов, демонстрирующую реализации бизнес-процессов (Business Object Model). Однако, эти диаграммы уступают соответствующим структурным моделям по мощности, наглядности и адекватности описания предметной области и практически не используются. С другой стороны, происходит активное использование в объектном подходе популярных структурных моделей, так в качестве базовых моделей объектной методологии используется ряд классических структурных, а именно:

- в качестве объектной модели, отражающей иерархию классов, связанных общностью структуры и поведения и отражающих специфику атрибутов и операций каждого из них, используется диалект диаграммы «сущность-связь» ERD;
- в качестве динамической модели, отражающей временные аспекты и последовательность операций, достаточно часто используется диаграмма переходов состояний STD;
- в качестве функциональной модели, описывающей потоки данных, часто используется диалект диаграммы потоков данных DFD.

Настоящая статья посвящена анализу структурных визуальных языков. В работе [3] приведена концептуальная модель визуального структурного языка, она включает четыре базовых компонента, необходимых при описании и исследовании широкого спектра языков – словарь языка, синтаксис языка, комплект абстрактных семантических правил/процедур, аспекты языковой прагматики.

В рамках структурного подхода традиционно используется три вида базовых моделей БП – функциональная, описывающая выполняемые процессом функции, информационная, демонстрирующая отношения между данными, поведенческая, моделирующая поведение процесса (все три могут включать элементы организационно-структурной модели). По типам модели разделяются на статические и динамические, по уровню формализации – на формализованные и формальные. Позиционирование наиболее часто применяемых языков визуального моделирования БП в соответствии с их видами, типами и уровнями формализации приведено в таблице 1. Отметим, что каждая из перечисленных в таблице 1 нотаций подробно представлена в [3].

Задача формализации синтаксиса визуальных языков моделирования БП не вызывает особых трудностей, в частности, в качестве примеров исследования синтаксиса DFD-диаграмм можно привести работы [6, 7].

Особенно много внимания посвящено вопросу созданию и развитию соответствующих грамматик для визуальных языков моделирования. В частности, в работах [6, 7, 8] предлагаются различные виды грамматик, варьируемых от контекстно-зависимых до автоматных и различающихся по типу используемых символов (графовые грамматики,

Таблица 1/Table 1

Характеристики языков визуального моделирования бизнес-процессов
Characteristics of visual business process modeling languages

Нотация языка	Функции	Данные	Поведение	Оргструктура	Тип	Формализация
DFD	+	-:+	-	-:+	стат	формализ
CFD	+	-:+	+	-:+	стат	формализ
SADT/IDEF0	+	-	-	-:+	стат	формализ
ERD, IDEFIX	-	+	-	-	стат	формальная
структурограммы	-	+	-	-	стат	формализ
STD	-	-	+	-	дин	формальная
BPMN	-:+	-	+	+	дин	формализ
ePC, IDEF3	+	-	-	-:+	стат	формализ
сети Петри, IDEF2	-	-	+	-	дин	формальная
смешанные графы	+	+	+	+	стат	формальная
структурные карты	+	-:+	-	-	стат	формализ

Таблица 2/Table 2

Характеристики методов формализации семантики DFD-диаграмм
Characteristics of methods for formalizing the semantics of DFD diagrams

Авторы	Язык описания семантики	Нотации	Поддержка иерархии DFD	Расширения DFD	Интеграция нотаций
R. B. France	алгебраические выражения	DFD, STD, DD	-	+	+
P.D. Bruza, Th.P. van der Weide	алгебраический язык	DFD	-	+	-
J. A. Serrano, R. Welland	теория множеств, логика предикатов	DFD, STD, ERD	-	-	+
G. T. Leavens, T. Wahls, A.L. Baker	спецификации на языке Standart ML	DFD, ERD, DD	+	+	-
M.D. Fraser, K. Kumar, V.K. Vaishnavi	VDM	DFD	-	+	-
P.G. Larsen, N. Plat, H. Toetenel	VDM-SL	DFD, STD, DD	-	+	+
R. Elmstrom, R. Lintulampi, M. Pezze	сеть Петри	DFD	-	+	-
J. M. Wing, A.M. Zaremski	LSL (Larch Shared Language)	DFD, структурная карта, DD	-	+	+
J. Isaksson, J. Lilius, D. Truscan	мета модель UML	DFD, STD, DD	-	-	+
J. de Lara, H. Vangheluwe	графовая грамматика	DFD, структурная карта	-	-	+

смешанные грамматики, модифицированные традиционные грамматики, например, RV-грамматики). Все они в зависимости от решаемой целевой задачи разбиваются на

распознающие и порождающие, первые служат для установления принадлежности модели конкретному языку (ее синтаксической корректности), вторые – для построения

правильных моделей, принадлежащих данному языку.

Исследованиям в области формализации семантики также посвящено значительное число работ, однако практически все они также ориентированы на DFD-диаграммы. В [9] предложена классификация методов формализации семантики DFD-диаграмм, в которой в качестве основания взят тип языка описания семантики. В соответствии с этим все методы описания семантики разделяются по стандартным языкам формализации (к которым относится, прежде всего, Венский метод описания семантики VDM [10, 11]), нестандартным языкам (как правило, разработанным для решения конкретной задачи, связанной с описанием семантики) и мета-языкам. Характеристики наиболее известных из таких методов приведены в таблице 2.

III. Методы и технологии моделирования

Методы структурного моделирования с использованием визуальных языков традиционно классифицируются по следующим основаниям:

- по отношению к школам – Software Engineering (SE) и Information Engineering (IE);
- по порядку построения модели – функционально-ориентированные и информационно-ориентированные (или ориентированные на данные);
- по типу целевых систем – для систем реального времени (СРВ) и для информационных систем (ИС).

В таблице 3 представлены наиболее часто используемые методы (отметим, что данные по частоте использования получены на основе анализа информации по 127 программным инструментам, их автоматизирующих, с учетом того, что ряд инструментов поддерживает несколько методов [3]). Отметим, что данная

Таблица 3/Table 3

Характеристики методов визуального моделирования бизнес-процессов
Characteristics of visual business process modeling methods

Авторы	Базовая модель	Частота использования	Школа	Порядок построения	Тип целевых систем
E. Yourdon, T. DeMarco	DFD	36,5 %	SE	функционально-ориентированная	ИС, CPB
J. Martin	DFD	22,1 %	IE	информационно-ориентированная	ИС
C. Gane, T. Sarson	DFD	20,2 %	SE	функционально-ориентированная	ИС, CPB
L. Constantine	структурная карта	10,6 %	SE	функционально-ориентированная	ИС, CPB
M.A. Jackson	структурная карта	7,7 %	SE	информационно-ориентированная	ИС, CPB
K.T. Orr	скобочная диаграмма	5,8 %	SE	информационно-ориентированная	ИС
R.G. Ross	SADT/IDEF0	3,3 %	IE	возможны оба варианта	ИС

классификация была предложена несколько десятилетий назад, поэтому для ее применения в современных условиях необходимо сделать ряд комментариев:

- Граница между школами практически исчезла — например, DFD как наиболее яркий представитель SE стали активно применяться и при моделировании БП, и наоборот, IDEF0 применяется не только в IE, но и в SE (на начальных этапах разработки). Более того, практический опыт показал, что DFD и IDEF0 — два приблизительно равных по мощности языка, имеются примеры перевода моделей сложных систем с одного из них на другой без потери каких-либо существенных деталей. То есть главным теперь является не выбор языка, а умение специалистов излагать на нем свои мысли.

- В современных условиях предпочтение функционально-ориентированным методам, это связано с появлением большого числа проектов по реорганизации БП, которая прежде всего касается функций, операций и их взаимосвязей и последовательности исполнения.

- Большинство автоматизированных систем современ-

ного предприятия являются ИС, что регламентирует соответствующим образом методы их создания. Это не умаляет важности методов создания CPB, как наиболее сложных и критичных по ряду параметров систем.

Современные технологии моделирования БП разбиваются на два класса — интеграционные и трансляционные [3, 12]. Первые регламентируют объединение моделей различных видов в комплексную модель, позволяющую исследовать объект как единое целое с различных позиций, например, его функциональные, информационные и поведенческие аспекты одновременно. Вторые обеспечивают переход от моделей одного вида к моделям другого вида, более точно и адекватно отражающим целевой процесс в рамках его жизненного цикла.

Примерами интеграционных технологий являются:

- 1) DFD-технология, а также развивающая ее в сторону ориентации на поведенческие аспекты процесса CFD-технология [3, 13], интегрирующая диаграммы DFD/CFD, ERD и STD в единую комплексную модель БП. Следует отметить, что DFD/CFD включает в себя словари данных DD (Data

Dictionary), также миниспецификации процессов нижнего уровня, для описания которых имеется широкий спектр языков от слабоформализованных к формальным (структурированный естественный язык, FLOW-формы, таблицы и деревья решений и др.).

- 2) Схема Захмана (Zachman Framework) [14], представляющая различные перспективы архитектуры предприятия и виды его обеспечения, а также их основные взаимосвязи. Суть этого подхода сводится к формализованному представлению модели предприятия в виде матрицы. Шесть ее столбцов отражают шесть «разделов обеспечения предприятия»: побудительные причины действий, события и графики выполнения действий, действующие лица (люди и организационные структуры), информационное, функциональное и коммуникационное обеспечение, другими словами: МОТИВЫ, ВРЕМЯ, ЛЮДЕЙ, ДАННЫЕ, ФУНКЦИИ и СЕТЬ. Фактически, эти разделы, которые содержат ответы на вопросы: ЗАЧЕМ выполняются действия, КОГДА выполняются, КТО их выполняет, ЧТО делает информационная система, КАК делает и ГДЕ. Шесть строк таблицы отражают шесть уровней моделирования, конкретно, это следующие представления: бизнес-среда системы, концептуальная модель, логическая модель, технологическая (физическая) модель, детальная реализация, представление пользователя.

Zachman Framework является одной из наиболее продвинутых сред в части гармоничного и комплексного учета всех архитектурно-существенных факторов, позволяя при этом концентрироваться на отдельных аспектах архитектуры, не теряя при этом общего взгляда на предприятие как на единое целое. Она легка для понимания, логически полна и согласована, нейтральна по отношению к ин-

струментарии, является наиболее распространенной (включая большое количество статей по ее описанию и использованию). С другой стороны, сама по себе матрица не поддерживает представление динамики развития предприятия и его информационных систем, является достаточно поверхностной (в смысле степени детализации) референсной моделью, достаточно бедна с технических позиций. Однако, технология с использованием Zachman Framework предполагает наличие в соответствующих клетках матрицы детального представления соответствующего раздела, что снимает два последних замечания. Так, например, столбец **ФУНКЦИИ** по уровням моделирования может содержать следующие модели: перечень функциональных областей деятельности, контекстная диаграмма, диаграммы процессов, детальные схемы процессов, регламенты и методики, должностные инструкции и положения.

3) Семейство стандартов IDEF, включающее 17 стандартов, из которых для целей моделирования БП исполь-

зуются следующие: IDEF0 – стандарт функционального моделирования, созданный на основе SADT и являющийся подмножеством названной нотации; IDEF1 – стандарт моделирования информационных потоков, основанный на диаграммах «сущность-связь» в нотации Чена, и IDEF1X – стандарт построения реляционных структур данных; IDEF3 – язык описания процессов, определяющий последовательность выполнения действий и взаимозависимости между ними. Также следует упомянуть разработанный, но чрезвычайно редко используемый стандарт IDEF2, предназначенный для динамического моделирования, базирующегося на нотации цветных сетей Петри. Однако, следует отметить, что данное семейство моделей, в отличие от двух вышеперечисленных, слабо интегрировано. В моделях отсутствуют соответствующие механизмы, и обычно интеграция осуществляется вручную на основании привязки интегрированных компонент в словарях данных DD.

Трансляционные технологии развиваются в следующих направлениях:

- технологии перехода от статических моделей в динамические,
- технологии перехода от формализованных моделей в формальные,
- технологии перехода от функциональных моделей в информационные,
- технологии перехода от моделей бизнес-процессов к требованиям по их автоматизации.

Трансляционные технологии классифицируются в соответствии с их типами, наиболее известные из таких технологий приведены в таблице 4.

IV. Основные направления развития

В рамках создания и исследования языков и методов моделирования БП в настоящее время активно разрабатываются и развиваются:

- языки моделирования предприятий EML (Enterprise Modeling Languages),

Таблица 4/Table 4

Трансляционные технологии моделирования бизнес-процессов
Translational business process modeling technologies

Тип технологии перехода	Ссылка	Исходная модель	Целевая модель	Особенности алгоритма
статическая – динамическая	[15]	IDEF0 (+IDEF1X)	сеть Петри	Активности и потоки IDEF0 → переходы и позиции сети Петри IDEF1X → правила срабатывания переходов в зависимости от значений атрибутов сущностей
статическая – динамическая	MetaSoft – коммерческая разработка	IDEF0	IDEF2	Активности и потоки IDEF0 → переходы и позиции IDEF2
статическая – динамическая	INCOM – коммерческая разработка	DFD	сеть Петри	Процессы DFD → переходы сети Петри Потоки, хранилища данных и внешние сущности DFD → позиции сети Петри
формализованная – формальная	[3]	DFD	смешанный граф	Преобразование иерархии DFD в плоскую графовую модель
формализованная – формальная	[16]	ePC	сеть Петри	Используются матричные представления ePC и сети Петри Может классифицироваться как статическая-динамическая
функциональная – информационная	[3]	DFD	ERD	Потоки и хранилища данных DFD → сущности и атрибуты ERD (на основе правил реляционной алгебры) Преобразование в Третью нормальную форму
Модель БП – модель требований к ИС	[3]	DFD	структурная карта	Преобразование иерархии DFD в плоскую модель в виде аналога блок-схемы

- формальные языки моделирования,
- методы формализации синтаксиса и семантики языков,

- стандарты языков моделирования.

Языки класса EML и расширяющие их языки класса EEML (Extended Enterprise Modeling Languages – расширенные языки моделирования предприятий) [17] по сути EEML представляют из себя варианты интеграционной технологии моделирования БП. Фактически EEML разделяются на 4 связанных подязыка, предназначенных, соответственно, для функционального моделирования, моделирования данных, моделирования ресурсов и моделирования целей. Дальнейшее развитие идеи EEML получили в объединенном общеевропейском проекте создания UEML (Unified Enterprise Modelling Language), целями создания которого были «определение, проверка и распространение набора основных языковых конструкций для поддержки унифицированного языка моделирования предприятий, который послужит основой для взаимодействия в рамках интеллектуальной организации или сети предприятий» [18].

В области развития формальных языков моделирования особенно перспективно направление, связанное с разработкой новых диалектов языка сетей Петри. Это обусловлено тем, что обычные (канонические) сети Петри [19] не отражают временных параметров моделируемых объектов, что является их существенным ограничением в качестве инструмента моделирования, необходимо создание и исследование более сложных и развитых сетей Петри. Модификации, как правило, касаются следующих трех моментов:

- введение иерархии (иерархические сети Петри);

- определение различий в маркерах, каждый из которых имеет свои уникальные характеристики (цветные/раскрашенные сети Петри);

- введение многоместных, содержащих несколько маркеров позиций, как последовательных, так и параллельных (сети Петри с многоместными позициями).

Активно развивается и направление, связанное с расширением традиционных визуальных языков моделирования БП различными формальными конструкциями, обеспечивающими анализ и верификацию моделей. Например, в [9–11] предлагаются соответствующие расширения DFD-диаграмм, а в [20] для расширения диаграмм активности языка UML (Unified Modeling Language) с целью проектирования и верификации параллельных БП предлагается использовать полихроматические множества [21].

В части формализации синтаксиса и семантики визуальных языков моделирования БП необходимо отметить, что большинство методов ориентировано на классические диаграммы DFD/CFD-технологий, а именно, DFD, ERD и STD. Поэтому актуальной является разработка методов решения аналогичных задач для других часто используемых языков моделирования. Кроме того, большинство графических грамматик являются распознающими, порождающие грамматики даже для перечисленных классических диаграмм отсутствуют из-за алгоритмической сложности решаемой задачи (для примера можно сравнить сложность задачи генерации множества маршрутов графа и задачу восстановления графа по множеству его маршрутов).

В части стандартизации языков и методов моделирования БП соответствующая система стандартов должна быть разбита на три следующие группы:

- стандарты и нормативные документы общепрофессионального характера, регламентирующие терминологию предметной области и описывающие структуру двух других групп, а также стыковочные моменты со стандартами в смежных областях;

- документы директивного, руководящего или рекомендательного характера по процессу моделирования, описывающие этапы процесса моделирования, а также организационные элементы процесса;

- стандарты и нормативные документы, относящиеся к результату, вырабатываемому процессом моделирования.

Для примера раскроем содержание стандартов третьей группы, которая включает как минимум следующие подгруппы [22]:

- стандарты, описывающие языки моделирования;

- стандарты, регламентирующие состав, структуру и содержание моделей объекта;

- стандарты, обеспечивающие возможность контроля качества результатов;

- стандарты, обеспечивающие применение результатов по назначению;

- стандарты, регламентирующие состав, структуру и содержание отчетной документации по моделям.

Отметим, что имеющиеся стандарты (включая международные) отражают лишь языковой аспект моделирования бизнес-процессов, т.е. относятся к первой подгруппе третьей группы. К ним можно отнести следующие документы:

- Р 50-1-028-2001. Рекомендации по стандартизации. Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделия. Методология функционального моделирования (постановление Госстандарта РФ №256-СТ от 02.07.2001 г. о принятии и введении в действие основанных на IDEF0 рекомендаций по стандартизации);

- OMG: Unified Modeling Language 2.0, включающий направление Unified Modeling Language: Infrastructure (версия 2.0, март 2006 года) по совершенствованию нотаций и средств моделирования, позднее представленный в качестве стандарта ISO/IEC 19501:2005;

- OMG: Business Process Model and Notation 2.0 (январь 2011 года);

- OMG: System Modeling Language 3.1 (июнь 2012 года).

При этом, если говорить о дальнейшей детализации других подгрупп третьей группы, то она выглядит следующим образом.

Стандарты, регламентирующие состав, структуру и содержание моделей объекта, должны включать документы, описывающие:

- типы моделей (функциональные, информационные, событийные, динамические, функционально-стоимостные и т.п.);

- способы интеграции моделей различных типов в рамках комплексной модели бизнес-процесса;

- методики структурирования объекта, а также состав и содержание элементов на каждом из уровней иерархии.

Стандарты, обеспечивающие возможность контроля качества результатов, должны включать документы, регламентирующие:

- методики, критерии и метрики оценки качества бизнес-процессов;

- методы и средства анализа бизнес-процессов.

Стандарты, обеспечивающие применение результатов по назначению, должны включать документы, регламентирующие:

- данные по процессам, событиям и условиям их возникновения;

- характеристики состояний, которые достижимы каждым их процессов;

- данные по допустимости переходов между состояниями;

- рабочие характеристики процессов (время выполнения, ресурсозатраты, количество продукции в единицу времени и т.п.);

- атрибуты входных, выходных и внутренних информационных и материальных потоков между процессами;

- распределения частоты и интенсивности каждого из потоков;

- характеристики очередей на входах/выходах процессов и функций и т.д.

Стандарты, регламентирующие состав, структуру и содержание отчетной документации по моделям, должны включать документы, описывающие:

- формат отчета по описанию модели бизнес-процессов;

- результаты аудита;

- требования по управлению (а именно, спецификации процессов, отчеты по их верификации, результаты статистического, стоимостного, динамического и т.д. анализа);

- спецификации требований к целевым бизнес-процессам (включая функциональные и нефункциональные требования, а также требования по управлению);

- планы и программы перехода от текущего состояния к целевому;

- оценки рисков.

Отметим, что многие крупные отечественные ИТ-компании (прежде всего, системные интеграторы) в составе комплекса своих корпоративных стандартов имеют фрагменты, относящиеся к области моделирования бизнес-процессов. Однако их полнота и соответствие вышеперечисленным группам с учетом их детализации, приведенной выше, явно не достаточны, что подтверждают представленные в [22] примеры для компании, занимающейся внедрением крупной ERP-системы, а также предприятия — производителя пищевой продукции.

Перспективный подход к стандартизации языков мо-

делирования БП предложен в [23]. Он базируется на унификации не только синтаксиса и семантики языка, но и элементов его прагматики. Говоря об амбициозности рассматриваемых стандартов и ссылаясь при этом на эмпирические исследования [24, 25], авторы при этом указывают на их неспособность соответствовать практическим потребностям моделирования.

Традиционный подход к решению этой проблемы заключается в создании стандартных языков моделирования (например, UML или BPMN), которые объединяют и интегрируют различные перспективы моделирования. Однако, в реальном использовании «стандартизирующий» и «интегрирующий» эффект этих языков размывается. Это обычно проявляется в появлении «вариантов», «облегченных версий» и расширений стандарта, имеющих дело с «отсутствующими аспектами» которые изменяют исходное определение языка, сокращая, расширяя или адаптируя его к текущей задаче моделирования. Эмпирические данные свидетельствуют о том, что эти «варианты» появляются, чтобы компенсировать неспособность стандартного языка адекватно соответствовать потребностям конкретных ситуаций моделирования.

В [23] обосновывается, что имеет смысл явно учитывать прагматические потребности при определении, пересмотре или развитии языка моделирования БП, например, следующее:

- Какова общая область компетенции языка моделирования бизнес-процессов?

- Должен ли язык моделирования охватывать такие аспекты, как бизнес-правила, ресурсы и т.п.?

- Должен ли язык включать объекты, связанные с организационным моделированием, имеющие значение для таких задач, как документирование,

мониторинг и реорганизация процессов?

Область применения языка моделирования БП должна соответствовать контексту, в котором он будет использоваться, т. е. соответствовать целям создания моделей. Если в языке априори не предусмотрено достаточной поддержки, появятся «варианты» для конкретных целей, чтобы компенсировать недостающее. С другой стороны, если язык моделирования нацелен на одновременное покрытие слишком многих целей, то он имеет тенденцию стать чрезмерно сложным при стремлении учесть различные прагматические потребности. Предлагаемый подход заключается в организации языка моделирования процессов (в рамках соответствующего стандарта) в виде нескольких языков-модулей. Модульная организация языков могла бы иметь языковые «фрагменты», ограниченные и ориентированные на цели, для которых используется «фрагмент». Целевой язык для конкретной предметной области и ситуации моделирования мог бы затем быть скомпонован из различных «фрагментов», основываясь на прагматических потребностях фактической ситуации моделирования. А поскольку в настоящее время растет интерес к гибкости языков моделирования и поддерживающих их инструментов, считается, что это одно из перспективных направлений будущих исследований [23, 25].

Связанная со стандартизацией задача состоит в унификации языков моделирования БП, что обусловлено следующими взаимосвязанными основаниями:

- гармонизация различных нотаций языка (например, для DFD существует несколько десятков различных нотаций — Йодан, Гейн-Сарсон, де Марко и др.);
- стандартизация форматов обмена моделями между

различными инструментами (CASE-системами), поддерживающими конкретную нотацию (диаграммерами, верификаторами, репозиториями и т.д.);

- обеспечение «языка для передачи понимания» между всеми участниками проекта — бизнес-аналитиками, системными аналитиками, проектировщиками, разработчиками и другими заинтересованными сторонами, включая заказчиков;

- обеспечение единого представления для различных предметных областей и др.

V. Подготовка специалистов

Необходимость подготовки специалистов в рассматриваемой области подтверждается требованиями ряда профессиональных стандартов в областях бизнес-информатики и прикладной информатики, прежде всего нижеперечисленных.

Профессиональный стандарт 08.037 «Бизнес-аналитик» (утвержден приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 22.11.2023 № 821н), регламентирующий деятельность по выявлению бизнес-проблем, выяснению потребностей заинтересованных сторон, обоснованию решений и обеспечению проведения изменений в организации, включает языки и инструменты визуального моделирования в состав необходимых знаний для выполнения 5 из 6 описываемых стандартом обобщенных функций.

Профессиональный стандарт 06.022 «Системный аналитик» (утвержден приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 27.04.2023 № 367н), регламентирующий деятельность по обеспечению соответствия ИТ-сервиса, автоматизированной системы, автоматизированной информационной системы, автоматизированной

системы управления, программного, информационного продукта или средства окружению, исходным требованиям и ограничениям, целям автоматизации и автоматизированной деятельности путем разработки и передачи качественных и взаимоувязанных проектных решений заинтересованным сторонам при запуске и координации работ отдельных исполнителей на всем жизненном цикле продукта или средства, включает следующие необходимые знания для выполнения описываемых стандартом ряда обобщенных функций:

- методы функционального и информационного моделирования,
- метамодель деятельности,
- методы описания деятельности, целей, проблем, структуры организации и ее взаимодействия с окружением,
- методы моделирования и описания устройства и функционирования ИТ-систем/продуктов, их частей, обеспечения и окружения,
- методы функциональной декомпозиции ИТ-систем,
- базовые принципы и концепции структурного и объектно-ориентированного программирования,
- основы проектирования информационных систем, программных приложений,
- методы и инструменты обследования, проектирования и разработки требований и проектных решений,
- методы визуализации работ,
- процессный подход к управлению качеством работ и результатов и др.

Профессиональный стандарт 06.017 «Руководитель разработки программного обеспечения» (утвержден приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 20.07.2022 № 423н), регламентирующий деятельность по организации и управлению процессами разработки, отладки, провер-

ки работоспособности и модификации компьютерного программного обеспечения, и управлению ресурсами, включает следующие необходимые знания для выполнения описываемых стандартом ряда обобщенных функций:

- языки формализации функциональных спецификаций,
- нотации и программное обеспечение для графического отображения алгоритмов,
- методологии и средства проектирования программного обеспечения,
- методологии и технологии проектирования и использования баз данных и др.

Перечисленные знания отражены в федеральных государственных образовательных стандартах (ФГОС) высшего профессионального образования третьего поколения по направлениям «Прикладная информатика» «Бизнес-информатика». Данный вывод был сделан на основании детального анализа и установления соответствия характеристик трудовых функций из профессиональный стандартов и компетенций из ФГОС, выраженных через знания, умения и навыки из рабочих программ соответствующих дисциплин с использованием концептуальной информационно-логической модели, предложенной в [26].

Исходя из имеющихся стандартов, подготовка специалистов по моделированию бизнес-процессов должна включать:

- изучение языка моделирования;
- изучение инструмента моделирования;
- освоение методологии/технологии моделирования, включая методы проведения обследования объекта моделирования, методы структурирования модели и т.п.;
- выполнение практических работ.

Наиболее трудоемким этапом является освоение методо-

логии моделирования, определяющей руководящие указания для оценки и выбора соответствующих языков и диаграммных техник, этапы, шаги и работы, которые должны быть выполнены при построении модели, их последовательность, правила распределения и назначения операций и методов. Необходимо отметить, что зарубежные учебники по базовым методологиям моделирования имеют объем в 300–400 страниц, а на их изучение в переводе на отечественную образовательную практику отводится 1–2 семестра.

Отметим, что при подготовке отечественных специалистов не уделяется должного внимания изучению методологии моделирования. Например, дисциплина «Моделирование и анализ бизнес-процессов» в бакалавриате ВШЭ имеет продолжительность в один модуль (нижняя граница модуля в документах определена как «не менее 8 часов», а верхняя отсутствует — исходя из длительности семестрового курса в 48 часов, и обычного его разбиения на 2 модуля определим его размер в 24 часа, что составляет приблизительно 4 часа (одну пару) в неделю) и включает следующие разделы: организация как система, основы управления бизнес-процессами, методы моделирования деятельности, методы анализа бизнес-процессов, т.е. на моделирование выделяется около 6 часов. В качестве примеров коммерческого обучения сошлемся на курс «Моделирование и оптимизация бизнес-процессов» в CORS Academy, рассчитанный на 1 месяц, а также курс «Моделирование процессов в BPMN» в учебном центре IBS — «Моделирование процессов в BPMN» продолжительностью в 16 часов.

Отечественные учебники в основном ориентированы на конкретный язык моделирования и конкретный программ-

ный инструментальный, оставляя за скобками общезыковые аспекты и описание методологий построения моделей. В качестве исключений можно привести следующие издания, частично решающие данную задачу, при этом необходимо отметить, что все они были изданы 20–30 назад и посвящены классическим подходам и языкам моделирования:

- Вендров А.М. Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем. М.: Финансы и статистика, 2000.

- Гейн К., Сарсон Т. Системный структурный анализ: средства и методы. М.: Эйтэкс, 1992.

- Калянов Г.Н. CASE: структурный системный анализ (автоматизация и применение). М.: ЛОРИ, 1996.

- Марка Д.А., МакГоуэн К. Методология структурного системного анализа и проектирования SADT. М.: Метатехнология, 1993.

- Смирнова Г.Н., Сорокин А.А., Тельнов Ю.Ф. Проектирование экономических информационных систем. М.: Финансы и статистика, 2001.

- Черемных С.В., Семенов И.О., Ручкин В.С. Структурный анализ систем: IDEF-технологии. М.: Финансы и статистика, 2001.

При коммерческом обучении наибольший эффект дает подготовка рабочей группы по моделированию бизнес-процессов в рамках выполнения соответствующего проекта внешней консалтинговой структурой (например, при создании и/или внедрении корпоративной информационной системы). Такая совместная рабочая группа создается из внешних консультантов и специалистов моделируемого предприятия (представителей ИТ-служб, подразделений бизнес-анализа и др.), при этом в идеальном случае каждому консультанту, отвечающему за определенные бизнес-процес-

сы, назначается в помощники сотрудник предприятия. На первом этапе обучение проводится традиционным способом — в рамках краткого курса лекций и семинаров по языку моделирования и поддерживающему его инструментарию. На втором этапе осуществляется «передача технологий» от консультантов специалистам предприятия — они участвуют в проведении обследования и построении модели в качестве наблюдателей. После готовности варианта модели бизнес-процессов специалисты согласовывают «свои» фрагменты модели (бизнес-процессы) с интервьюированными сотрудниками предприятия, фактически являясь промежуточным звеном между ними и внешними консультантами. Данный подход имеет следующие достоинства:

- В процессе работы сотрудники становятся экспертами в бизнес-процессах своего предприятия, о которых ранее они зачастую не имели никакого представления.

- После завершения проекта сотрудники получают достаточную квалификацию для сопровождения модели, что позволяет предприятию «не садиться на иглу» консалтинговой структуры (день работы внешнего консультанта стоит дорого, а предприятие живет и развивается, что требует внесения изменений в его бизнес-процессы).

- С другой стороны, приобретенной классификации недостаточно для самостоятельного выполнения аналогичных проектов, что позволяет предприятию сохранить штат (известно, что консалтинговая структура может заниматься переманиванием лучших со-

трудников, предлагая более высокую зарплату).

Однако наибольшую полноту и качество образования дают учебные программы ВУЗов. Примером данной практики являлась подготовка ИТ-консультантов в 2007–2015 г.г., которая велась на базовой кафедре компании ИБС в МФТИ (кафедра системного анализа и управления информационными технологиями) по направлению 220100.68 «Системный анализ и управление» (программа магистерской подготовки «Системный анализ и управление информационными системами»). Учебный план включал следующие ключевые с позиции моделирования БП дисциплины:

- моделирование бизнес-процессов и систем (64 часа) — включала разделы по следующим языкам и инструментам: IDEF0, IDEF1, DFD, UML и RUP, модели ARIS;

- методологии ИТ-консалтинга (96 часов) — включала разделы по этапам процесса моделирования, начиная с проведения диагностики и выбора методологии, языка и инструмента моделирования и завершая формированием требований по автоматизации БП, а также по инструментарию моделирования (CASE-технологиям);

- бизнес-процессы современного предприятия (64 часа).

С учетом того, что в рамках базовой подготовки магистранты изучали достаточно объемные дисциплины «Системная инженерия» и «Архитектура предприятия», такой набор дисциплин позволил подготовить за указанный период 86 магистров, ставших сотрудниками ведущих отечественных предприятия и ИТ-компаний.

VI. Заключение

В последние годы в рамках междисциплинарных исследований сформировалось новое направление, связанное с унификацией и формализацией различных видов человеческой деятельности, получившее название *МЕТОДОЛОГИИ* и посвященное разработке единой теории деятельности в виде совокупности общих и универсальных моделей [4, 5]. В этих работах неоднократно отмечается процессная структура деятельности как неотъемлемая ее часть (наряду с логической, причинно-следственной и др.), поэтому актуальной является задача создания общей теории процессов, которая должна обеспечить систематизированный базис для решения таких задач как:

- моделирование процессов,
- инжиниринг и реинжиниринг процессов,
- анализ и верификация процессов,
- автоматизация процессов и др.

Одним из подходов к созданию такой общей теории является подход, в рамках которого осуществляется развитие теории БП [3], включая рассмотренные в настоящей статье разделы по языкам и методам моделирования с целью ее ориентации на различные категории деятельности, представленные в [4]. Первоочередными задачами в рамках разработки такой теории являются создание классификатора процессов и их унифицированной модели, которые служат основой дальнейших исследований, проводимых в Институте проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН.

Литература

1. Hammer M., Champy J. Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution. N.Y.: Harper-Collins, 1993. 288 с.
2. Добролюбов Н.А. Руководство к наглядному изучению административного порядка течения бумаг в России. М.: ГИХЛ, 1858. 20 с.
3. Калянов Г.Н. Теория бизнес-процессов. М.: Горячая линия – Телеком, 2023. 296 с.
4. Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология. М.: СИНТЕГ, 2007. 668 с.
5. Белов М.В., Новиков Д.А. Методология комплексной деятельности. М.: Ленанд, 2018. 320 с.
6. Ibrayim R., Siow Yen Yen. Formalization of the Data Flow Diagram Rules for Consistency check // International Journal of Software Engineering and Applications (IJSEA). 2010. Т. 1. № 1. С. 95–110.
7. Zhang D.Q., Zhang K., Cao J. A context-sensitive graph grammar formalism for the specification of visual languages // The Computer Journal. 2001. Т. 44. № 3. С. 186–200.
8. Афанасьев А.Н., Шаров О.Г., Войт Н.Н. Анализ и контроль диаграмматических моделей при проектировании сложных автоматизированных систем. Ульяновск: УлГТУ, 2016. 87 с.
9. Jilani A., Nadeem A., Kim T.-H., Cho E.-S. Formal Representations of the Data Flow Diagram: A Survey // 2008 Advanced Software Engineering and Its Applications, Hainan, China. 2008. С. 153–158.
10. Оллонгрэн А. Определение языков программирования интерпретирующими автоматами. М.: Мир, 1977. 288 с.
11. Larsen P.G., Plat N., Toetenel H. A Formal Semantics of Data Flow Diagram // Formal aspects of Computing. 2004. № 6(6). С. 586–606.
12. Hassen M., Gargouri F. Multi-dimensional Classification of Sensitive Business Process Modeling Aspects // Procedia Computer Science. 2024. Т. 239. С. 2158–2167. DOI: 10.1016/j.procs.2024.06.404.
13. Yourdon E. Managing the Structured Techniques. N.Y.: Yourdon Press/Prentice Hall, 1989. 256 с.
14. Zachman J. A. A Framework for Information Systems Architecture // IBM Syst. J. 1987. Т. 26. № 3. С. 276–292.

15. Юдицкий С.А. Сценарный подход к моделированию поведения бизнес-систем. М.: СИНТЕГ, 2001. 112 с.
16. Доппер М.Г. Алгоритм преобразования моделей бизнес-процессов в одноцветные сети Петри // Моделирование и анализ информационных систем. 2010. Т. 17. № 2. С. 5–16.
17. Krogstie J. Using EEML for Combined Goal and Process Oriented Modeling: A Case Study // Proceedings of EMMSAD. 2008. С. 112–129.
18. Vernadat F. UEMML: towards a unified enterprise modelling language. Int. J. Production Research. 2002. № 40(17). С. 4309–4321.
19. Котов В.Е. Сети Петри. М.: Наука, 1984. 160 с.
20. Gao X., Li Z., Li S., Wu F. Modeling and Analyzing Concurrent Design Process for Manufacturing Enterprise Information Systems // 2006 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (October 8–11, Taipei, Taiwan). 2006. С. 4999–5003.
21. Павлов В.В. Полихроматические множества и графы в структурном моделировании свойств технических систем // Приложение к журналу «Информационные технологии». 2008. № 2. С. 32.
22. Калянов Г.Н. Требования к составу и структуре стандартов в области моделирования бизнес-процессов // Автоматизация в промышленности. 2003. № 4. С. 19–21.
23. Bjekovic M., Proper H.A., Sottet J.S. Enterprise Modelling Languages. Just Enough Standardisation? // Lecture Notes in Business Information Processing. 2014. № 1. С. 1–23.
24. Malavolta I., Lago P., Muccini H., Pelliccione P., Tang A. What Industry Needs from Architectural Languages: A Survey // IEEE Trans. Software Eng. 2013. № 39(6). С. 869–891.
25. Muehlen M., Recker J. How Much Language Is Enough? // Theoretical and Practical Use of the Business Process Modeling Notation. 2008. С. 465–479.
26. Гаспариан М.С., Лебедев С.А., Тельнов Ю.Ф. О взаимосвязи ФГОС и профессиональных стандартов // Статистика и экономика. 2016. № 4. С. 16–18.

References

1. Hammer M., Champy J. Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution. New York: Harper-Collins; 1993. 288 p.
2. Dobrolyubov H.A. Rukovodstvo k naglyadnomu izucheniuyu administrativnogo poryadka techeniya bumag v Rossii = Guide to Visual Study of the Administrative Procedure of Paperwork Flow in Russia. Moscow: GIHL; 1858. 20 p. (In Russ.)
3. Kalyanov G.N. Teoriya biznes-protsessov = Theory of Business Processes. Moscow: Goryachaya Liniya-Telecom; 2023. 296 p. (In Russ.)

4. Novikov A.M., Novikov D.A. Metodologiya = Methodology. Moscow: SINTEG; 2007. 668 p. (In Russ.)
5. Belov M.V., Novikov D.A. Metodologiya kompleksnoy deyatel'nosti = Methodology of Integrated Activity. Moscow: Lenand; 2018. 320 p. (In Russ.)
6. Ibrayim R., Siow Yen Yen. Formalization of the Data Flow Diagram Rules for Consistency check. International Journal of Software Engineering and Applications (IJSEA). 2010; 1; 1: 95-110.
7. Zhang D.Q., Zhang K., Cao J. A context-sensitive graph grammar formalism for the

specification of visual languages. The Computer Journal. 2001; 44; 3: 186-200.

8. Afanas'yev A.N., Sharov O.G., Voyt N.N. Analiz i kontrol' diagrammaticheskikh modeley pri proyektirovanii slozhnykh avtomatizirovannykh system = Analysis and control of diagrammatic models in the design of complex automated systems. Ulyanovsk: UISTU; 2016. 87 p. (In Russ.)

9. Jilani A., Nadeem A., Kim T.-H., Cho E.-S. Formal Representations of the Data Flow Diagram: A Survey. 2008 Advanced Software Engineering and Its Applications, Hainan, China. 2008: 153-158.

10. Ollongren A. Opredeleniye yazykov programmirovaniya interpretiruyushchimi avtomatami = Definition of Programming Languages by Interpreting Automata. Moscow: Mir; 1977. 288 p. (In Russ.)

11. Larsen P.G., Plat N., Toetenel H. A Formal Semantics of Data Flow Diagram. Formal aspects of Computing. 2004; 6(6): 586-606.

12. Hassen M., Gargouri F. Multi-dimensional Classification of Sensitive Business Process Modeling Aspects. Procedia Computer Science. 2024; 239: 2158-2167. DOI: 10.1016/j.procs.2024.06.404.

13. Yourdon E. Managing the Structured Techniques. New York: Yourdon Press/Prentice Hall; 1989. 256 p.

14. Zachman J. A. A Framework for Information Systems Architecture. IBM Syst. J. 1987; 26; 3: 276-292.

15. Yuditskiy S.A. Stsenarnyy podkhod k modelirovaniyu povedeniya biznes-sistem = Scenario Approach to Modeling the Behavior of Business Systems. Moscow: SINTEG; 2001. 112 p. (In Russ.)

16. Dorrer M.G. An Algorithm for Transforming Business Process Models into Single-Color Petri Nets. Modelirovaniye i analiz informatsionnykh system = Modeling and Analysis of Information Systems. 2010; 17; 2: 5-16. (In Russ.)

17. Krogstie J. Using EEML for Combined Goal and Process Oriented Modeling: A Case Study. Proceedings of EMMSAD. 2008: 112-129.

18. Vernadat F. UEML: towards a unified enterprise modelling language. Int. J. Production Research. 2002; 40(17): 4309-4321.

19. Kotov V.Ye. Seti Petri = Petri Nets. Moscow: Nauka; 1984. 160 p. (In Russ.)

20. Gao X., Li Z., Li S., Wu F. Modeling and Analyzing Concurrent Design Process for Manufacturing Enterprise Information Systems. 2006 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (October 8-11, Taipei, Taiwan). 2006: 4999-5003.

21. Pavlov V.V. Polychromatic Sets and Graphs in Structural Modeling of Properties of Technical Systems. Prilozheniye k zhurnalu «Informatsionnyye tekhnologii» = Supplement to the journal «Information Technologies». 2008; 2: 32. (In Russ.)

22. Kalyanov G.N. Requirements for the Composition and Structure of Standards in the Field of Business Process Modeling. Avtomatizatsiya v promyshlennosti = Automation in Industry. 2003; 4: 19-21. (In Russ.)

23. Bjekovic M., Proper H.A., Sottet J.S. Enterprise Modelling Languages. Just Enough Standardisation? Lecture Notes in Business Information Processing. 2014; 1: 1-23.

24. Malavolta I., Lago P., Muccini H., Pelliccione P., Tang A. What Industry Needs from Architectural Languages: A Survey. IEEE Trans. Software Eng. 2013; 39(6): 869-891.

25. Muehlen M., Recker J. How Much Language Is Enough? Theoretical and Practical Use of the Business Process Modeling Notation. 2008: 465-479.

26. Gasparian M.S., Lebedev S.A., Tel'nov Yu.F. On the relationship between the Federal State Educational Standard and professional standards. Statistika i ekonomika - Statistics and Economics. 2016; 4: 16-18. (In Russ.)

Сведения об авторе

Георгий Николаевич Калянов

Д.т.н., профессор, главный научный сотрудник
Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН,
Москва, Россия
Эл. почта: kalyanov@ipu.ru

Information about the author

Georgy N. Kalyanov

Dr. Sci. (Technical), Professor, Chief Researcher
V.A. Trapeznikov Institute of Management Problems
of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia
E-mail: kalyanov@ipu.ru