

Интеллектуальные имитационные программные средства для моделирования и анализа нечетких бизнес-процессов¹

Сорокин Евгений Владимирович

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске

Аспирант

Марголин Михаил Сергеевич

Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске

Аспирант

Аннотация

В статье рассмотрены интеллектуальные программные средства для моделирования и анализа нечетких бизнес-процессов, позволяющие автоматически интерпретировать нечеткие бизнес-процессы в нечеткие сети Петри, решающие задачи моделирования и определения характеристик нечетких сетей Петри с дальнейшей интерпретацией таких характеристик относительно моделируемых бизнес-процессов. На основании программных средств получена оценка эффективности нечетких бизнес-процессов в сравнении обычными бизнес-процессами.

Ключевые слова: сеть Петри, бизнес-процесс, интерпретатор диаграмм, моделирование нечетких бизнес-процессов

The intelligent imitation software for modeling and analysis of fuzzy business processes

Sorokin Evgenij Vladimirovich

Smolensk branch of Federal Autonomous Educational Institution of Higher Education Moscow Power Engineering Institute (National Research University)

PhD student

Margolin Mikhail Sergeevich

Smolensk branch of Federal Autonomous Educational Institution of Higher Education Moscow Power Engineering Institute (National Research University)

PhD student

Abstract

The article offers intelligent imitation software for modeling and analysis of fuzzy business processes which allow to interpret the fuzzy business processes in fuzzy Petri networks without user intervention, solve the problems of modeling and

¹ Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Совета по грантам Президента РФ в рамках научного проекта МК-6184.2016.8

determining the characteristics of fuzzy Petri nets with further interpretation of such characteristics relative to the simulated business process. .

On the basis of software, an evaluation of the effectiveness of fuzzy business processes in comparison with conventional business processes was obtained.

Keywords: Petri net, business process, diagram interpreter, modeling of fuzzy business processes

Одним из важнейших этапов процесса разработки программного обеспечения является его проектирование. Задача проектирования является нетривиальной и должна выполняться специалистами, хорошо знакомыми с предметной областью, в рамках которой такое проектирование выполняется с одной стороны и владеющими навыками проектирования программного обеспечения с другой. Настолько универсальные специалисты встречаются довольно редко. Проблема семантического разрыва между возможностью проектирования программного обеспечения специалистами предметной области и способностью проектировщиков программного обеспечения глубоко изучить предметную область идентифицировалась уже неоднократно, в том числе в [1]. Одним из решений такого семантического разрыва является переход к построению программного обеспечения на основе графических моделей [2].

В рамках разработанных имитационных программных средства для моделирования нечетких бизнес-процессов предлагается интерпретировать графические диаграммы введенные или нарисованные пользователем в сети Петри, модели которых позволяют исследовать работоспособность моделируемых систем, оптимальность их структуры, эффективность процесса их функционирования, а также возможность достижения в процессе функционирования определенных состояний.

Сети Петри (СП) и их многочисленные модификации являются одним из классов моделей, неоспоримым достоинством которых является возможность адекватного представления не только структуры сложных организационно-технологических систем и комплексов, но также и логико-временных особенностей процессов и их функционирования, что особенно актуально при моделировании распределенных систем. Сети Петри представляют собой математическую модель для представления структуры и анализа динамики функционирования систем в терминах «условие-событие». Эта модель может быть успешно использована для описания так называемых динамических дискретных систем различных классов, таких как: вычислительные процессы и программы, технологические процессы, информационные, экономические, биологические, социальные и технические системы. Сети Петри и их обобщения являются удобным и мощным средством моделирования асинхронных, параллельных распределительных и недетерминированных процессов, позволяют наглядно представить динамику функционирования систем и составляющих их элементов. Свойство иерархического вложения сетей Петри позволяет рассматривать модели

различной степени детализации, обеспечивая тем самым необходимую декомпозицию сложных систем и процессов [3-5].

Сложная организационно-техническая система, интерпретированная в сети Петри позволяет получить сведения о количестве процессов в системе, наличии взаимоблокировок (преимущественно задача устойчивости переходов, задача достижимости нуля), наличии невыполнимых операций (задачи достижимости маркировок, подмаркировок и задача покрываемости), количестве циклов, которые при определенных ситуациях могут стать причиной заикливания (задачи устойчивости и достижимости нуля) и прочее.

Таким образом, предлагается разработать интеллектуальные имитационные программные средства для моделирования и анализа нечетких бизнес-процессов в основе которых будет лежать механизм анализа и моделирования нечетких сетей Петри. Архитектура такой системы предполагает решение следующих задач:

- 1) интерпретация диаграмм нечетких бизнес-процессов, описывающих систему в сети Петри;
- 2) доработка графического представления нечетких сетей Петри;
- 3) моделирование нечетких бизнес-процессов нечеткими сетями Петри.

Интерпретатор диаграмм в сети Петри

В качестве интерпретируемых в системе диаграмм используются диаграммы в нотации АРИС eEPC. Среди множества видов диаграмм было принято решение интерпретировать бизнес-процессы, так как на сегодняшний день активно развивается методология моделирования бизнес-процессов, использование которых обеспечивает улучшение качества и повышение эффективности работы организаций и моделирование различных процессов. Бизнес-процессы в крупных организациях могут быть охарактеризованы [6]:

1. Значительными масштабами выполнения как географическими, организационными, так и количественными;
2. Неясными, противоречивыми и часто изменяющимися требованиями к их выполнению;
3. Зачастую, незнанием исполнителей бизнес-процессов требований к выполнению как отдельных действий бизнес-процессов, так и бизнес-процессов в целом, и как следствие, применение неверных методов, подходов, способов и инструментов выполнения таких действий.

Приведенные выше особенности позволяют говорить о неуверенности владельца бизнес-процесса в результатах выполнения таких процессов, их качестве и количественном соответствии плану.

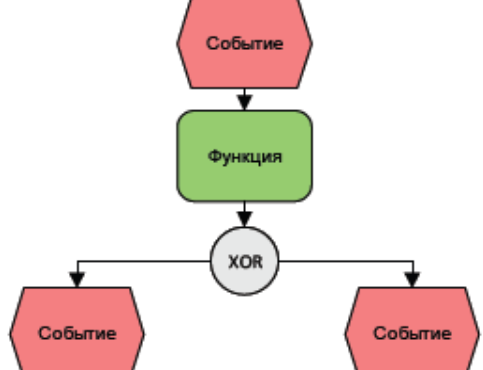
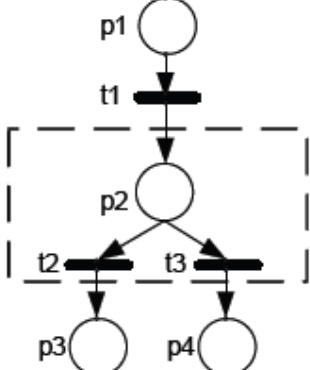
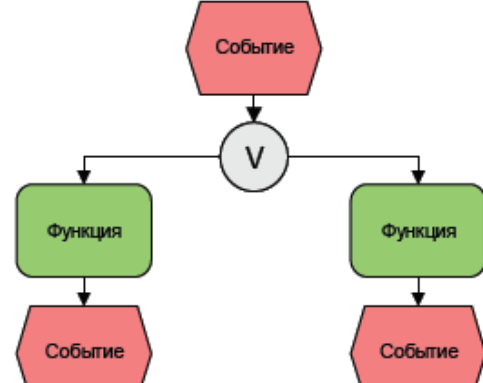
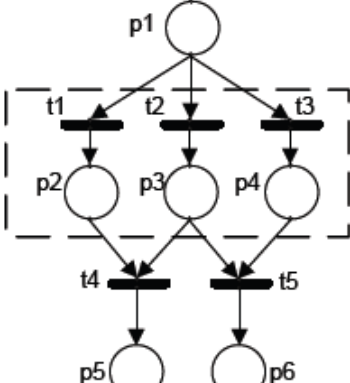
В работе [7] был разработан способ интерпретации бизнес-процессов в сети Петри на основе следующих правил:

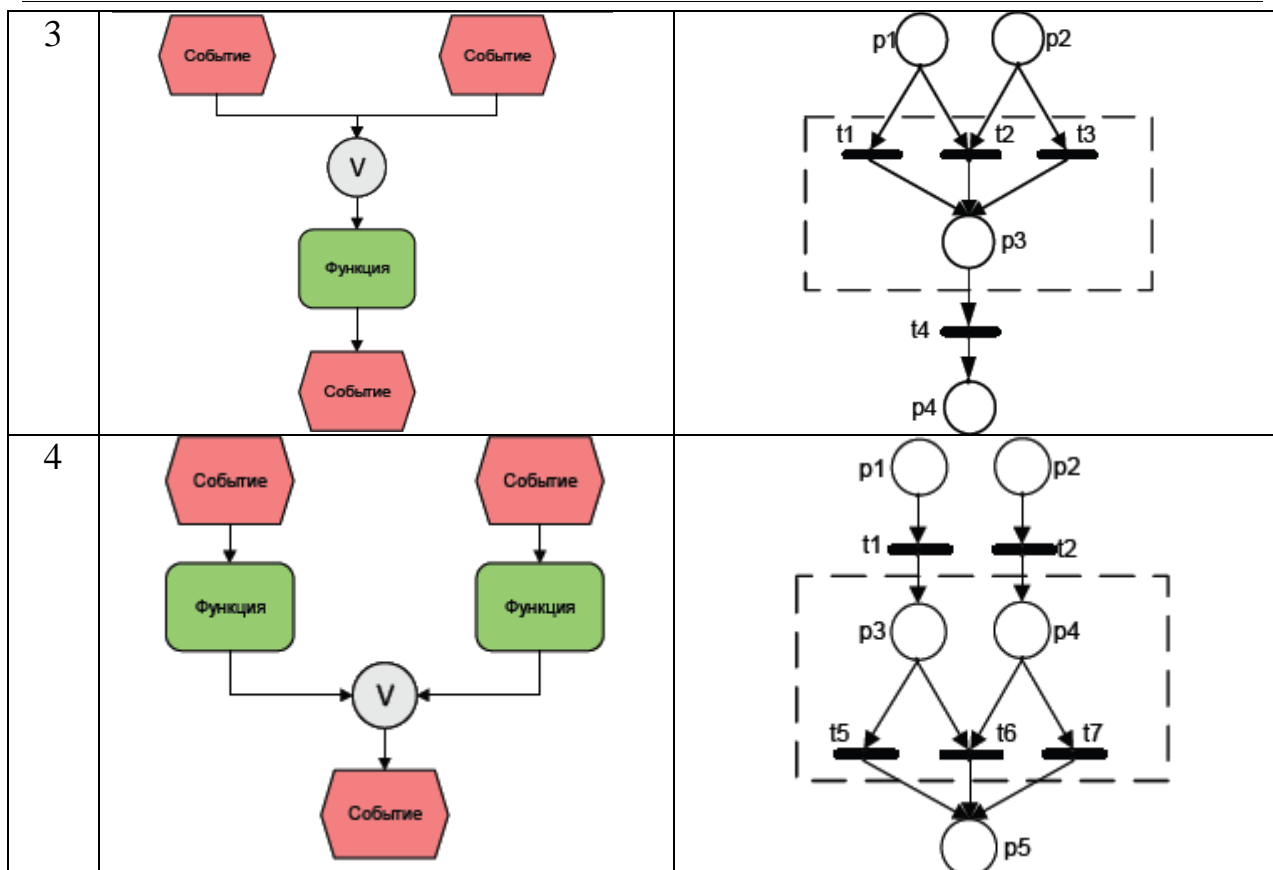
- 1) события бизнес-процесса интерпретируются как позиции сети Петри;

- 2) действия бизнес-процесса интерпретируются как переходы сети Петри;
- 3) логические элементы учитываются в сети Петри путем комбинации позиций и переходов;
- 4) время, затрачиваемое на выполнение действий (функций) учитывается как время, необходимое для выполнения переходов;
- 5) прочие элементы бизнес-процесса также рассматривается как позиции, отражающие наличие/отсутствие элемента (например, наличие и способность выполнить функцию некоторым исполнителем);
- 6) все ненаправленные соединения трактуются как соединения, входящие в функцию.

При замене логических операций используется следующий подход [7], представленный в Таблице 1.

Таблица 1 – Способ замены логических элементов

№ п/п	Вид композиции в нотации ARIS eEPC	Вид аналогичной композиции в виде сети Петри
1		
2		



С точки зрения рядового пользователя проектирование системы необходимо проводить удобным и наглядным способом, а предлагать новый графический редактор стандартных блоков обрабатываемых диаграмм нецелесообразно. Гораздо удобнее воспользоваться классическими средствами формирования схем, к которым относится в первую очередь Microsoft office Visio. Любая модель, созданная в данной оболочке, сохраняется в виде XML документа. XML является расширяемым языком разметки и представляет из себя текстовый формат, предназначенный для хранения структурированных данных. Конструктивные особенности языка XML являются достаточными для представления древовидных образований любой сложности, что особенно актуально при интерпретации бизнес-процессов нечеткими сетями Петри. На рисунке 1 представлен интерфейс интерпретатора диаграмм в сети Петри.

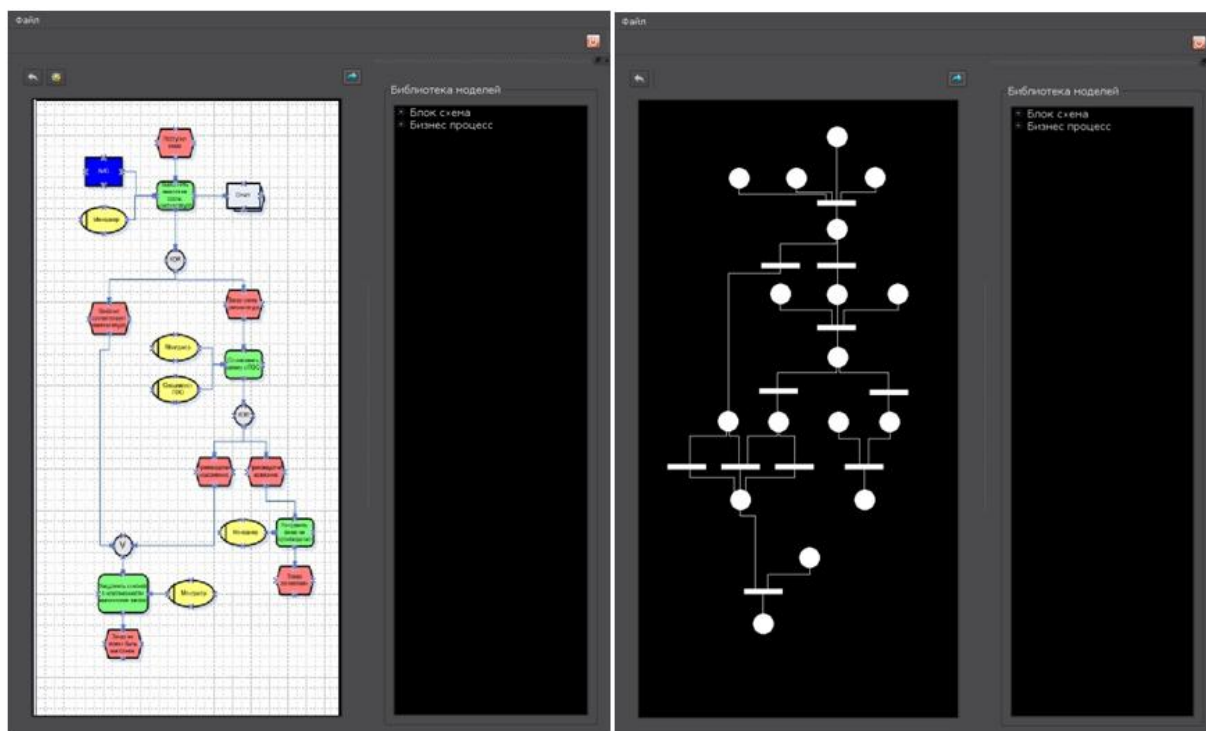


Рисунок 1 - Интерфейс интерпретатора диаграмм в сети Петри

Графический редактор нечетких сетей Петри

Разработка графического редактора нечетких сетей Петри предполагает создание интерактивной среды, в которой пользователь имеет возможность взаимодействия с компонентами модели, изменения положения позиций и переходов сети Петри, просмотр свойств каждого из элементов модели.

Графический редактор обеспечивает наглядное представление происходящих в сетях Петри процессов, а также предварительное моделирование таких сетей.

Интерфейс прототипа графического редактора показан на рисунке 2.

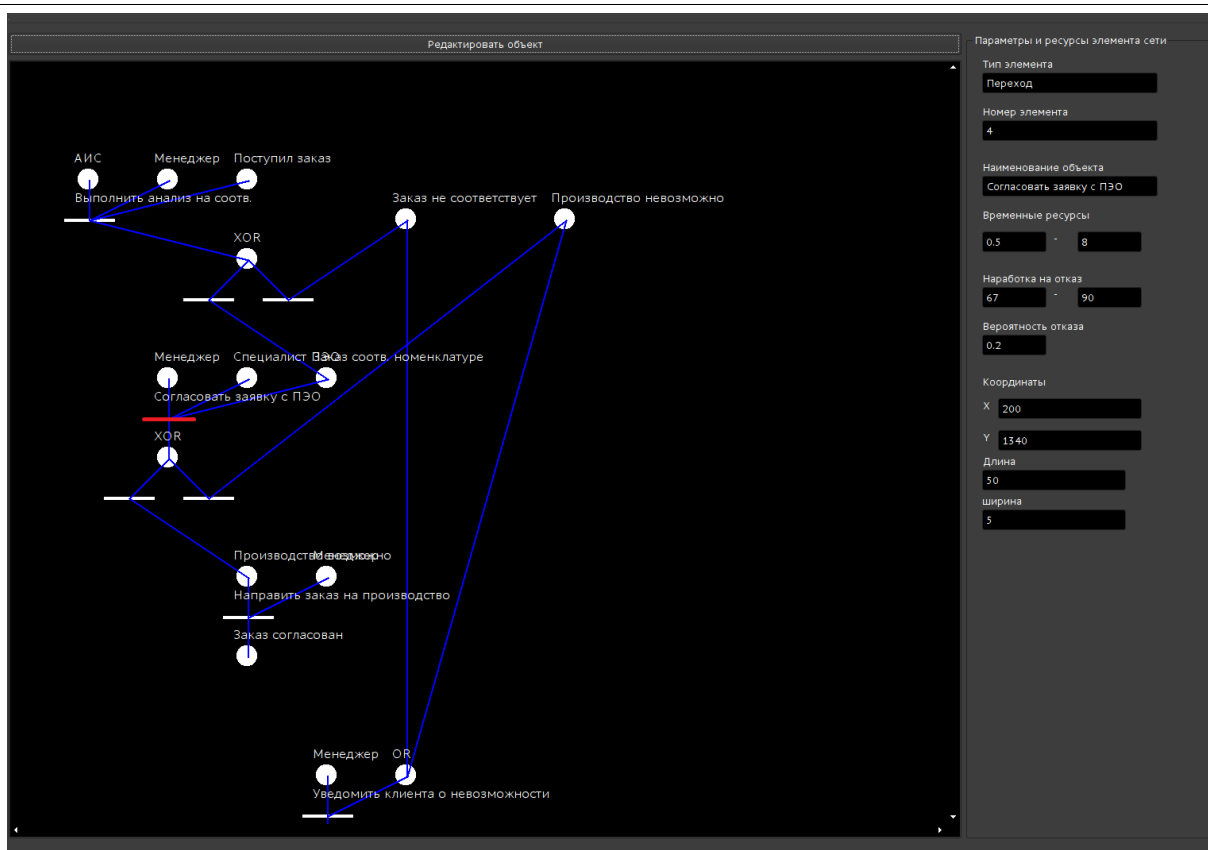


Рисунок 2 – Прототип графического редактора нечетких сетей Петри

Разработка среды моделирования нечетких бизнес-процессов нечеткими сетями Петри

Все достоинства преобразования нечетких бизнес процессов именно к сетям Петри проявляются при моделировании таких сетей. Вопросы моделирования сетей Петри рассмотрены достаточно хорошо. Задача моделирования нечетких бизнес-процессов сетями Петри, фактически, сводится к подбору классических задач сетей Петри для решения прикладных задач моделирования бизнес-процессов и выбору наиболее приемлемого способа их решения.

В [8] описаны свойства сетей Петри, которые позволяют анализировать сконструированные сети и делать необходимые выводы о надежности и работоспособности построенных моделей. В части разработки среды моделирования построенная сеть Петри подвергается множественным прогонам с целью анализа следующих задач:

1. Задача достижимости маркировок: для заданной СП $C = (P, T, I, O, m_0)$ и заданной маркировки m_r установить выполнение условия $m_r \in D(m_0)$.

2. Задача достижимости подмаркировки: для заданной СП $C = (P, T, I, O, m_0)$ и заданной маркировки m_r и подмножества $P' \in P$ определить существует ли достижимая маркировка m_w , компоненты вектора которой с номерами позиций из подмножества P' равны соответствующим компонентам вектора маркировки m_r . Остальные компоненты вектора m_r могут принимать произвольные значения.

3. Задача покрываемости маркировки: для заданной СП $C = (P, T, I, O, m_0)$ и заданной маркировки m_r определить, существует ли достижимая маркировка $m_w \in D(m_0)$, такая что $m_w \geq m_r$.

4. Задача достижимости нуля: для заданной СП $C = (P, T, I, O, m_0)$ определить, достижима ли нулевая маркировка $m = (0, 0, \dots, 0)$ из начальной маркировки m_0 .

5. Задача достижимости нуля в одной позиции: для заданной СП $C = (P, T, I, O, m_0)$ и некоторой фиксированной позиции $p_i \in P$ определить, существует ли достижимая маркировка $m \in D(m_0)$, в которой $m_i = 0$.

6. Задача равенства: для двух СП $C' = (P', T', I', O', m_0')$ и $C'' = (P'', T'', I'', O'', m_0'')$, таких что $P' = P''$, определить, равны ли соответствующие им множества достижимых маркировок $D(m_0') = D(m_0'')$.

7. Задача подмножества: для двух СП $C' = (P', T', I', O', m_0')$ и $C'' = (P'', T'', I'', O'', m_0'')$ определить, является ли одно из множеств достижимых маркировок подмножеством другого.

8. Задача K-ограниченности позиций и СП в целом: для заданной СП $C = (P, T, I, O, m_0)$ и фиксированной позиции $p_i \in P$ определить, существует ли натуральное число K, для которого позиция p_i является K-ограниченной.

9. Задача безопасности позиций и СП в целом: для заданной СП $C = (P, T, I, O, m_0)$ и фиксированной позиции $p_i \in P$ определить, является ли позиция p_i безопасной.

10. Задача устойчивости переходов: для заданной СП $C = (P, T, I, O, m_0)$ и заданного подмножества переходов T' , определить являются ли переходы из подмножества устойчивыми.

11. Задача активности переходов: для заданной СП $C = (P, T, I, O, m_0)$ и заданного подмножества переходов T' определить уровни активности переходов заданного подмножества.

12. Задача сохраняемости СП: для заданной СП $C = (P, T, I, O, m_0)$ определить, является ли она сохраняющей.

13. Задача строгой сохраняемости СП: для заданной СП $C = (P, T, I, O, m_0)$ определить, является ли она строго сохраняющей.

В [9] приведено соответствие этих задач на сетях Петри с задачами анализа НБП.

На рисунке 4 представлена модель НБП, полученная с помощью представленных интеллектуальных имитационных программных средств для моделирования и анализа нечетких бизнес-процессов.

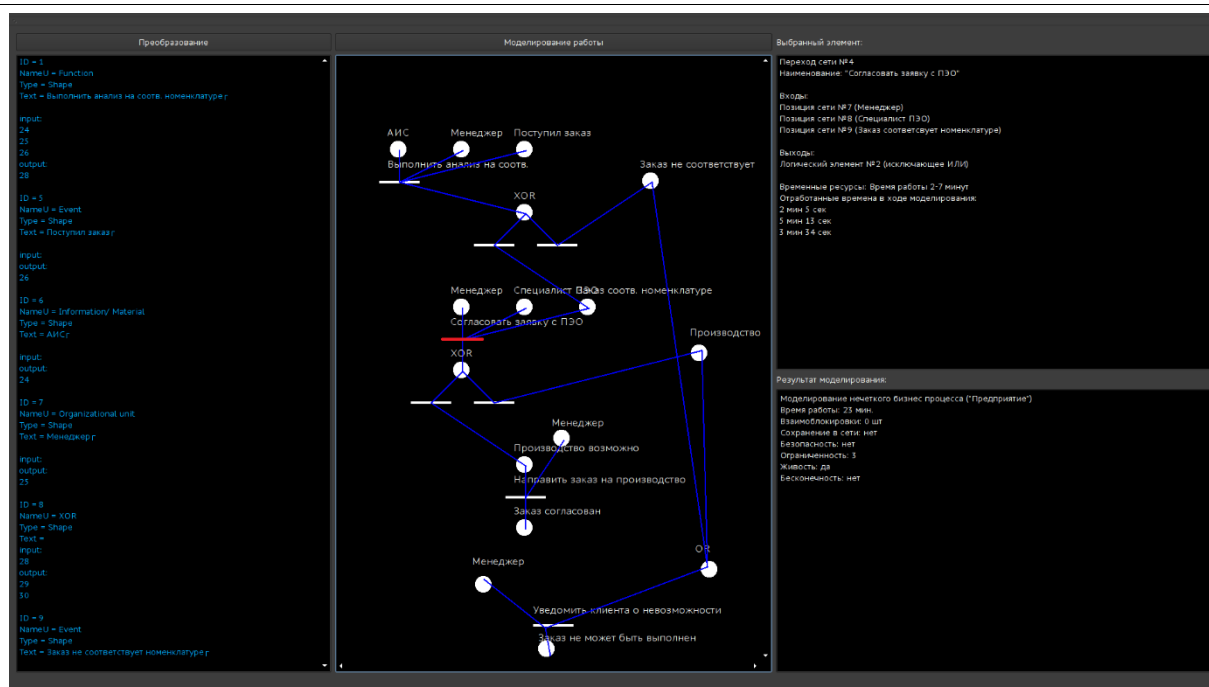


Рисунок 4 – Модель НБП в интеллектуальных имитационных программных средствах для моделирования и анализа нечетких бизнес-процессов

Анализ результатов, полученных с помощью среды моделирования нечетких бизнес-процесс нечеткими сетями Петри позволяет сделать выводы о надежности процессов, присущих системе, их качестве и количестве. Представленные задачи могут быть сгруппированы для оценки конкретных, интересующих пользователя задач.

Оценка эффективности моделирования нечетких бизнес-процессов

Бизнес-процесс (БП) представляет собой конечную совокупность взаимосвязанных, последовательных, регламентированных действий, в которых посредством управляющего воздействия и с помощью ресурсов, входы преобразуются в выходы, представляющие ценность для потребителей.

Функции бизнес-процесса заключаются в следующем:

- позволяет связывать действия в событийные цепочки процессов,
- помогает найти пути решения одной и той же задачи,
- позволяет определить требуемые ресурсы (такие нотации как, например, ARIS eEPC позволяют отразить все необходимые организационные единицы, объект ресурса, различные сущности, материалы и т.п.).

Любой, даже абсолютно незначительный, бизнес-процесс всегда связан с рядом рисков. В случае реализации данных рисков цель бизнес-процесса либо не достигается вовсе, либо достигается частично.

Для учета подобных рисков в [11,12] были предложены нечеткие бизнес-процессы (НБП). Помимо функций обычных бизнес-процессов, нечеткие бизнес-процессы позволяют:

- связывать параметры отдельных элементов бизнес-процессов, которые раньше не связывались;
- природа связываемых параметров может быть произвольной (нечеткой, неточной, неопределенной);
- обеспечивают расчет значений параметров на основании связанных с ними (такими параметрами могут выступать различные характеристики качества или времени);
- предоставляют возможность определения сценариев развития бизнес-процесса на основании характеристик его элементов.

Таким образом, нечеткие бизнес-процессы обладают всеми возможностями обычных бизнес-процессов, а также позволяют работать не только с качественными оценками, но и с количественными, выполненными, в том числе в условиях неопределенности воздействий внешних факторов и системных параметров в рамках которых моделируется бизнес-процесс.

Для оценки эффективности моделирования нечетких бизнес-процессов, определим в качестве показателей эффективности такой оценки степень оптимизации бизнес-процесса и минимизацию рисков при выполнении бизнес-процесса.

Оптимизация бизнес-процесса достигается за счет:

- возможности учета объема количественных данных;
- возможности расчета (вывода) данных с использованием модели;
- повышения оперативности процесса моделирования.

Таким образом, оценка оптимизации бизнес-процесса может быть задана следующими частными показателями:

- объема количественных данных;
- оперативности процесса моделирования.

Оценка данных показателей выполняется с учетом следующих особенностей:

- оценка показателя принимает значения: «низкая», «средняя», «высокая»;
- за базовую оценку частного показателя берется минимальная из оценок показателей, от которых зависит повышение оперативности принятия управленческих решений;
- для оценки данных показателей могут привлекаться эксперты.

Оценка учета объема количественных данных осуществляется на основании сравнения их наличия:

- оценка «Низкая» - в бизнес-процессе есть ресурсы;
- оценка «Средняя» - в бизнес-процессе есть числовые значения;
- оценка «Высокая» - в бизнес-процессе есть нечеткие значения.

Оценка оперативности процесса моделирования определяется на основании правил соотнесения результатов в БП и НБП:

- оценка «Низкая» - в 2 раза и меньше;
- оценка «Средняя» - от 2 до 5 раз;
- оценка «Высокая» - более 5 раз.

Показатель минимизация рисков может быть задан следующими показателями:

- необходимость предотвращения рисков;
- отклик на возможное появление риска;
- наличие лучших практик минимизации (обмен опытом).

Для оценки данного показателя необходимо определить причины минимизации рисков. Как правило, такой причиной является снижение вероятности возникновения риска. Отклик на возможное появление риска необходим в случае, если есть сигналы появления риска. В качестве лучших практик можно принять наиболее эффективные мероприятия по минимизации рисков.

Оценка качества минимизации рисков производится по следующим правилам:

- оценка минимизации рисков «Низкая», если имеется необходимость предотвращения рисков, отсутствует отклик на возможное предотвращение риска, отсутствуют лучшие практики минимизации.
- оценка минимизации рисков «Высокая», если отсутствует необходимость предотвращения рисков, имеется отклик на возможное предотвращение риска, имеются лучшие практики минимизации.

С применением алгоритма нечеткого продукционного вывода Сугэно 0-го порядка, формирование базы правил системы нечеткого вывода осуществляется в виде упорядоченного согласованного списка нечетких продукционных правил, в которых antecedentes ядер правил нечеткой продукции построены из двух простых нечетких высказываний при помощи логических связок «И», w – четкое значение выходной переменной, определенное для каждого заключения i -го правила. На основании этого были заданы соответствующие правила вида: ЕСЛИ «Оценка количественных данных [Оценка]» И «Оценка оперативности [Оценка]» И «Оценка минимизации [Оценка]» ТО «Итоговая оценка эффективности моделирования [Оценка], w ».

Итоговая оценка эффективности моделирования нечетких бизнес-процессов формируется на основе правил, приведенных в таблице 2.

Таблица 2 – Правила формирования итоговой оценки эффективности моделирования

№	Оценка количественных данных	Оценка оперативности	Оценка минимизации	Итоговая оценка эффективности моделирования	W	
1	Низкая	Низкая	Низкая	Низкая	0,15	
2			Средняя	Низкая	0,27	
3			Высокая	Средняя	0,33	
4		Средняя	Средняя	Низкая	Низкая	0,29
5				Средняя	Средняя	0,41
6				Высокая	Средняя	0,54
7		Высокая	Высокая	Низкая	Низкая	0,32
8				Средняя	Средняя	0,42
9				Высокая	Средняя	0,58
10	Средняя	Низкая	Низкая	Низкая	0,28	
11			Средняя	Средняя	0,44	
12			Высокая	Средняя	0,45	
13		Средняя	Средняя	Низкая	Средняя	0,32
14				Средняя	Средняя	0,45
15				Высокая	Средняя	0,49
16		Высокая	Высокая	Низкая	Средняя	0,57
17				Средняя	Высокая	0,63
18				Высокая	Высокая	0,69
19	Высокая	Низкая	Низкая	Низкая	0,49	
20			Средняя	Средняя	0,52	
21			Высокая	Средняя	0,58	
22		Средняя	Средняя	Низкая	Средняя	0,59
23				Средняя	Средняя	0,68
24				Высокая	Высокая	0,71
25		Высокая	Высокая	Низкая	Средняя	0,62
26				Средняя	Высокая	0,79
27				Высокая	Высокая	0,9

В рамках данного исследования экспериментально было определено, что моделированию БП соответствуют следующие оценки:

- Оценка количественных данных – Средняя;
- Оценка оперативности – Низкая;
- Оценка минимизации – Средняя;
- Итоговая оценка эффективности моделирования – Средняя, $W=0.44$.

Аналогично моделированию НБП соответствуют следующие оценки:

- Оценка количественных данных – Высокая;
- Оценка оперативности – Низкая;
- Оценка минимизации – Высокая;
- Итоговая оценка эффективности моделирования – Средняя, $W=0.58$.

Далее проводится сравнение оценок эффективности двух моделей НБП и БП. Она выполняется на основании сравнения Итоговой оценки эффективности моделирования БП с аналогичным показателем для НБП по формуле вида:

$$W_{\text{НБП}} / W_{\text{БП}} - 1 = \text{Eff} , \quad (1)$$

где Eff - показатель эффективности моделирования.

Таким образом, подставив полученные итоговые оценки эффективности моделирования в (1), получим, что НБП на 31,8% эффективнее в сравнении с БП.

Представленные интеллектуальные имитационные программные средства для моделирования и анализа нечетких бизнес-процессов позволяют, во-первых, сместить вектор ответственности при моделировании сложных систем с проектировщика таких систем моделирования (или разработчика) на специалиста предметной области, во-вторых, позволяют автоматически без участия пользователя интерпретировать нечеткие бизнес-процессы в нечеткие сети Петри, в-третьих, решить задачи моделирования и определения характеристик нечетких сетей Петри с дальнейшей интерпретацией таких характеристик относительно моделируемого бизнес-процесса. С использованием предложенных интеллектуальных имитационных программных средств была получена оценка эффективности нечетких бизнес-процессов.

Библиографический список

1. Борисов В.В. и др. Компьютерная поддержка сложных организационно-технических систем. М.: Горячая линия-Телеком., 2002. 155 с.
2. Сеньков А.В., Забурдаев А.Г. Способ и средства визуального конструирования автоматизированных информационных систем // Математическая морфология. Электронный математический и медико-биологический журнал. Т.9. №4. 2010. URL: <http://www.smolensk.ru/user/sgma/MMORPH/N-28-html/TITL-28.htm>
3. Котов В.Е. Сети Петри. М.:Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1984. 160с.
4. Рудаков И.В., Пащенко А.В. Программный комплекс верификации алгоритмов программного обеспечения с помощью иерархических сетей Петри. СГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва 105005, Россия. 10с.
5. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования: учеб. для вузов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 306 с.
6. Сеньков А.В. Управление рисками в нечетких бизнес-процессах // Постулат. 2016. № 12 (14). С. 28.
7. Сеньков А.В., Марголин М.С., Сорокин Е.В. Способ интерпретации бизнес-процессов в нечеткие временные сети Петри // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. 2016. № 7. С. 34-38.
8. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.

9. Сеньков А.В., Марголин М.С. Подход к идентификации рисков бизнес-процессов в нотации ARIS eEPC на основе высокоуровневых нечетких сетей Петри // Пятнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2016. Труды конференции. В 3-х томах. Т 1. Смоленск: Универсум, 2016. С. 265-273.
10. Thomas O., Dollmann T., Loos P. Rules Integration in Business Process Models. A Fuzzy Oriented Approach. // Enterprise Modelling and Information Systems Architectures. 2008. №2.
11. Senkov A., Borisov V., Risk assessment in fuzzy business processes based on High Level Fuzzy Petri net // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Т. 11, № 16. С. 9052-9057.