

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРНО-СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Рассказов Владимир Александрович,

*аспирант Военно-научного учебного центра ВМФ «Военно-морская академия»,
г. Санкт-Петербург*

Наумов Владимир Николаевич,

профессор, доктор военных наук

СЗИУ – филиал РАНХиГС при Президенте Российской Федерации

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрены средства моделирования процессов в структурно-сложных системах, обоснована необходимость использования средств имитационного моделирования, дан краткий обзор существующих средств имитационного моделирования бизнес-процессов, сформулированы требования к инструментальным средствам моделирования бизнес-процессов.

Ключевые слова: бизнес-процессы; имитационное моделирование; общий логико-вероятностный метод; инструментальные средства моделирования.

Долгие годы компании (предприятия, фирмы, корпорации) ориентировались на традиционные способы организации производства и управления. Производственный процесс разбивается на элементарные, простые задания (работы), каждое из которых мог выполнить один рабочий (рисунок 1). Предполагалось, что исполнители имеют низкую квалификацию и у них недостаточно времени и способностей для ее повышения.

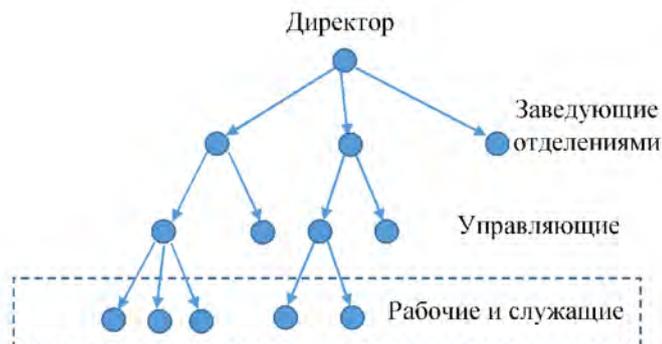


Рисунок 1 – Линейно-функциональная организационная структура

Такая структура обеспечивает высокую скорость выполнения технологических операций, эффективное решение задач, стоящих перед менеджерами функциональных подразделений, специализирующихся на соответствующих функциях. Однако с развитием индустрии менеджмент переориентировался на синхронизацию производства с требованиями потребителя и повышение роли отдельных исполнителей, в полной мере используются преимущества новых информационных технологий. Процессы же пронизывают организационные структуры. В них участвуют различные подразделения [1].

Структура связей внутри бизнеса, финансов не является простой и сама реконструкция бизнес-процессов, как правило, становится возможной только при использовании информационных технологий, они зачастую меняют сущность процессов. Здесь на первый план выходит моделирование как основной инструмент анализа и проектирования бизнес-процессов. Существует множество различных видов моделей и различных методологий моделирования, в том числе обобщенный логико-вероятностный метод (ОЛВМ) и модели функциональной целостности [2]. Несмотря на то, что впервые данные модели были ис-

пользованы при оценке технической надежности систем, в дальнейшем они нашли применение и в других сферах, в том числе в экономике. Понятие надежности было расширено и распространено для других свойств систем. Профессором Е.Д. Соложенцевым был даже предложен новый термин «топэкономика», который предполагает использование данного метода при оценке рисков в различных экономических системах [2, 6]. ОЛВМ описывает структуру системы методами математической логики, а количественную оценку надежности производит с помощью теории вероятностей. При моделировании бизнес-процессов под надежностью будем понимать вероятность успешного выполнения процесса. Привлекательность ОЛВМ заключается в исключительной четкости, однозначности и больших возможностях при анализе влияния любого элемента на надежность и безопасность всей системы [3]. До самого последнего времени распространенным подходом анализа сложных структур было преобразование их в последовательно-параллельные структуры с помощью решения системы нелинейных алгебраических уравнений. Трудности решения задач на сложных структурах с помощью ЛВМ перемещаются из области эквивалентирования ("звезда" – "треугольник") в область исчисления вероятностей повторных ФАЛ с абсолютной точностью, в принципе недостижимой при эквивалентировании.

Наряду с безусловными достоинствами ОЛВМ существует и ряд ограничений и допущений, которые следует учитывать при решении задач моделирования структурно-сложных систем:

1. Предполагается, что рассматривается определенный интервал функционирования и вероятностные характеристики рассчитываются (оцениваются) для данного интервала. От процессного подхода к моделированию переходят к событийному. Рассматриваются случайные события безотказного функционирования элемента структуры.

2. Все события являются бинарными и поэтому для их моделирования может быть использованы бинарные переменные, а весь процесс функционирования рассматривается как двоичная функция от этих переменных. Ситуация, когда отдельные операции (функции, работы), входящие в состав процесса, могут выполняться отчасти, с разной эффективностью, на них влияют различные внешние события, не учитываются.

3. Все рассматриваемые события являются независимыми.

4. Процесс может быть представлен деревом событий. Следовательно, циклы, обратные связи не учитываются.

5. В логико-вероятностной модели предполагается или только логические переменные с логическими операциями над ними, или вероятностные характеристики, с арифметическими операциями над ними. Наличие альтернативных маршрутов возможно за счет введения дополнительных «фиктивных» элементов. В этом случае вершины схемы функциональной целостности выступают в различных ролях: фактических случайных событий и фиктивных случайных событий с вероятностью, соответствующей вероятностям альтернативных маршрутов.

Таким образом, ОЛВМ может быть использован, когда структурно-сложная система (процесс ее функционирования) может быть представлен логической структурной схемой надежности. Альтернативой таким моделям в случае, если построение логической схемы невозможно или сложно выступает имитационная модель. Имитационное моделирование выполнения бизнес-процессов широко применяется в деятельности компаний, когда необходимо заранее спрогнозировать результаты. Показатели, которые подвергаются оптимизации в первую очередь, это: затраты процесса, продолжительность процесса, количество обслуженных клиентов или количество произведенного продукта. В результате проведения имитации получают распределения значений стоимости и времени процесса, причем не только полезного времени выполнения процесса, но и времени, затраченного на

ожидание необходимого количества или доступности материальных, или временных ресурсов. Но механизм имитационного моделирования может дать интересную информацию не только о выполнении бизнес-процессов, поскольку он также имитирует работу трудовых ресурсов, производство и потребление материальных. Если в результате анализа полученные значения показателей процесса оказались неудовлетворительными, модель можно изменить в соответствии со следующей идеей по оптимизации и провести имитацию снова. По результатам всех экспериментов можно выбрать вариант с наиболее оптимальными значениями показателей.

В этом случае ОЛВМ может быть рассмотрен как инструмент для верификации имитационной модели, проверки ее адекватности. После заведомого загробления имитационной модели можно получить логико-вероятностную модель, выполнить на ней аналитическое моделирование и сравнить полученные результаты с результатами машинных экспериментов.

Проведем исследование некоторого простого процесса методами имитационного моделирования и аналитического исследования, затем сравним полученные результаты. В качестве анализируемого процесса рассмотрим процесс, изображенный на рисунке 2. Для формализации и исследования процесса методами имитационного моделирования будем использовать нотацию BPMN и программный продукт Bizagi Modeler. Нотация BPMN в настоящее время стала фактически стандартом для лидеров ИТ рынка и широко используется в программных системах, разработанных такими лидерами ИТ рынка как IBM, ORACLE, SOFTWARE AG, имеет широкую популярность как у бизнес-аналитиков, так и разработчиков ИТ систем [4].

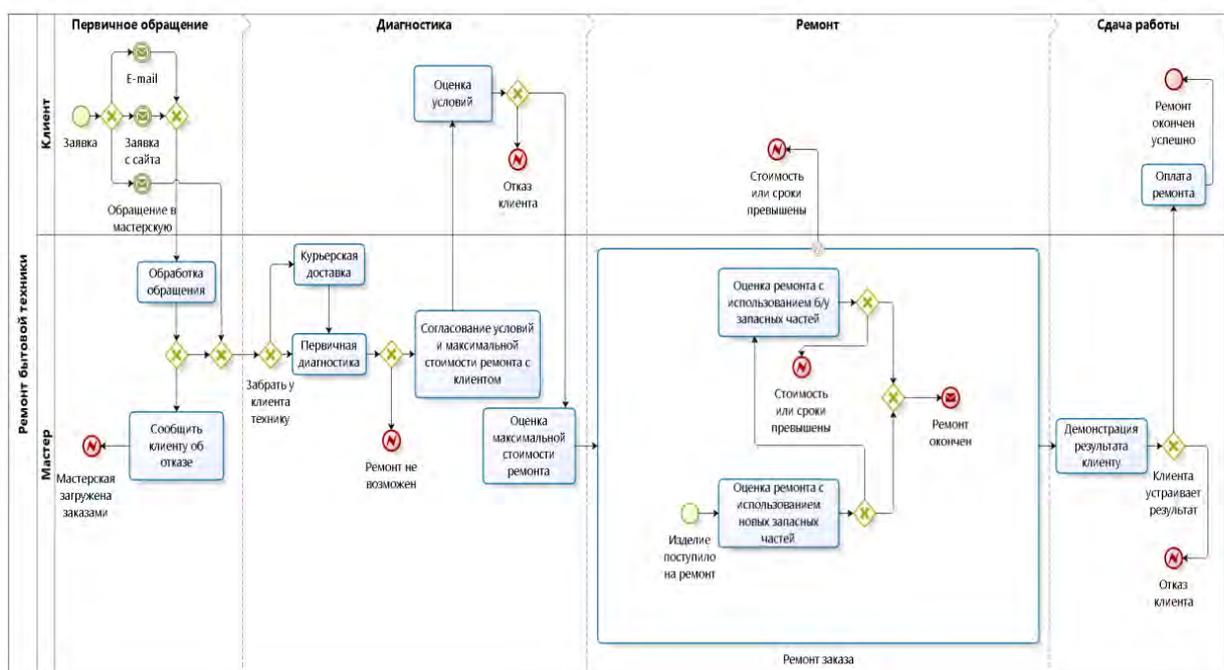


Рисунок 2 – Схема процесса ремонта бытовой техники

Представление процесса в нотации BPMN не годится для исследования ОЛВМ. Необходимо преобразование схемы выполнения процесса до некоторой структурной схемы надежности, элементы которой характеризуются вероятностью отказа и влияют на работоспособность всей схемы. Произведем свертку BPMN схемы процесса до схемы пригодной для анализа ОЛВМ. Очевидно, что элементы схемы BPMN процесса, не влияющие

на успешность выполнения процесса, можно исключить из рассмотрения. Выполнив данные преобразования, обозначим оставшиеся элементы схемы буквой G (Gateway) с соответствующим порядковым индексом, получим более простую схему. Далее сгруппируем элементы и получим схему как показано на рисунке 3.

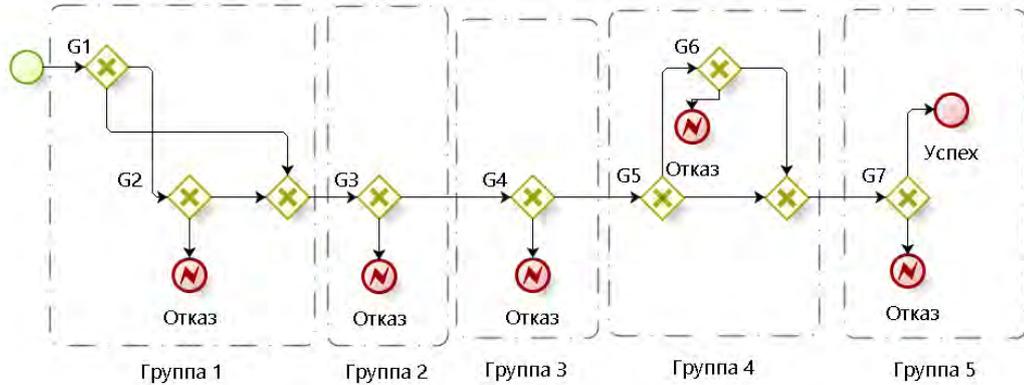


Рисунок 3 – Свернутая схема выполнения процесса

Очевидно, что группы 2, 3, 5 эквивалентны элементу структурной схемы надежности с вероятностью отказа равной вероятности перехода от шлюза к событию ошибки.



Рисунок 4 – Структурная схема надежности групп 2, 3, 5

Группы 1 и 4 также эквивалентны. Более подробно рассмотрим группу 1. Здесь минимальное сечение отказов представляет собой единственный путь.

$$S' = G1 \vee G2 \quad (1)$$

Применяя правило де Моргана, получим функцию работоспособности (ФР) для данной группы:

$$y(G) = [S1', S2' \dots SN'] = (G1' \wedge G2')' \quad (2)$$

Данная функция эквивалентна структурной схеме надежности на рисунке 5.

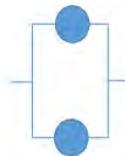


Рисунок 5 – Структурная схема надежности

Тогда схема процесса в нотации BPMN на рисунке 3 будет эквивалентна структурной схеме надежности на рисунке 6.

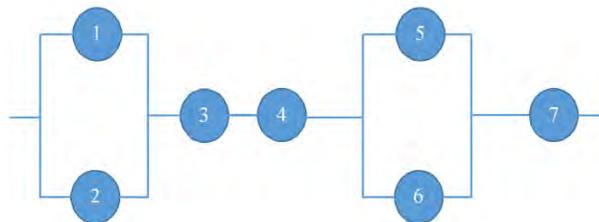


Рисунок 6 – Структурная схема надежности выполнения процесса ремонта бытовой техники

Проанализируем ОЛВМ полученную структурную схему надежности. Функция работоспособности системы (ФРС) есть дизъюнкция кратчайших путей успешного функционирования системы, как показано в формуле (3), записанной в матричной форме.

$$y(x) = \begin{bmatrix} x_1 x_3 x_4 x_5 x_7 \\ x_1 x_3 x_4 x_6 x_7 \\ x_2 x_3 x_4 x_5 x_7 \\ x_2 x_3 x_4 x_6 x_7 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Она представляет собой функцию алгебры логики (ФАЛ), однако непосредственный переход к вероятностной функции (ВФ) по правилам замещения без преобразований и перехода к функции полного замещения невозможен. Произведем преобразование ФРС с помощью алгоритма ортогонализации.

$$y(x) = \begin{bmatrix} K1 \\ K1'K2 \\ K1'K2'K3 \\ K1'K2'K3'K4 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$K1 = [x_1 x_3 x_4 x_5 x_7] \quad (5)$$

$$K1'K2 = \begin{bmatrix} x'_1 \\ x_1 x'_3 \\ x_1 x_3 x'_4 \\ x_1 x_3 x_4 x'_5 \\ x_1 x_3 x_4 x_5 x'_7 \end{bmatrix} * [x_1 x_3 x_4 x_6 x_7] = [x_1 x_3 x_4 x'_5 x_6 x_7] \quad (6)$$

$$K1'K2'K3 = \begin{bmatrix} x'_1 \\ x_1 x'_3 \\ x_1 x_3 x'_4 \\ x_1 x_3 x_4 x'_5 \\ x_1 x_3 x_4 x_5 x'_7 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x'_1 \\ x_1 x'_3 \\ x_1 x_3 x'_4 \\ x_1 x_3 x_4 x'_6 \\ x_1 x_3 x_4 x_6 x'_7 \end{bmatrix} * [x_2 x_3 x_4 x_5 x_7] = [x'_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_7] \quad (7)$$

$$K1'K2'K3'K4 = \begin{bmatrix} x'_1 \\ x_1 x'_3 \\ x_1 x_3 x'_4 \\ x_1 x_3 x_4 x'_5 \\ x_1 x_3 x_4 x_5 x'_7 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x'_1 \\ x_1 x'_3 \\ x_1 x_3 x'_4 \\ x_1 x_3 x_4 x'_6 \\ x_1 x_3 x_4 x_6 x'_7 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x'_2 \\ x_2 x'_3 \\ x_2 x_3 x'_4 \\ x_2 x_3 x_4 x'_5 \\ x_2 x_3 x_4 x_5 x'_7 \end{bmatrix} * [x_2 x_3 x_4 x_6 x_7] =$$

$$y(x) = \begin{bmatrix} [x'_1 x_2 x_3 x_4 x'_5 x_6 x_7] \\ x_1 x_3 x_4 x_5 x_7 \\ x_1 x_3 x_4 x'_5 x_6 x_7 \\ x'_1 x_2 x_3 x_4 x_5 x_7 \\ x'_1 x_2 x_3 x_4 x'_5 x_6 x_7 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Перейдем от функции полного замещения к вероятностной функции, получим:

$$P(y(x) = 1) = p_1 p_3 p_4 p_5 p_7 + p_1 p_3 p_4 (1 - p_5) p_6 p_7 + (1 - p_1) p_2 p_3 p_4 p_5 p_7 + (1 - p_1) p_2 p_3 p_4 (1 - p_5) p_6 p_7, \quad (10)$$

где p_n - вероятность безотказной работы n -го элемента структурной схемы надежности.

Сравним результаты моделирования и значения вероятностной функции.

Пусть $p_1 = p_2 = p_3 = p_4 = p_5 = p_6 = p_7 = 0,5$, тогда значение функции по формуле 0,0703125. В результате выполнения машинного эксперимента получен 701 успешно завершенный процесс при 10000 испытаниях, что соответствует оценке вероятности 0,0701 с ошибкой оценки 0,008.

Пусть $p_1 = p_2 = p_3 = p_4 = p_6 = p_7 = 0,5$; $p_5 = 0,3$ тогда значение функции по формуле 0,0609375. В результате 10000 шагов моделирования получена точечная оценки вероятности 0,0616 с ошибкой оценки 0,008.

Мы видим, что результаты, полученные с помощью ОЛВМ и имитационного моделирования практически одинаковы. Однако результаты ОЛВМ являются лишь подмножеством результатов имитационного моделирования. Это является следствием того, что ОЛВМ использует событийный подход в исследовании и представляет работу системы как последовательность сменяемых событий, не рассматривает развитие процесса во времени. Имитационное моделирование, используя процессный подход к исследованию, позволяет наблюдать за работой системы в динамике, получать временные и ресурсные оценки процесса, оценивать альтернативные схемы выполнения процесса. Так, например, с точки надежности для ОЛВМ процесс на рисунке 3 и процесс на рисунке 7 эквивалентны и представляют собой структурную схему надежности, изображенную на рисунке 6. Но лишь используя имитационное моделирование можно сказать, что временные и ресурсные показатели выполнения процессов будут различны.

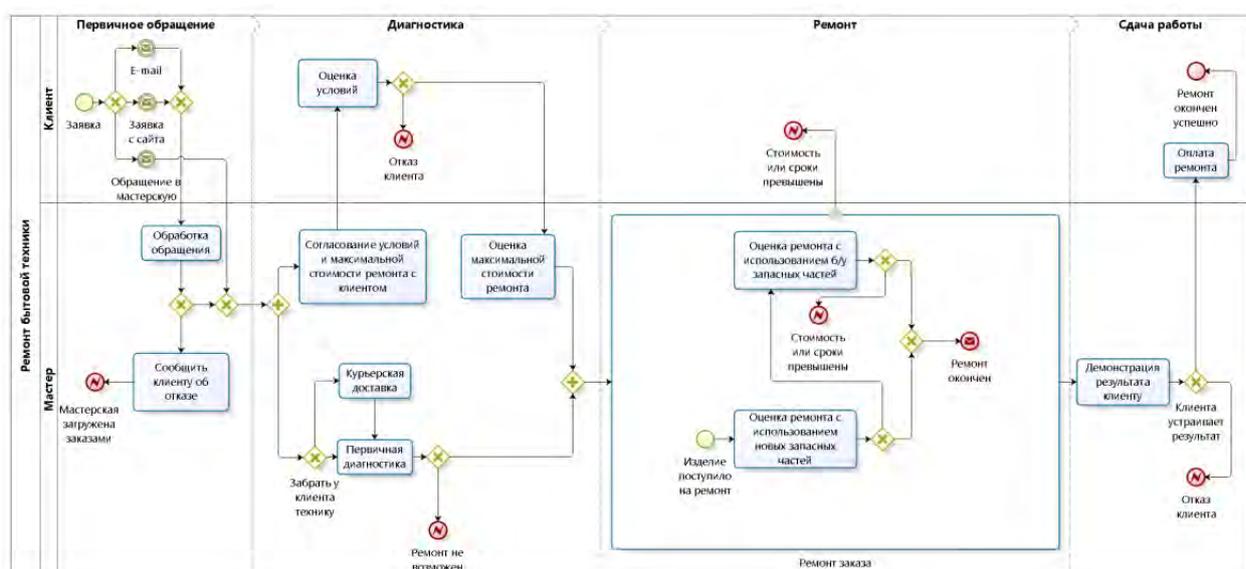


Рисунок 7 – Альтернативная схема выполнения процесса ремонта бытовой техники

Следует особо отметить, что описание объекта имитационного моделирования должен осуществлять специалист данного объекта на языке, принятом для описания объектов данной профессиональной группы. Т.е. необходима некоторая семантическая схема, интуитивно понятная любому человеку данной сферы деятельности. Основным способом обеспечения данного требования является построение системы типовых элементарных блоков, характерных для выбранной сферы деятельности.

Для нотации BPMN такими строительными блоками являются подпроцессы. Любой процесс в компании довольно просто представить в виде основных этапов-подпроцессов. Декомпозиция процесса (разбивка на подпроцессы) позволяет моделировать и вносить изменения в рамках каждого подпроцесса, не изменяя весь основной процесс целиком [5]. При детализации каждого отдельного подпроцесса описываются необходимые условия выполнения: участники, активности, бизнес-правила и т.д.

Располагая полным набором характерных подпроцессов для данной области можно строить любые процессы в понятной бизнес-пользователю нотации. Чем нотация более понятна бизнес-пользователю, тем проще ему использовать данный инструмент и меньше участие программиста [5].

Рассмотрим программные средства построения схем, отслеживания и моделирования процессов. Наиболее популярные программы для моделирования бизнес процессов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Наиболее популярные программы для моделирования бизнес процессов

Наименование	Описание
ARIS Express	Достаточно простой в установке и использовании, так что его могут применять и начинающие пользователи, и студенты вузов. Данный продукт принадлежит к семейству средств моделирования ARIS (ARchitecture of Integrated Information Systems) компании IDS Scheer, локализована и даже обеспечена русскоязычной технической поддержкой. Включает не только инструменты моделирования, но средства разработки системы сбалансированных показателей, оценки и оптимизации стоимости бизнес-процессов, их имитационного моделирования, а также инструменты контроля за выполнением бизнес-процессов.
Business Studio	От отечественного производителя. Есть бесплатная версия. В распоряжение бизнес-аналитика предоставляются наиболее популярные и удобные нотации моделирования: IDEF0, Процедура (Cross-Functional Flowchart), BPMN 2.0, Процесс (Basic Flowchart), EPC (Event-Driven Process Chain).
AllFusion Process Modeler	Занимает одно из лидирующих мест в своём сегменте рынка. Включает три стандартные методологии: IDEF0 (функциональное моделирование), DFD (моделирование потоков данных) и IDEF3 (моделирование потоков работ).
IBM WebSphere Business Modeler	Комплексное средство с удобным пользовательским интерфейсом, предназначенное для моделирования и организации совместной работы как производственного, так и ИТ-персонала. Быстрая и беспрепятственная интеграция функций моделирования, построения рабочих процессов и имитации.
ELMA	Российская разработка. Система управления бизнес-процессами основана на построение модели бизнес-процессов вашей компании с помощью наглядных диаграмм (нотация BPMN), загрузки описаний в компьютерную систему ELMA. Программа позволяет отследить исполнение процессов в реальной практике работы предприятия. Есть бесплатная версия. Помимо управления последовательными задачами есть модуль управления проектами.
Bizagi Process Modeler	Бесплатное программное обеспечение для создания диаграмм процессов и документации в нотации стандарта BPMN.
Bonita Open Solution	Французский вендор. Представительства в РФ, как и у предыдущего решения, нет. Не так давно, по некоторым данным, была переведена только пользовательская часть системы, в целом, российской локализации нет. В opensource-версии системы отсутствуют средства мониторинга процессов. В свою очередь, в коммерческом варианте системы они есть. Решение состоит из трёх основных компонентов, разделенных по назначению: Studio – моделирование и автоматизация бизнес-процессов; Execution Engine – исполнение бизнес-процессов; User Experience – интерфейс для работы пользователя с его процессами
AnyLogic	AnyLogic является лидером в технологиях имитационного моделирования благодаря своей гибкости и отличительной черте – многоподходному моделированию.

Все перечисленные в таблице 1 средства моделирования обладают рядом существенных недостатков:

- OpenSource версии либо отсутствуют, либо функционально ограничены;

– Не отвечают требованиям информационной безопасности, запрещены к использованию в государственных органах как небезопасное иностранное программное обеспечение;

– Существующие программные продукты не адаптированы к какой-либо сферы деятельности. В них нет разработанных структурных элементов характерных для какой-либо предметной области, нет шаблонов, библиотеки артефактов.

По указанным выше причинам, необходима разработка собственной программы имитационного моделирования, основными требованиями к которой являются:

– возможность моделирования бизнес-процессов, описанных с использованием графических диаграмм BPMN и языка BPEL; возможность получения временных и ресурсных оценок процессов. Вывод результатов как в табличном, так и в графическом виде;

– возможность сохранения и последующего открытия формализованных процессов;

– наличие полного набора типовых подпроцессов;

– открытый код программного и возможность дальнейшей доработки программного продукта;

– использование ОС Windows, возможность доработки и переноса на другие ОС.

Таким образом, ОЛВМ, используемый для моделирования структурно-сложных систем, имеет ограниченную область применения. Ее границы определяются возможностью построения логической схемы надежности. В противном случае следует использовать методы имитационного моделирования. Сложившаяся практика бизнес-моделирования предполагает использование специальных языков и нотаций, стандартом де-факто для которых является язык BPMN. Модель бизнес-процесса, построенная на данном языке, может быть рассмотрена как промежуточная между содержательной модели исследуемого бизнес-процесса и ее машинной моделью. Наличие специально разработанной палитры инструментов, включающей типовые подпроцессы, позволяет повысить уровень языка моделирования, уменьшить трудоемкость построения имитационной модели, включить в процесс моделирования специалиста предметной области, уменьшив роль ИТ-специалиста. Это соответствует активно развивающейся в настоящее время парадигме использования самообслуживаемого программного обеспечения. Для выполнения требований к такому программному обеспечению необходимо разработать оригинальную систему имитационного моделирования, которая должна быть адаптирована к моделируемой предметной области.

Список литературы

1. Силич В.А, Силич М.П. Реинжиниринг бизнес-процессов: учебное пособие. – ТУ-СУР. – Томск: 2007, 200 с.
2. Соложенцев Е.Д. Топ-экономика. Управление экономической безопасностью: монография. – Санкт-Петербург: ГУАП, 2015, 259 с
3. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем // СПб, Политехника. – 2000. – 248 с.
4. Фёдоров И. Г. Моделирование бизнес-процессов в нотации BPMN2.0: монография. – М.: МЭСИ. – 2013, 255 с.
5. Сайт компании ELMA: [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.elma-bpm.ru/journal/>. (Дата обращения: 05.03.2017).
6. Соложенцев Е.Д. Топ-экономика. Управление экономической безопасностью социально-экономических систем // Национальная безопасность и стратегическое планирование. – 2015. – №2-1(10). – с. 31-41.