

Адаптация DFD-технологии при моделировании бизнес-систем в среде РДС

Статья посвящена описанию структурных методов моделирования бизнес-систем (систем бизнес-процессов), предназначенных не только для статического функционального/информационного моделирования процессов, но и позволяющих осуществлять имитацию их поведения.

Приведено описание базовых грамматических конструкций структурных языков моделирования бизнес-процессов, подмножества которых предлагается адаптировать для расширения входного языка инструментального комплекса РДС (Расчет Динамических Систем), что позволит использовать возможности комплекса для решения задач анализа не только динамических систем, но и бизнес-систем.

Для формального описания синтаксиса предлагается применять аппарат смешанных грамматик, являющихся комбинацией графовых и обычных грамматик. В статье неформально описаны семантические аспекты языка, в частности семантика отношений между объектами языка. Детально представлены нетерминальные символы языка: диаграмма, DFD-диаграмма, STD-диаграмма, ERD-диаграмма, миниспецификация, определены служебные структуры (включая словарь данных).

Описаны виды и типы оценочных критериев в задачах анализа качества бизнес-моделей, выявления синтаксических ошибок, а также ошибок статической семантики при их реализации в

РДС. Приведена классификация потенциальных ошибок.

Статический анализ бизнес-модели осуществляется по трем направлениям – синтаксис, семантика и прагматика. Методы анализа можно разделить на следующие классы: синтаксические, т.е. те, которые выявляют нарушения синтаксиса языка представления диаграмм; семантические, выявляющие нарушения смыслового представления диаграмм и их элементов; методы анализа качества бизнес-модели, оцениваемого параметрами связности и сцепления.

Реализация описанных методов и механизмов предполагается в виде дополнительного модуля имитационного моделирования бизнес-процессов в составе программного комплекса РДС, являющегося инструментом для построения исследовательских стендов, обеспечивающих процесс моделирования, анализа и синтеза систем управления. Комплекс был реализован в рамках проектов, выполненных в ИПУ РАН. В статье определено назначение, состав и структура модуля имитационного моделирования бизнес-процессов.

Ключевые слова: язык моделирования бизнес-процессов, инструментальный программный комплекс РДС, DFD-технология, графовая и смешанная грамматики, синтаксис и семантика языка моделирования

Georgiy N. Kalyanov, Boris V. Kupriyanov, Olga V. Lukinova

Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Adaptation of the DFD technology in the modeling of business systems in the environment of RDS

The article is devoted to the description of structural methods of processes modeling, represented by visual languages of business processes modeling of socio-economic systems, designed not only for static functional/information modeling of processes, but also allowing to simulate their behavior.

The description of grammar of structural languages of designing business processes of the enterprise which subsets it is offered to adapt for expansion of input language of the tool complex of RDS (Calculation of Dynamic Systems) that will allow to use opportunities of a complex for the solution of problems of the analysis not only dynamic, but also business models of organizational and economic systems are given.

Provides the syntax and semantics of DFD, STD, ERD-notations. For the formal description of the syntax it is proposed to use the apparatus of mixed grammars, which are a combination of graph and ordinary grammars. The article describes the grammar that generates the simplest dialect of DFD-technology, informally describes the semantic aspects of the language, in particular the semantics of relations between the objects of the language.

The basic constructions of the proposed language, its syntax and semantics are presented. Classification of potential errors is given. Non-terminal symbols of the language are presented in detail: diagram, DFD-diagram, STD-diagram, ERD-diagram, mini-specification, service structures are defined (including data dictionary).

The types and sorts of evaluation criteria in the problems of business models quality analysis, syntax errors detection, as well as static semantics errors during their implementation in RDS are described. Static analysis of the business model is carried out in three directions which are syntax, semantics and pragmatics. Analysis methods can be divided into the following classes: syntactical, i.e. those that reveal violations of the syntax of the diagram representation language; semantic, revealing violations of the semantic representation of diagrams and their elements; methods of analyzing the quality of the business model, evaluated by the parameters of connectivity and cohesion.

The implementation of the described methods and mechanisms is assumed as an additional module of simulation modeling of business processes as part of the RDS software complex, which is a tool for building research stands that provide the process of modeling, analysis and synthesis of control systems. The complex was implemented in the framework of projects implemented in the IPU RAS. The article defines the purpose, composition and structure of the business process simulation module.

Keywords: modeling language, business process, tool and software complex of the RDS, DFD technology and combined graph grammars, syntax and semantics of the modeling language

1. Введение

Программный комплекс РДС (Расчет Динамических Систем) [1, 10, 11] является инструментом для построения исследовательских стендов, обеспечивающих процесс моделирования, анализа и синтеза систем управления. Комплекс был реализован в рамках проектов, выполненных в ИПУ РАН.

Предлагаемая статья посвящена описанию языка моделирования бизнес-систем, базирующегося на расширении DFD-технологии [2, 12] и предназначенного не только для статического функционального/информационного моделирования процессов, но и позволяющего осуществлять имитацию их поведения. Возможность такой имитации обусловлена включением в язык специальных конструкций, трансляция которых во входной язык инструментального комплекса РДС обеспечивает необходимый функционал. Кроме того, реализация предложенного языка позволяет расширить возможности РДС за счет его ориентации на моделирование и анализ бизнес-процессов (БП).

В статье представлены базовые конструкции предлагаемого языка, его синтаксические и семантические аспекты, приведена классификация потенциальных ошибок. Реализация описанных методов и механизмов предполагается в виде дополнительного модуля имитационного моделирования бизнес-процессов (МИМБП) в составе программного комплекса РДС.

2. Назначение модуля имитационного моделирования бизнес-процессов социально-экономических систем

Введем следующие понятия, которые требуют цели данной работы.

Объект O – бизнес-система, осуществляющая различные виды деятельности, активируемые необходимостью получения определенного результата в пользу некоторого субъекта C . Инициация того или иного вида деятельности осуществляется после того, как в систему O для обработки поступает входной набор данных A_i (a_1, a_2, \dots, a_n), ассоциируемый с субъектом C и определяющий его состояние.

Отношения между субъектом C и объектом O заключаются в том, что деятельность объекта O , изменяя значения набора данных A_i (a_1, a_2, \dots, a_n), меняет состояние субъекта C .

Субъект C может быть как внешний по отношению к объекту O , так и внутренний, как физическое, так и юридическое лицо, как некоторый объект, так и процесс. Тем самым деятельность объекта O приобретает характер субъектности, что позволит выстраивать критерии оценки проектируемой деятельности, эффективность которых направлена на интересы субъекта.

В качестве объекта O рассматриваются организации, предприятия и иные хозяйствующие структуры, осуществляющие управленческую, производственную, вспомогательную и прочие виды деятельности. Вид деятельности структурируется следующим образом [3, 4]:

1. Операция – элементарное (неделимое) действие, выполняемое на одном рабочем месте.

2. Функция – совокупность операций, сгруппированных по определенному признаку.

3. Бизнес-процесс – связанная совокупность функций, в ходе выполнения которой потребляются определенные ресурсы и создается продукт (вещественный или нематериальный результат человеческого труда: предмет, услуга, научное открытие, идея), представляющий ценность для потребителя.

4. Подпроцесс – бизнес-процесс, являющийся структурным элементом некоторого объемлющего бизнес-процесса и представляющий ценность для внутреннего клиента.

Тогда бизнес-моделью (БМ) назовем структурированное графическое описание сети процессов и/или функций/операций, связанных с данными, документами, организационными единицами и прочими объектами и субъектами, отражающими существующую или предполагаемую деятельность объекта O .

Технология моделирования объекта O базируется на следующих структурных языках:

- язык функционального моделирования (data flow diagrams, DFD-диаграммы),
- язык моделирования поведения объекта (state transition diagrams, STD-диаграммы),
- язык информационного моделирования (entity-relationship diagrams, ERD-диаграммы),
- язык представления модели в среде РДС.

Модуль имитационного моделирования бизнес-процессов МИМБП является инструментом, предназначенным для:

- Визуального отображения модели деятельности объекта O в виде комплекса диаграмм (бизнес-модели объекта O), включающего: модель преобразования потоков данных в ходе выполнения процессов деятельности, модель состояний субъекта C в процессе деятельности объекта O , модель представления данных, обрабатываемых и хранимых БМ.

- Отработки указанного комплекса диаграмм в среде РДС с целью проведения анализа построенной бизнес-модели для выявления ошибок статической семантики.

Модуль имитационного моделирования МИМБП представляет собой программный комплекс, интегрирующий: модуль построения и редак-

тирования бизнес-процессов объекта O , модуль преобразования графического языка представления бизнес-процесса в графический язык РДС, модуль расчета динамических систем РДС, позволяющий осуществлять анализ построенной бизнес-модели и в дальнейшем – имитацию ее функционирования.

В рамках этапа, посвященного вопросам статической обработки бизнес-модели в среде РДС, были решены следующие задачи:

1. Описание синтаксиса и семантики подмножества структурных языков в части преобразования и представления потоков данных, а также поведенческих аспектов.

2. Преобразование синтаксиса структурных языков построения бизнес-модели (DFD, STD, ERD) в язык представления среды РДС.

3. Разработка методов и алгоритмов выявления ошибок статической семантики и синтаксиса диаграмм бизнес-модели.

Перспектива данной работы видится в разработке методов и средств формального описания функций бизнес-процессов, что позволит осуществить имитационное моделирование в части выявления динамических ошибок, построения эффективных процессов бизнес-системы.

3. Структурные методы представления бизнес-процессов на основе графовых грамматик и DFD-технологии

Язык моделирования, используемый в модуле МИМБП, включает три вида основных строительных блоков бизнес-модели: объекты, отношения и диаграммы. При этом объекты являются базовыми элементами (алфавитом языка), отношения связывают объекты в смысловые блоки (слова), диаграммы группи-

руют слова в «осмысленные» фразы и предложения (бизнес-процессы).

В обобщенном виде в языке имеется 3 типа объектов: функциональный объект (процесс, подсистема, миниспецификация, модуль, дискриминатор и др.), информационный объект (внешняя сущность, накопитель, информационный канал, сущность, событие, область данных и др.) и поведенческий объект (управляющий процесс, состояние и т.п.).

Отношения между объектами определяют их взаимодействие посредством информационных потоков и управляющих сигналов или обеспечивают структурную организацию объектных конгломератов (иерархия, обобщение и т.п.).

Диаграмма, в свою очередь, является совокупностью слов, представленной в виде направленного графа с вершинами, соответствующими объектам, и ребрами, соответствующими отношениям.

Для описания вышеуказанных блоков в целях данной работы используется аппарат грамматик. Классическая грамматика Хомского [5] представляет собой кортеж четырех множеств $G = (T, N, P, s)$, где T – алфавит языка (множество терминальных символов), N – множество переменных грамматик или нетерминальных символов, P – множество правил вывода цепочек языка вида $L ::= R$ (L – непустая последовательность терминальных и нетерминальных символов, R – произвольная последовательность терминальных и нетерминальных символов), $s \in N$ – начальный символ.

Для задания синтаксиса рассматриваемых языков обычно используется формализм графовых грамматик [6, 7, 13], являющихся обобщением грамматик Хомского на графы. В таких грамматиках роль традиционных символов играют графические символы,

графы/подграфы различных видов.

В то же время в работах [3, 8] была предложена модель DFD-технологии (включающей комплекс вышеперечисленных диаграммных техник) в виде смешанного графа с различными типами вершин и ребер для адекватного описания бизнес-систем, а также была разработана параллельная атрибутивная порождающая грамматика для бизнес-процесса, позволяющая порождать варианты (сценарии) его исполнения при различных ограничениях.

Для целей данной работы предлагается промежуточный вариант, а именно смешанная грамматика [2], символами которой могут быть не только графы/подграфы, но и фрагменты моделей в различных нотациях (в рамках DFD-технологии) вплоть до атомарных символов языка. Это соответствует введению в грамматику двух типов терминальных объектов – детализируемых и не детализируемых.

Таким образом, специфика графовых грамматик структурных языков, используемых для создания бизнес-моделей объекта O , заключается в том, что:

- все терминальное множество T представляют собой графические символы,
- элементы множества T представляются двумя типами объектов: детализируемых (псевдотерминальных символов – терминальных в рамках конкретной диаграммы) и не детализируемых (традиционных терминальных символов),
- в качестве нетерминалов выступают не только графы/подграфы, но и фрагменты графических моделей в различных нотациях, а также другие высокоуровневые описания.

Такая грамматика представляет собой двухуровневую структуру, верхний уровень которой представляет собой графовые описания (например, порождение экземпляров

диаграмм), а нижний — классический вывод цепочек буквенных символов (например, генерация имени графического терминала или атрибута ERD-диаграммы). Множество T представляется следующими символами: ПРОЦЕСС, УПРОЦЕСС, ХРАНИЛИЩЕ, ВНЕШНЯЯ СУЩНОСТЬ, ПОТОК, УПОТОК, СОСТОЯНИЕ, НАЧАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ, КОНЕЧНОЕ СОСТОЯНИЕ, ПЕРЕХОД, СУЩНОСТЬ, ОТНОШЕНИЕ, ДИСКРИМИНАТОР.

4. Описание нетерминальных символов

Нетерминальные символы грамматики множества N структурных языков определяют метасемантику подмножеств структур элементов бизнес-модели объекта O (для сравнения см. [14, 15, 16]).

В целях построения бизнес-модели объекта O в данной работе рассматриваются следующие три типа нетерминальных символов: *диаграмма*, представляющая собой направленный граф, вершины которого есть терминальные объекты $t_i \in T$ типа «процесс», «состояние» и т.п., ребра — терминальные объекты $t_j \in T$, $j \neq i$ типа «отношение»; *миниспецификация*, являющаяся подробным описанием логики DFD-процесса нижнего уровня (следует отметить, что с точки зрения графовой грамматики миниспецификация — терминальный символ, однако с точки зрения классической, безусловно, нетерминал, поэтому в силу сложности данного объекта в дальнейшем отнесем его к переменным графовой грамматики); *словарь данных*, который определяет структуру и содержание всех потоков и накопителей данных, присутствующих на диаграммах.

Каждый из нетерминалов имеет сложную как горизонтальную, так и вертикальную структуру, основанную на различных

типах отношений. Их можно подразделить на два вида: связывающие объекты на одном уровне модели (отношение — информационный поток, отношение — управляющий поток, отношение — переход, отношение связи); устанавливающие межуровневые связи (отношения декомпозиции различных видов, отношения категоризации).

Семантика отношений первого вида заключается в передаче данных или управления (управляющих сигналов) между объектами диаграмм конкретного уровня. При этом состав и структура передаваемых данных определяется соответствующим грамматическим правилом, а семантика управляющего потока определяется его типом. Семантика отношений декомпозиции состоит в межуровневой балансировке, т.е. фактически, в увязывании отношений первого вида между уровнями модели, основное правило которого заключается в том, что все отношения первого вида, связанные с детализируемым объектом, должны быть отображены (и привязаны к соответствующим объектам) на детализирующем уровне. Отношение категоризации по сути является отношением обобщения.

Ниже представлено неформальное описание указанных типов символов множества N .

4.1. Описание нетерминала типа «диаграмма»

Нетерминальный символ «Диаграмма» представляется тремя группами диаграмм:

- диаграммы функционального моделирования, иллюстрирующие функции, которые система должна выполнять, и связи между этими функциями (в нашем случае, DFD), дополненные словарями данных и спецификациями процессов нижнего уровня (миниспецификациями);
- диаграммы, моделирующие данные и их взаимосвязи (ERD);
- диаграммы, моделирующие поведение системы (STD).

Диаграммы всех трех групп содержат графические и текстовые средства моделирования: первые — для отображения основных компонент модели, вторые — для обеспечения точного определения ее компонент и связей.

4.2. Описание нетерминала типа «DFD-диаграмма»

Нетерминалы этого типа подразделяются на два вида: контекстная диаграмма, диаграмма потоков данных или потоков управления, последняя характеризуется наличием специального поведенческого объекта — управляющего процесса, по сути, являющегося аналогом командного пункта, рассылающего команды объектам-процессам с помощью управляющих потоков.

Нетерминал «Контекстная диаграмма»

Диаграмма имеет звездообразную топологию, в центре которой находится контекстный процесс, соединенный с внешними приемниками и источниками информации. При этом контекстная диаграмма может содержать не единственный контекстный процесс, а набор процессов, связанных потоками данных. Целесообразность такой детализации определяется следующими факторами: наличием большого количества внешних сущностей, распределенной природой моделируемого объекта O , многофункциональностью объекта с уже сложившейся или выявленной группировкой функций в отдельные подсистемы (например, холдинг). Контекстная диаграмма подлежит детализации посредством отношения декомпозиции.

Нетерминал «DFD-диаграмма»

Для контекстного процесса выполняется его детализация при помощи DFD или миниспецификации.

Диаграмма DFD демонстрирует внешние по отношению к системе адресаты и

адресанты данных, идентифицирует функции (процессы) и группы элементов данных, связывающие одну функцию с другой (потoki), а также идентифицирует накопители (хранилища) данных, к которым осуществляется доступ.

При детализации должны выполняться следующие правила:

- правило балансировки – при детализации процесса дочерняя диаграмма в качестве внешних источников/приемников данных может иметь только те компоненты (подсистемы, процессы, внешние сущности, накопители данных), с которыми имеет информационную связь соответствующий процесс на родительской диаграмме;

- правило нумерации – при детализации процессов должна поддерживаться их иерархическая нумерация (например, процессы, детализирующие процесс с номером 1, получают номера 1.1, 1.2 и т.д.);

- правило семи – для того, чтобы диаграмма легко читалась, количество функций на диаграмме не должно быть больше семи;

- рекомендуемая глубина детализации – не более 7 уровней.

После построения иерархии диаграмм, полученную модель следует проверить на полноту исходных данных об объектах диаграмм и изолированность объектов (отсутствие информационных связей с другими объектами).

Для того, что бы построенная DFD-модель могла быть выполнена в среде РДС, она должна содержать псевдотерминальный объект УПРОЦЕСС (управляющий процесс), т.е. DFD-модель должна быть дополнена диаграммой, моделирующей поведение системы.

4.3. Описание нетерминала типа «STD-диаграмма»

Назначение нетерминала «STD-диаграмма» заключается в том, чтобы иметь возможность моделировать аспекты

бизнес-модели объекта *O*, зависящие от реакции на событие, т.е. STD является инструментом для создания моделей поведения субъекта *S*. С символом УПРОЦЕСС нетерминал «STD-диаграмма» находится в отношении иерархии и представляет собой декомпозицию управляющего процесса DFD-модели, а также описывает отношения между входными и выходными управляющими потоками для управляющего процесса-предка.

Таким образом, STD используется для спецификации управления последовательностью исполнения функций, описанных в DFD-модели. Важным моментом здесь является вопрос о контексте аспекта моделирования, т.е. о выборе субъекта, чье поведение подлежит моделированию (см. п.2). При решении этого вопроса необходимо принимать во внимание тот факт, что характеристики субъекта, чье состояние моделируется STD-диаграммой, изменяются в ходе выполнения функций DFD-модели.

Моделируемый субъект в любой заданный момент времени находится только в одном из конечного множества состояний. При выполнении некоторого условия он может изменить свое состояние, при этом переходы между состояниями должны быть определены однозначно. Следует отметить, что, вообще говоря, не все события необходимо вызывают переходы из отдельных состояний. С другой стороны, одно и то же событие не всегда вызывает переход в то же самое состояние.

4.4. Описание нетерминала типа «ERD-диаграмма»

Нетерминал «ERD-диаграмма» относится к информационным объектам бизнес-модели. Она определяет способ организации внутренней структуры объекта ХРАНИЛИЩЕ и содержит информацию об информационных

сущностях бизнес-модели и способах их взаимодействия, идентифицируя объекты, важные для предметной области, свойства этих объектов и их отношения с другими объектами модели. Основные компоненты ERD-диаграммы – СУЩНОСТИ, отношения между СУЩНОСТЯМИ, а также ДИСКРИМИНАТОРЫ.

4.5. Описание нетерминала типа «Миниспецификация»

Каждая функция (процесс) может быть детализирована с помощью DFD нижнего уровня; когда дальнейшая детализация перестает быть полезной, переходят к выражению логики функции при помощи спецификации процесса (миниспецификации).

Таким образом, миниспецификация детально описывает логику процесса и содержит номер процесса, списки входных и выходных данных, тело процесса (подробный алгоритм, преобразующий входные потоки данных в выходные). Миниспецификация является конечной вершиной иерархии модели DFD. Решение о завершении детализации процесса и использовании миниспецификации принимается аналитиком исходя из следующих критериев: у процесса небольшое количество входных и выходных потоков данных; процесс можно описать в виде алгоритма, не требующего детализации; процесс выполняет единственную функцию преобразования входной информации в выходную.

4.6. Описание нетерминалов «Словарь данных», служебные структуры

Словарь данных представляет собой вспомогательный объект, организованный определенным образом для хранения всех данных с их точными определениями, что дает возможность иметь общее понимание всех входных и выходных потоков и компонент хранилищ. В словаре данных

определяется состав и структура всех потоков данных и накопителей, которые присутствуют на диаграммах. Для каждого потока в словаре хранятся: имя потока, тип, атрибуты. Шаблон словаря данных формируется автоматически при создании объектов DFD-диаграммы с последующим заполнением пользователем недостающих их характеристик.

Аналогично словарю данных формируются служебные структуры (дескрипторы) для хранения атрибутов, комментариев и т.п. по другим объектам диаграмм.

5. Статические методы анализа бизнес-модели

Анализ бизнес-модели объекта *O* осуществляется по трем направлениям — синтаксис, семантика и прагматика. Методы анализа можно разделить на следующие классы:

- синтаксические, выявляют нарушения синтаксиса языка представления диаграмм,

- семантические, выявляющие нарушения смыслового представления объекта *O* и субъекта *S*, которое моделируется с использованием ERD, DFD, STD, а также структурам ПОТОК, УПОТОК,

- методы анализа качества бизнес-модели, оцениваемого параметрами связности и сцепления.

Ниже приведены разделы с описанием оценочных критериев в задачах анализа качества бизнес-модели, выявления синтаксических ошибок, а также ошибок статической семантики при использовании в МИМБП средств бизнес-проектирования на основе приведенного выше алфавита терминальных и нетерминальных символов графовой грамматики.

5.1. Описание критериев анализа качества

Оценка качества бизнес-процесса [9, 3] базируется на том, что составляющие его

функции должны быть как можно более независимы (критерий сцепления), и чтобы каждая из них выполняла единственную, связанную с общей задачей, подзадачу (критерий связности). В «хорошем» бизнес-процессе сцепления (как мера взаимозависимости бизнес-функций) должны быть минимизированы, то есть функции должны быть слабозависимыми (независимыми) настолько, насколько это возможно. Метод ранжирует следующие типы сцепления бизнес-функций в порядке от более слабого к более сильному: сцепление по данным, по шаблону, по управлению, по общей области, по содержанию. Фактически понятие сцепления обобщает механизмы передачи параметров между компонентами программных систем и является лишь одним из критериев оценки качества разбиения бизнес-процесса на части: он оценивает, насколько хорошо входящие в него бизнес-функции отделены друг от друга.

Другим критерием оценки качества расчленения бизнес-процесса является критерий связности, контролирующей, как сгруппированные в одной функции действия связаны друг с другом. Связность — это мера прочности соединения функциональных и информационных объектов внутри одной бизнес-функции. Размещение сильно связанных объектов в одной и той же функции уменьшает межфункциональные взаимосвязи и взаимовлияния. Методом определяются формально на графе бизнес-процесса и ранжируются следующие типы связности: функциональная, последовательная, информационная, процедурная, временная и логическая.

Введенный в [3, 4] аппарат порождающих бизнес-процесс грамматик позволяет строить возможные варианты выполнения бизнес-процесса,

учитывая заданный тип его связности. Для решения этой задачи используется механизм синтезируемых атрибутов и специальных методов их синтеза.

Предложенный метод оценки качества позволяет решать следующие задачи:

- Определение типов сцепления и связности бизнес-процесса.

- Анализ выявленных типов сцепления и связности. Если эти типы не устраивают, то определение приемлемых типов сцепления и связности с последующей коррекцией модели.

- Порождение вариантов бизнес-процесса, имеющих типы сцепления и связности не хуже заданных.

5.2. Классификационная схема ошибок

В соответствии с классификационной схемой все ошибки (как синтаксические, так и семантические) разбиваются на три класса: общие ошибки, ошибки внутри диаграмм каждого типа (DFD, ERD, STD), междиagramмные ошибки (интерфейсы).

Общие ошибки потенциально могут возникнуть при построении любых диаграмм языка и касаются синтаксических аспектов его конструкций, например, имен.

Ошибки в DFD разбиваются на следующие группы:

- объекты, не соединяемые информационными/управляющими потоками в соответствии с синтаксисом языка: хранилище — хранилище; хранилище — внешняя сущность, хранилище — управляющий процесс, внешняя сущность — внешняя сущность, внешняя сущность — управляющий процесс;

- изолированные объекты (отсутствие входящих/исходящих информационных потоков): хранилище, внешняя сущность, процесс, управляющий процесс;

- ошибки в групповых потоках: структура потока не соответствует содержимому словаря данные, неверное расщепление/объединение потоков;

- ошибки в чтениях/записях хранилища;

- заикливание процессов.

Ошибки в STD разбиваются на следующие группы: наличие изолированных состояний, наличие недостижимых состояний.

Ошибки в ERD разбиваются на следующие группы: отсутствие атрибутов в сущности, не уникальное имя сущности/атрибута, недопустимые типы связей (многие-ко-многим, рекурсивные), наличие изолированных сущностей, наличие небинарных связей, неверное разбиение на подтипы.

Междиagramмные ошибки разбиваются на следующие группы:

- DFD-DFD: вертикальное балансирование (не соответ-

ствие потоков через границу по количеству, именам и структуре).

- DFD-Миниспецификация: в Миниспецификации должны присутствовать имена всех входящих и исходящих потоков, при этом входящие являются аргументами, а исходящие результатами операций Миниспецификации.

- DFD-STD: действиям в STD должны соответствовать процессы в DFD.

- DFD-ERD: контроль соответствия сущностей/атрибутов в ERD потокам/подпотокам в DFD (по именам и типам), контроль количества атрибутов потока/подпотока в DFD и ERD.

- DFD-STD: на DFD присутствуют управляющие потоки, принадлежащие различным STD.

- Контекстная диаграмма – DFD: вертикальное балансирование (несоответ-

ствие потоков через границу по количеству, именам и структуре).

6. Заключение

Статья посвящена описанию структурного метода моделирования бизнес-систем, предназначенного не только для статического функционального/информационного моделирования процессов, но и позволяющего осуществлять имитацию их поведения. Метод ориентирован на инструментальный комплекс РДС, что позволит использовать его возможности комплекса для решения задач анализа бизнес-моделей. Описаны классификации оценочных критериев в задачах анализа качества бизнес-моделей, выявления синтаксических ошибок, а также ошибок статической семантики при их реализации в РДС.

Литература

1. Дорри М.Х., Рошин А.А. Программный комплекс для моделирования и исследования систем управления «Расчет Динамических Систем» (РДС). Часть 1: Устройство РДС и редактирование схем. М.: ЛЕНАРД, 2018.

2. Калянов Г.Н. Концептуальная модель DFD-технологии // Открытое образование. 2017. № 4. С. 21–26.

3. Калянов Г.Н. Теория и практика реорганизации бизнес-процессов // М.: СИНТЕГ, 2000.

4. Калянов Г.Н. О теории бизнес-процессов // Программная инженерия. 2018. Том 9. № 3. С. 99–109.

5. Ахо А., Ульман Д. Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции. М.: Мир, 1978.

6. Rekers J., Schuerg A. A graph grammar approach to graphical parsing // Visual Languages Proc., 11 IEEE Int. Symp., 1995. С. 195–202.

7. Zhang D.-Q., Zhang K., Cao J. A context-sensitive graph grammar formalism for the specification of visual languages // The Computer Journal. 2001. Vol. 44. № 3. С. 186–200.

8. Калянов Г.Н. Формальные методы поддержки реорганизации бизнес-процессов // Экономика, статистика и информатика. Вестник УМО. 2013. № 3. С. 161–165.

9. Калянов Г.Н. Верификация бизнес-процессов // Труды 21-й научно-практической кон-

ференции «Инжиниринг предприятий и управление знаниями». Том 1. М.: 2018. С. 72–75.

10. Дорри М.Х., Рошин А.А. Efficiency of combining the ideas of forecast, open-loop and feedback control in the design of control systems // Automation and Remote Control. 2015. Vol. 76. № 6. С. 1049–1057.

11. Дорри М.Х., Рошин А.А. Расчет Динамических Систем (РДС). Первоначальное знакомство с разработкой автокомпилируемых блоков. М.: ИПУ РАН, 2016.

12. Калашян А.Н., Калянов Г.Н. Структурные модели бизнеса: DFD-технологии. М.: Финансы и статистика, 2003.

13. Афанасьев А.Н., Шаров О.Г., Войт Н.Н. Анализ и контроль диаграмматических моделей при проектировании сложных автоматизированных систем. Ульяновск: УлГТУ, 2016.

14. France R.B. Semantically Extended DFD: A Formal Specification Tool // IEEE Transactions on Software Engineering. 1992. SE-18. № 4. С. 329–346.

15. Serrano J.A., Welland R. VCT - a Formal Language for the Specification of Diagrammatic // Modelling Technique, Information and Software Technology. 1998. Vol. 40. № 9. P. 463–474.

16. Larsen P.G., Plat N., Toetenel H. A Formal Semantics of Data Flow Diagram // Formal Aspects of Computing. 1994. Vol 6. № 6. P. 586–606.

References

1. Dorri M.KH., Roshchin A.A. Programmnyy kompleks dlya modelirovaniya i issledovaniya sistem upravleniya "Raschet Dinamicheskikh Sistem" (RDS). CHast' 1: Ustroystvo RDS i redaktirovaniye skhem. = Software package for modeling and research of control systems "Calculation of Dynamic Systems" (RDS). Part 1: RDS device and circuit editing Moscow: LENARD; 2018. (In Russ.)
2. Kalyanov G.N. Conceptual model of DFD-technology. Otkrytoye obrazovaniye = Open Education. 2017; 4: 21–26. (In Russ.)
3. Kalyanov G.N. Teoriya i praktika reorganizatsii biznes-protsessov = Theory and practice of reorganization of business processes. Moscow: SINTEG; 2000. (In Russ.)
4. Kalyanov G.N. O teorii biznes-protsessov. Programmnyaya inzheneriya = Software Engineering. 2018; 9; 3: 99–109. (In Russ.)
5. Akho A., Ul'man D. Teoriya sintaksicheskogo analiza, perevoda i kompilyatsii = The theory of syntactic analysis, translation and compilation. Moscow: World; 1978. (In Russ.)
6. Rekers J., Schuerr A. A graph grammer approach to graphical parsing. Visual Languages Proc., 11 IEEE Int. Symp.; 1995: 195–202. (In Russ.)
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. Kalyanov G.N. Formal methods of supporting the reorganization of business processes. Ekonomika, statistika i informatika. Vestnik UMO. = Economics, statistics and computer science. Bulletin of UMO. 2013; 3: 161–165. (In Russ.)
9. Kalyanov G.N. Business Process Verification. Trudy 21-y nauchno-prakticheskoy konferentsii

"Inzhiniring predpriyatiy i upravleniye znaniyami". Tom 1. = Proceedings of the 21st Scientific Practical Conference "Enterprise Engineering and Knowledge Management". Volume 1. Moscow; 2018: 72–75. (In Russ.)

10. Dorri M.KH., Roshchin A.A. Efficiency of combining the ideas of forecast, open-loop and feedback control in the design of control systems. Automation and Remote Control. 2015; 76; 6: 1049–1057.

11. Dorri M.KH., Roshchin A.A. Raschet Dinamicheskikh Sistem (RDS). Pervonachal'noye znakovostvo s razrabotkoy avtokompiliruyemykh blokov. = Calculation of Dynamic Systems (RDS). Initial acquaintance with the development of auto-compiled blocks. Moscow: ICP RAS; 2016. (In Russ.)

12. Kalashyan A.N., Kalyanov G.N. Strukturnyye modeli biznesa: DFD-tekhnologii. = Structural business models: DFD-technology. Moscow: Finance and Statistics; 2003. (In Russ.)

13. Afanas'yev A.N., SHarov O.G., Voyt N.N. Analiz i kontrol' diagrammicheskikh modeley pri proyektirovanii slozhnykh avtomatizirovannykh sistem = Analysis and control of diagrammatic models in the design of complex automated systems. Ul'yanovsk: UISTU; 2016. (In Russ.)

14. France R.B. Semantically Extended DFD: A Formal Specification Tool. IEEE Transactions on Software Engineering. 1992. SE-18; 4: 329–346.

15. Serrano J.A., Welland R. VCT – a Formal Language for the Specification of Diagrammatic. Modelling Technique, Information and Software Technology. 1998; 40; 9: 463–474.

16. Larsen P.G., Plat N., Toetenel H. A Formal Semantics of Data Flow Diagram. Formal Aspects of Computing. 1994; 6; 6: 586–606.

Сведения об авторах

Георгий Николаевич Калянов

Д.т.н., профессор, г.н.с.

*Институт проблем управления РАН,
Москва, Россия*

Эл. почта: Kalyanov@mail.ru

Борис Васильевич Куприянов

К.т.н., с.н.с.

*Институт проблем управления РАН,
Москва, Россия*

Эл. почта: Kuprianov@mail.ru

Ольга Васильевна Лукинова

Д.т.н., в.н.с.

*Институт проблем управления РАН,
Москва, Россия*

Эл. почта: lobars@mail.ru

Information about the authors

Georgiy N. Kalyanov

*Dr. Sci. (Engineering), Professor, Chief Researcher
Institute of Control Sciences of Russian Academy of
Sciences Moscow, Russia*

E-mail: Kalyanov@mail.ru

Boris V. Kupriyanov

*Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher
Institute of Control Sciences of Russian Academy of
Sciences, Moscow, Russia*

E-mail: Kuprianov@mail.ru

Olga V. Lukinova

*Dr. Sci. (Engineering)
Institute of Control Sciences of Russian Academy of
Sciences Moscow, Russia*

E-mail: lobars@mail.ru