

УДК 004.94

## МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МЕЖДУ СУБЪЕКТАМИ И ОБЪЕКТАМИ РЕГИОНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

**Федулов А.С., Сеньков А.В., Борисов В.В.**

*Филиал ФГБОУ ВО НИУ «Московский энергетический институт»,  
Смоленск, e-mail: fedulov\_a@mail.ru, a.v.senkov@mail.ru, vbor67@mail.ru*

В статье предложен метод исследования процессов взаимодействия между субъектами и объектами регионального управления. Метод основывается на использовании аппарата нечетких бизнес-процессов. Предложена процедура построения альбома нечетких бизнес-процессов взаимодействия между субъектами и объектами регионального управления, в результате выполнения которой осуществляется построение гиперсети Петри. Также предложены варианты процедуры обучения полученной высокоуровневой нечеткой гиперсети Петри, процедура моделирования взаимодействия между субъектами и объектами регионального управления, заключающаяся в последовательном решении классических задач сетей Петри для полученной гиперсети и включающая процедуру анализа коллективного поведения в рамках совместной конкуренции за ресурсы. Приведены примеры использования классических задач сетей Петри при анализе коллективного поведения субъектов регионального управления в условиях конкуренции за ресурсы.

**Ключевые слова:** нечеткий бизнес-процесс, региональное управление, моделирование поведения в условиях конкуренции за ресурсы

## RESEARCH TECHNIQUE OF PROCESSES OF INTERACTION BETWEEN SUBJECTS AND OBJECTS OF REGIONAL MANAGEMENT BASED ON FUZZY BUSINESS PROCESSES

**Fedulov A.S., Senkov A.V., Borisov V.V.**

*Smolensk branch of Federal Autonomous Educational Institution of Higher Education Moscow Power  
Engineering Institute (National Research University), Smolensk,  
e-mail: fedulov\_a@mail.ru, a.v.senkov@mail.ru, vbor67@mail.ru*

In the paper the research technique of processes of interaction between subjects and objects of regional management is offered. The method is based on use of the device of indistinct business processes. The procedure of creation of an album of indistinct business processes of interaction between subjects and objects of regional management is offered. As a result of implementation of the procedure creation of a Petri hypernet is carried out. The version of the procedure of training of the received high-level indistinct Petri hypernet is also offered. The procedure of model operation of interaction between subjects and objects of regional government is offered. The procedure consists in the serial solution of classical problems of Petri nets for the received hypernet. The procedure includes approach to the analysis of collective interaction within the collateral competition for a resources. Examples of classical problems of the Petri nets in the analysis of collective behavior of constituent entities of regional administration in the face of competition for resources are given.

**Keywords:** fuzzy business-process, regional management, behavior modeling in the conditions of the competitions for resources

В настоящее время как в России, так и за рубежом активно ведутся исследования в области создания моделей и методов анализа сложных слабо формализуемых систем и процессов, в том числе организационно-технических и социально-экономических систем различного уровня, характеризующихся сложными взаимосвязями, взаимодействиями и поведением между субъектами, объектами управления и внешней средой.

Одновременно с развитием информационных технологий сбора, накопления, обобщения, анализа, подготовки и передачи информации всё более актуальными становятся вопросы совершенствования взаимодействия отдельных участников процессов такого взаимодействия. Особенно актуаль-

на указанная проблема в условиях многократного роста количества региональных электронных ресурсов, служащих для налаживания взаимодействия между субъектами и объектами регионального управления.

Информационные ресурсы региона содержат комплексную многоаспектную информацию о субъектах, о природных ресурсах и имущественном фонде, о земельных ресурсах и региональной инфраструктуре, о социально-экономическом состоянии и т.д.

При этом зачастую нагрузка на такие ресурсы является достаточно высокой, что замедляет выполнение отдельных функций как субъектами, так и объектами управления. Таким образом, актуальной является проблема исследования процессов взаимодействия между субъектами и объектами

регионального управления, в особенности, в условиях конкуренции за ресурсы.

Формально, отражением взаимодействия субъектов и объектов регионального управления являются бизнес-процессы, протекающие как с одной, так и с другой стороны.

### Понятие нечеткого бизнес-процесса

Основными элементами бизнес-процессов [4] являются:

–  $F = \{f_1 \dots f_h\}$  – множество функций ARIS eEPC, где  $h$  – количество функций в бизнес-процессе;

–  $E = \{e_1 \dots e_r\}$  – множество событий ARIS eEPC, где  $r$  – количество событий в бизнес-процессе;

–  $P = \{p_1 \dots p_c\}$  – множество организационных единиц ARIS eEPC, где  $c$  – количество организационных единиц в бизнес-процессе;

–  $D = \{d_1 \dots d_v\}$  – множество документов ARIS eEPC, где  $v$  – количество документов в бизнес-процессе;

–  $S = \{s_1 \dots s_z\}$  – множество прикладных систем ARIS eEPC, где  $z$  – количество прикладных систем в бизнес-процессе;

–  $K = \{k_1 \dots k_y\}$  –  $k$  множество кластеров информации ARIS eEPC, где  $y$  – количество кластеров информации в бизнес-процессе.

Совместно множества  $P, D, S, K$  называют ресурсами бизнес-процесса, которые обозначают множеством  $R$  – ресурсов бизнес-процесса.

При этом именно через организационные единицы  $P$  происходит учет субъектов и объектов регионального управления. Отметим, что субъекты и объекты регионального управления одновременно являются и участниками бизнес-процесса и его ресурсами, поскольку выполнение отдельных действий без указанных организационных единиц не представляется возможным.

Таким образом, модель бизнес-процесса, представленного в нотации ARIS eEPC, является 3-дольным графом. Для установления связей между элементами вводятся следующие матрицы переходов:

–  $EF$  – матрица размерности  $r \times h$ , отражающая связи между событиями и вызываемыми ими функциями;

–  $FE$  – матрица размерности  $h \times r$ , отражающая связи между функциями и порождаемыми ими событиями;

–  $RF$  – матрица размерности  $(c + v + z + y) \times h$ , отражающая связи ресурсов с функцией, в которую они передаются;

–  $FR$  – матрица размерности  $h \times (c + v + z + y)$ , отражающая связи функции с порождаемыми ей ресурсами.

Таким образом, бизнес-процесс представляется в виде кортежа:

$$BP = \langle F, E, P, D, S, K, EF, FE, RF, FR \rangle.$$

Способ интерпретации выраженного таким образом бизнес-процесса в сеть Петри частично был представлен в работе [7] и расширен в работе [5].

Интерпретированный в сеть Петри бизнес-процесс может быть использован для моделирования и анализа взаимодействия субъектов и объектов регионального управления. Однако представленного формализма недостаточно для получения количественных характеристик такого моделирования. Так, не учитываются временные характеристики отдельных действий, доступность и достаточность ресурсов, а также сопутствующие указанным параметрам неточность и неопределенность.

### Введение нечеткости в сеть Петри

Как уже было отмечено выше, полученная сеть Петри не позволяет учитывать влияния отдельных атрибутов ресурсов процесса на его результаты. В соответствии с предложенной в [10] трактовкой нечетких бизнес-процессов, все факторы, способные повлиять на ход или результат бизнес-процесса, учитываются в качестве атрибутов элементов бизнес-процесса. Для расширения возможностей полученной сети Петри по работе с значениями атрибутов, выраженных, например, лингвистическими оценками или некоторыми нечеткими значениями, дополним сеть Петри до высокоуровневых нечетких сетей Петри (HLFPN, ВНСП), предложенных в [9].

В состав данной сети входят:

1) двудольный ориентированный граф вида  $HLFPN = \langle P, T, F \rangle$ , где  $P$  и  $T$  – два непересекающихся множества вершин ( $P \cap T = \emptyset$ ), называемых позициями и переходами соответственно, а  $F$  – множество направленных дуг, каждая из которых соединяет позицию  $p \in P$  с переходом  $t \in T$ . Позиции соответствуют переменным, переходы представляют оценку новых нечетких подмножеств;

2) маркированные дуги с кортежами переменных, длина каждого кортежа является арностью базового набора переменной, связанной с дугой;

3) структура, расположенная в переходах  $T$ , реализует нечеткий продукционный вывод.

Определим  $V$  как лингвистическую переменную множества  $X$ . Маркер  $A$  – нечеткое число (значение) или функция принадлежности, определяющая множество  $T(V)$ .

Для каждого перехода  $t \in T$  может быть задано множество входных  $I(t) = \{p \in P \mid \langle p, t \rangle \in F\}$  и выходных позиций  $O(t) = \{p \in P \mid \langle t, p \rangle \in F\}$ . Аналогичные множества могут быть заданы и для каждой позиции  $p \in P$ . Переход  $t \in T$  активен, когда каждая позиция  $p \in I(t)$  содержит маркер с меткой  $\langle p, t \rangle$ . При срабатывании перехода  $t \in T$  маркеры с меткой  $\langle p, t \rangle$  удаляются из каждого входа и для каждого выхода добавляется маркер  $\langle t, p' \rangle$ . Переход может моделировать нечеткий продукционный вывод или конъюнкцию antecedентов, что определяет значения маркеров выходных позиций.

Таким образом, между формальным описанием бизнес-процесса в нотации *ARIS eEPC* и *HLFPN* устанавливается следующее соответствие [8]:

– множество функций  $F$  соответствует множеству переходов  $T$  *HLFPN* –  $F \leftrightarrow T$ ;

– множество атрибутов событий и ресурсов *ARIS eEPC*  $E, P, D, S, K$  ставится в соответствие множеству позиций  $P$  *HLFPN* –  $E \cup P \cup D \cup S \cup K \cup P$ ;

– множества переходов *ARIS eEPC*  $EF, FE, RF, FR$  ставятся в соответствие с набором направленных дуг  $F$  *HLFPN*  $EF \cup FE \cup RF \cup FR \leftrightarrow F$ .

### Построение альбома нечетких бизнес-процессов взаимодействия

Для целей исследования процессов взаимодействия субъектов и объектов регионального управления должен быть построен альбом нечетких бизнес-процессов, отражающий указанные взаимодействия. Альбом строится на основании следующих данных:

– утвержденных регламентах оказания государственных услуг;

– предложенной в рамках [6] карты процессов взаимодействия между субъектами и объектами регионального управления;

– технических заданий и технических проектов на информационные системы различного типа, участвующие в процессах взаимодействия между субъектами и объектами регионального управления;

– результатах экспертных опросов субъектов и объектов регионального управления, участвующих во взаимодействии.

Построение альбома бизнес-процессов взаимодействия осуществляется в соответствии со следующими этапами:

1. На основании регламентов оказания государственных услуг осуществляется построение диаграмм бизнес-процессов взаимодействия субъектов с объектами регионального управления.

2. На основании экспертных опросов представителей субъектов и объектов регионального управления осуществляется дополнение построенных на этапе 1 бизнес-процессов, а также построение бизнес-процессов, отражающих взаимодействие субъектов регионального управления между собой, а также взаимодействие объектов регионального управления между собой.

3. Построенные диаграммы бизнес-процессов проходят проверку на соответствие карте процессов взаимодействия между субъектами и объектами регионального управления (при её наличии).

4. Осуществляется консолидация ресурсов бизнес-процессов, т.е. сопоставление физически одних и тех же ресурсов бизнес-процессов, отраженных в разных процессах. Так, например, необходимо консолидировать роль субъекта управления, если он участвует в нескольких бизнес-процессах одновременно. В дальнейшем, результаты консолидации потребуются для построения комплекта сетей Петри.

5. Осуществляется трансляция полученных диаграмм бизнес-процессов в сети Петри, на основании предложенных в [5] правил.

6. Проводится консолидация ресурсов бизнес-процессов в сетях Петри путём построения единой гиперсети, называемой в дальнейшем альбомом нечетких бизнес-процессов взаимодействия.

7. На основании данных о реальных текущих и ретроспективных взаимодействиях осуществляется обучение гиперсети ВНСП, представленной в альбоме.

Полученный таким образом альбом нечетких бизнес-процессов взаимодействия используется для моделирования взаимодействия между субъектами и объектами регионального управления.

Перед моделированием осуществляется наполнение гиперсети ВНСП знаниями в соответствии со следующими шагами.

Шаг 1. Проводится извлечение информации об обстоятельствах протекания бизнес-процессов (атрибутах ресурсов бизнес-процессов) и их результатах (атрибутах выходных ресурсов каждой функции) из экспертов и/или баз данных. Эта выборка

станет обучающей выборкой для каскада продукционных моделей, представленных HLFPN.

Шаг 2. Для всех атрибутов всех ресурсов с привлечением экспертов формируются функции принадлежности (membership functions).

Шаг 3. Набор нечетких продукционных правил образуется путем полного комбинаторного перебора всех возможных комбинаций всех термов всех атрибутов всех ресурсов, поступающих на вход перехода.

Следует учитывать, что ряд атрибутов ресурсов может одновременно являться и входными и выходными для нечеткой продукционной модели.

Шаг 4. Проводится обучение каждой отдельной нечеткой продукционной модели.

Рассмотрим обучение на примере продукционной модели Сугэно 0-го порядка, в которой консеквент каждого из нечетких продукционных правил является константой. Такая модель может быть достаточно

быстро обучена на нескольких примерах с использованием метода генетического алгоритма, как показано, например в [2], или с использованием градиентного метода [1].

### Моделирование взаимодействия между субъектами и объектами регионального управления

Моделирование взаимодействия между субъектами и объектами регионального управления осуществляется на основе разработанной гиперсети ВНСП в соответствии с правилами моделирования сетей ВНСП.

В результате такого моделирования может быть решена задача анализа коллективного поведения в рамках совместной конкуренции за ресурсы. Анализ коллективного поведения может осуществляться с использованием классических алгоритмов анализа сетей Петри, широко представленных, например, в [3]. Проведение анализа коллективного поведения в условиях конкуренции за ресурсы позволяет ответить на ряд

Применимость классических для сетей Петри задач для анализа коллективного поведения

№ п/п	Задача сетей Петри	Применимость задач для анализа коллективного поведения субъектов и объектов регионального управления
1	Задача достижимости маркировки (подмаркировки)	Позволяет определить, может ли быть выполнен бизнес-процесс при заданных входных ресурсах
2	Задача покрываемости маркировки	Может ли в бизнес-процессе быть получен какой-либо дополнительный результат при заданных исходных ресурсах
3	Задача достижимости нуля	Решение задачи достижимости нуля в позициях ресурсов позволяет выявить ситуации, при которых заданных изначально ресурсов недостаточно для выполнения всех поставленных задач
4	Задача достижимости нуля в одной позиции	
5	Задача равенства	Задача равенства может быть использована при получении различных описаний бизнес-процессов из различных источников для оценки эквивалентности полученных описаний
6	Задача $k$ -ограниченности позиций и сети Петри в целом	При моделировании бизнес-процессов, задача $k$ -ограниченности позволит выявить ресурсы (в смысле результатов выполнения бизнес-процессов), которые могут наполняться неограниченно, что ведет, например, к перегрузке отдельных субъектов или объектов регионального управления
7	Задача безопасности позиций и СП в целом	Позволяет определить, работает ли каждый участник регионального управления только с одним набором данных или обрабатывает несколько (риск спутывания ресурсов в бизнес-процессе)
8	Задача устойчивости переходов	Позволяет выявить функции бизнес-процесса, для которых существует риск невыполнения при изменении внешних условий
9	Задача активности переходов	Переходы с активностью 0 идентифицируют риск невыполнения соответствующих функций, которые можно изъять из процесса, или ради которых стоит пересмотреть выполнение процесса (для того, чтобы функции выполнялись). Переходы с активностью 4 – идентифицируют функции, которые будут выполнены при любых условиях (идентификация риска выполнения увеличения трудозатрат на второстепенные функции). Идентификация потенциально мертвых переходов позволяет выявить те функции бизнес-процесса, которые несут риск невыполнения. Поиск тупиковой маркировки позволяет идентифицировать риск неоконченности бизнес-процесса.

вопросов, относящихся как к системе в целом, так и к отдельным её элементам (включая субъекты и объекты регионального управления). Применимость классических для сетей Петри задач для анализа коллективного поведения представлена в таблице.

### Заключение

Предложенный метод исследования процессов взаимодействия субъектов и объектов регионального управления характеризуется следующими отличиями:

1) основан на процедурах моделирования нечетких бизнес-процессов с использованием высокоуровневой нечеткой гиперсети Петри;

2) ввиду наличия готовых регламентов оказания государственных услуг может быть применен без значительных трудозатрат на получение новых сведений;

3) обеспечивает применение широких возможностей по анализу сетей Петри для решения задач исследования процессов взаимодействия субъектов и объектов регионального управления;

4) включает процедуру анализа коллективного поведения субъектов и объектов регионального управления, в том числе, в условиях конкуренции за ресурсы.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-41-03259-р\_центр\_а.*

### Список литературы

1. Букачев Д.С. Градиентный способ коррекции параметров производственной модели Такаги-Сугэно // Междуна-

родный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2016. – Т. 1, № 1. – С. 11–15.

2. Зернов М.И., Сак-Саковский В.И., Сеньков А.В., Букачев Д.С. Генетический алгоритм обучения системы нечеткого вывода // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. – 2016. – № 7. – С. 57–60.

3. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003.

4. Сеньков А.В. Вариант построения модели риск-ситуаций для управления рисками в сложных организационно-технических системах на основе бизнес-процессов // Энергетика, информатика, инновации – 2015: сборник трудов V Международной научно-технической конференции: в 2 томах / Национальный исследовательский университет «МЭИ» (Московский энергетический институт), филиал в г. Смоленске. – 2015.

5. 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 томах. Т. 1. – Смоленск: Универсум, 2016. – С. 265–273.

6. Федулов А.С., Борисов В.В., Сеньков А.В. Карта процессов взаимодействия между субъектами и объектами регионального управления // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. – 2016. – Т. 1, № 1. – С. 35–40.

7. Шеер А.-В. ARIS – моделирование бизнес-процессов. – М.: Вильямс, 2009.

8. Senkov A., Borisov V. Risk assessment in fuzzy business processes based on High Level Fuzzy Petri net // International Journal of Applied Engineering Research. – 2016. – Vol. 11, № 16. – P. 9052–9057.

9. H. Scarpelli, F. Gomide, Fuzzy Reasoning and High Level Fuzzy Petri Nets, in: Proc EUFIT93, European Congress on Fuzzy and Intelligent Technologies. – Aachen, Germany, September 7-10, 1993. – P. 600–605.

10. Thomas O., Dollmann T., Loos P. Rules Integration in Business Process Models. A Fuzzy Oriented Approach // Enterprize Modelling and Information Systems Architectures. – 2008. – № 2.