

УДК 519.7

DOI: [10.26102/2310-6018/2023.43.4.009](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.43.4.009)

## Разработка имитационных моделей бизнес-процессов на основе методологии IDEF0 с применением теории сетей Петри

Д.А. Петросов 

*Финансовый университет при Правительстве РФ, Москва, Российская Федерация*

**Резюме.** Актуальность представленного исследования продиктована требованиями к современным инструментальным средствам автоматизации процесса разработки моделей бизнес-процессов. Современные средства проектирования обладают большим функционалом и поддержкой различных методологий, что позволяет разрабатывать модели в различных предметных областях. Одним из недостатков такого рода систем является отсутствие средств представления имитационных моделей на основе полученных в процессе разработки графических моделей. Таким образом, можно говорить об актуальности разработки новых методов и подходов, которые позволят выполнять построение имитационных моделей одновременно с процессом разработки графического представления бизнес-процесса на основе современных методологий. Предложенный в данном исследовании подход направлен на помощь разработчикам CASE приложений и позволяет автоматизировать процесс создания имитационных моделей бизнес-процессов с применением теории сетей Петри. В качестве основной методологии моделирования функциональных особенностей бизнес-процессов использована методология семейства IDEF – IDEF0. При разработке предложенного подхода учитывались ограничения, которые приняты в основе методологии IDEF0. В качестве такого рода ограничений рассмотрены: правила создания контекстной диаграммы, правила декомпозиции, применение всех возможных стрелок в данной методологии. Представленный в исследовании подход позволяет выполнять построение имитационных моделей бизнес-процессов на основе методологии IDEF0 параллельно с процессом их разработки при интеграции соответствующей программной разработки в CASE средство.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, бизнес-процессы, системный анализ, теория сетей Петри, CASE средства, семейство методологий IDEF, методология IDEF0.

**Благодарности:** работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 23-31-00127.

**Для цитирования:** Петросов Д.А. Разработка имитационных моделей бизнес-процессов на основе методологии IDEF0 с применением теории сетей Петри. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2023;11(4). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1444> DOI: 10.26102/2310-6018/2023.43.4.009

## Development of business process simulation models based on the IDEF0 methodology using Petri net theory

D.A. Petrosov 

*Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, the Russian Federation*

**Abstract.** The relevance of the research is due to the requirements for modern tools for automating the process of developing business process models. Modern design tools have greater functionality and support various methodologies which makes it possible to develop models in various subject areas. One of the disadvantages of this type of system is the absence of means for presenting simulation models based on the graphical models obtained during development. Owing to this, we can talk about the

relevance of developing new methods and approaches that will enable simultaneous construction of simulation models and development of the graphical representation of a business process based on modern methodologies. The approach proposed in this study is aimed at helping developers of CASE applications. Additionally, it facilitates the automation of creating business process simulation models using the theory of Petri nets. The methodology of the IDEF family – IDEF0 – was used as the main methodology for modeling the functional features of business processes. When developing the proposed approach, the limitations adopted in the IDEF0 methodology were accounted for. The following restrictions were considered: rules for creating a context diagram, decomposition rules, and the use of all possible arrows in this methodology. The approach presented in the study allows for the construction of business process simulation models based on the IDEF0 methodology in parallel with their development when integrating the corresponding software design into the CASE tool.

**Keywords:** mathematical modeling, business processes, system analysis, Petri net theory, CASE tools, IDEF family of methodologies, IDEF0 methodology.

**Acknowledgements:** the research was funded by the Russian Science Foundation, Grant No. 23-31-00127.

**For citation:** Petrosov D.A. Development of business process simulation models based on the IDEF0 methodology using Petri net theory. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2023;11(4). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1444> DOI: 10.26102/2310-6018/2023.43.4.009 (In Russ.).

## Введение

Современные CASE инструментальные средства, направленные на разработку моделей бизнес-процессов, используются во многих предметных областях. Особенно часто возникает задача описания предметной области в задачах разработки программных средств, инжиниринга и реинжиниринга производства, а также в задачах аналитики бизнеса.

Большинство инструментальных средств моделирования бизнес-процессов поддерживают широкий спектр методологий, к которым можно отнести классические подходы на основе методологий IDEF, BPMN, ARIS, UML и т. д., получившие программную реализацию как в специализированных программных продуктах, так и в графических редакторах. В настоящее время для решения задачи построения имитационных моделей бизнес-процессов приходится использовать специализированные среды разработки, такие как MATLAB+ Simulink, AnyLogic, ARENA, EXTEND, GPSS WORLD, тем самым выполняя дублирование работ. [1] Стоит отметить, что набирают популярность новые методы, такие как «Узел-Функция-Объект», разработанная отечественными учеными и реализованная в специализированном программном средстве UFO-Toolkit. Большинство программных средств, разработанных для решения задач моделирования бизнес-процессов, не обеспечивают пользователя средствами имитационного моделирования, которые позволили бы пользователю реализовать не только графическое представление бизнес-процесса с применением выбранной методологии, но и выполнить ряд вычислительных экспериментов, которые дадут более детальное представление при анализе модели. Особенно часто требуется такого рода инструмент при построении функциональных, технологических моделей процессов и определении потоков данных. Применение синергии известной методологии и средства имитационного моделирования может стать мощным инструментом в руках аналитика [2-6].

В данном исследовании предлагается рассмотреть возможность применения теории сетей Петри при построении функциональных моделей с применением методологии IDEF0, которая получила широкое распространение в различных

специализированных программных средствах и пользуется популярностью среди аналитиков.

### Материалы и методы

Выбранная в исследовании методология IDEF0 моделирования функциональных особенностей процессов получила широкое распространение, что было достигнуто благодаря простоте создания графических моделей, чтения моделей и возможностям аналитики. Данный подход к моделированию имеет ряд правил, которые требуется соблюдать при моделировании функциональных особенностей бизнес-процессов и следует учесть при разработке методов и подходов, позволяющих реализовать применение теории сетей Петри для создания имитационных моделей, описывающих разработанные модели.

Рассмотрим требования, которые должны быть соблюдены аналитиком при создании функциональных моделей с применением методологии IDEF0.

1. Моделирование начинается с создания контекстной диаграммы (диаграммы верхнего уровня).

2. Название процессов должно начинаться с глагола, так как процесс является действием.

3. Каждый процесс должен иметь: вход, выход, управление и механизмы реализации.

4. При декомпозиции процесс может быть разложен на не менее, чем два и не более, чем восемь подпроцессов.

5. Количество вложенности моделей не может превышать четырех уровней.

Кроме представленных требований следует отметить широкий спектр стрелок, которые используются при моделировании:

1) Input – вход, поступающий в модель процесса из внешней среды;

2) Output – выход, результат деятельности процесса, передаваемый во внешнюю среду;

3) Control – сигнал управления с помощью которого происходит управление процессом;

4) Mechanism – инструментальные средства с помощью которых происходит выполнение процесса;

5) Output-Input – стрелка, которая соединяет два и более подпроцесса в рамках модели декомпозиции по выходу и входу;

6) Output-Control – стрелка, которая соединяет два и более подпроцесса в рамках модели декомпозиции по выходу и управлению;

7) Output-Mechanism – стрелка, которая соединяет два и более подпроцесса в рамках модели декомпозиции по выходу и инструментам выполнения подпроцесса;

8) Output-FeedBack-Input – стрелка, которая соединяет два и более подпроцесса в рамках модели декомпозиции по выходу и входу, направленная назад по нумерации подпроцессов модели;

9) Output-FeedBack-Control – стрелка, которая соединяет два и более подпроцесса в рамках модели декомпозиции по выходу и управлению, направленная назад по нумерации подпроцессов модели;

10) Output-FeedBack-Mechanism – стрелка, которая соединяет два и более подпроцесса в рамках модели декомпозиции по выходу и инструментам выполнения подпроцесса, направленная назад по нумерации подпроцессов модели.

Таким образом, можно говорить о широком спектре функций, предоставляемых методологией IDEF0 и сложности, связанной с представлением разработанных с ее помощью моделей в виде имитационных моделей [7-9].

Математический аппарат теории сетей Петри является мощным инструментальным средством имитационного моделирования, получившим большое количество расширений, позволяющих выполнить моделирование объектов, систем и процессов различной степени сложности [10-13].

Разрабатываемый на основе теории сетей Петри подход к моделированию функциональных моделей бизнес-процессов на основе методологии IDEF0 должен поддерживать перечисленные правила разработки моделей и учитывать данные особенности при создании имитационных моделей.

### Результаты

В соответствии с правилом построения функциональных моделей бизнес-процессов с применением методологии IDEF0, которое говорит о построении контекстной модели бизнес-процесса в начале моделирования, предлагается рассмотреть возможность применения многоуровневых сетей Петри, в которых позиции, переходы, дуги и метки могут являться сетью Петри, при построении имитационной модели процесса.

Модель бизнес-процесса на основе методологии IDEF0 представляется в виде:

$$Proces = \langle ContProces, UpArrow \rangle, \quad (1)$$

где *ContProces* – контекстная модель бизнес-процесса;

*UpArrow* – описывает: входы, выходы, управление, механизмы для *ContProces*;

$$UpArrow = \langle Input, Output, Control, Mechanism, Tunel \rangle, \quad (2)$$

$$Input = \{IN_1, IN_2, \dots, IN_n\}, \quad (3)$$

*Input* – множество входящих в контекстную модель стрелок.

$$Output = \{Out_1, Out_2, \dots, Out_k\}, \quad (4)$$

*Output* – множество исходящих из контекстной модели стрелок.

$$Control = \{Ctrl_1, Ctrl_2, \dots, Ctrl_l\}, \quad (5)$$

*Control* – множество средств управления, входящих в контекстную модель.

$$Mechanism = \{Mech_1, Mech_2, \dots, Mech_t\}, \quad (6)$$

*Mechanism* – множество инструментальных средств, сопровождающих бизнес-процесс.

$$Tunel = \{Tnl_1, Tnl_2, \dots, Tnl_e\}, \quad (7)$$

*Tunel* – множество туннелированных стрелок, входящих в контекстную модель.

$$ContProces = \langle SubProc, SubArrow \rangle, \quad (8)$$

*SubProc* – множество подпроцессов, описывающих функциональные особенности процесса.

$$SubProc = \{SP_{1,1}, SP_{1,2}, \dots, SP_{1,n}, SP_{2,1}, SP_{2,2}, \dots, SP_{2,n}, \dots, SP_{l,1}, SP_{l,2}, \dots, SP_{l,n}\}, \quad (9)$$

где  $SP_{l,n}$  – подпроцесс;

$l$  – уровень декомпозиции;

$n$  – номер процесса на уровне декомпозиции.

В соответствии с требованиями методологии IDEF0:  $1 \leq l \leq 4$  и  $2 \leq n \leq 8$

*SubArrow* – множество стрелок, входящих в модель.

$$SubArrow = \langle UpLevelArrow, InsideArrow \rangle, \quad (10)$$

*UpLevelArrow* – множество стрелок с верхнего уровня декомпозиции бизнес-процесса.

$$UpLevelArrow = \langle Input_{l-1,n}, Output_{l-1,n}, Control_{l-1,n}, Mechanism_{l-1,n}, Tunel_{l-1,n} \rangle, \quad (11)$$

*InsideArrow* – внутренние межпроцессорные связи, состоящие из множества стрелок для движения вперед по процессам и множества стрелок, обеспечивающих возврат на исполненные ранее процессы.

$$InsideArrow = \langle Forward, FeedBack \rangle, \quad (12)$$

$$Forward = \langle OutputInput, OutputControl, OutputMechanism \rangle, \quad (13)$$

$$OutputInput = \{ OutIn_{1,1,2}, OutIn_{1,1,3}, \dots, OutIn_{l,r,w} \}, \quad (14)$$

*OutIn* – стрелка, обеспечивающая связь выхода одного подпроцесса и входа другого подпроцесса.

$r$  – номер процесса начала стрелки  $1 \leq r \leq 7$ ;

$w$  – номер процесса конца стрелки  $2 \leq w \leq 8$ .

$$w = r + v, r < w \quad (15)$$

$v$  – шаг перехода,  $v = \{1, 2, \dots, 7\}$ .

*OutCtrl* – стрелка, обеспечивающая связь по управлению, т. е. выхода одного подпроцесса и управления другого подпроцесса.

$$OutputControl = \{ OutCtrl_{1,1,2}, OutCtrl_{1,1,3}, \dots, OutCtrl_{l,r,w} \}, \quad (16)$$

*OutMech* – стрелка, обеспечивающая связь по механизмам, т. е. выхода одного подпроцесса и механизмов другого подпроцесса.

$$OutputMechanism = \{ OutMech_{1,1,2}, OutMech_{1,1,3}, \dots, OutMech_{l,r,w} \}, \quad (17)$$

$$FeedBack = \langle OutputFeedBackInput, OutputFeedBackControl, OutputFeedBackMechanism \rangle, \quad (18)$$

$$OutputFeedBackInput = \{ OutFBIn_{1,1,1}, OutFBIn_{1,2,1}, \dots, OutFBIn_{l,s,p} \}, \quad (19)$$

где

$s$  – номер процесса начала стрелки  $1 \leq s \leq 8$ ;

$p$  – номер процесса конца стрелки  $1 \leq p \leq 8$

$$p = r - y, s \geq p \quad (20)$$

$y$  – шаг перехода,  $y = \{0, 1, 2, \dots, 7\}$ .

*OutFBIn* – стрелка обеспечивающая обратную связь выхода одного подпроцесса и входа другого подпроцесса, исполненного ранее.

$$OutputFeedBackControl = \{ OutFBCtrl_{1,1,1}, OutFBCtrl_{1,2,1}, \dots, OutFBCtrl_{l,s,p} \}, \quad (21)$$

где

*OutFBCtrl* – стрелка, обеспечивающая обратную связь по управлению, т. е. выхода одного подпроцесса и управления другого подпроцесса, исполненного ранее.

$$OutputFeedBackMechanism = \{ OutFBMech_{1,1,1}, OutFBMech_{1,2,1}, \dots, OutFBMech_{l,s,p} \}, \quad (22)$$

где

*OutFBMech* – стрелка, обеспечивающая обратную связь по механизмам, т. е. выхода одного подпроцесса и механизмов другого подпроцесса, исполненного ранее.

Таким образом, выполнена декомпозиция моделей бизнес-процессов, полученных на основании методологии IDEF0.

Следующим этапом исследования является адаптация математического аппарата теории сетей Петри.

В соответствии с используемыми в рамках сетей Петри компонентами следует определить их роли, которые позволят выполнить моделирование.

На основании общепринятого подхода сеть Петри представляется следующим образом:

$$PN = \langle P, T, L, M_0 \rangle, \quad (23)$$

где

$P$  – множество позиций сети;

$T$  – множество переходов сети;

$L$  – множество дуг сети;

$M_0$  – начальная маркировка сети, т. е. распределение меток  $M$  в позициях  $P$  сети Петри.

Функционал компонентов сети при создании имитационных моделей бизнес-процессов следует определить следующим образом:

1. Множество позиций  $P$  служит для хранения информации о механизмах, управлении, входах и выходах модели.

2. Множество переходов  $T$  используется для моделирования процессов и подпроцессов, входящих в состав модели. Следует отметить, что при использовании многоуровневых и иерархических сетей Петри существует возможность представления как позиций, так и переходов в виде сети Петри, что дает возможность выполнить моделирование процесса декомпозиции.

3. Множество дуг сети  $L$  используется для моделирования всех видов стрелок как верхнего уровня стрелок, так и для отображения внутренних связей процесса.

4. Множество меток  $M$  используется для моделирования ресурсов, средств управления, механизмов и результатов функционирования процесса.

На Рисунке 1 приведен пример использования многоуровневых сетей Петри при создании имитационной контекстной модели бизнес-процесса.

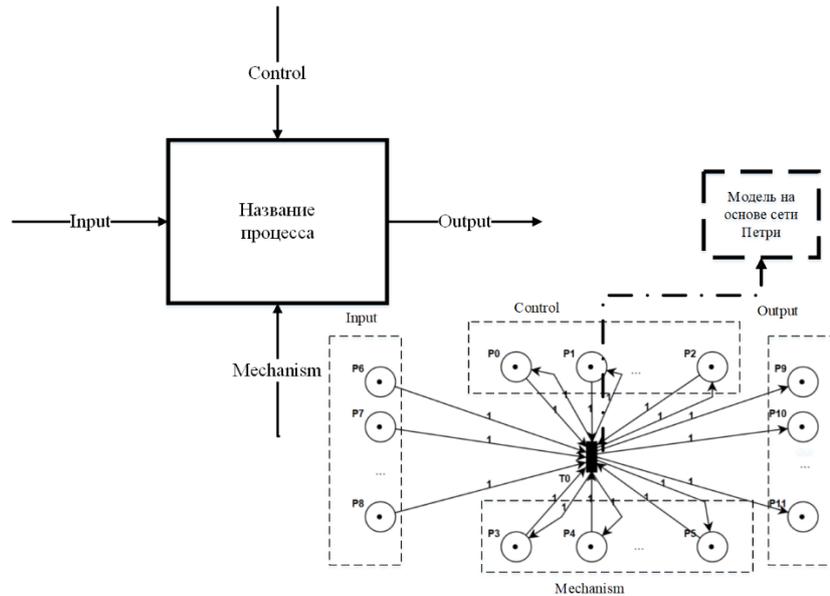


Рисунок 1 – Пример использования многоуровневых сетей Петри при построении контекстной модели

Figure 1 – Example of using multi-level Petri nets when building a context model

В соответствии с (1) контекстная модель верхнего уровня состоит из

- 1) *Input*;
- 2) *Output*;
- 3) *Control*;
- 4) *Mechanism*.

В этом случае  $P$  можно представить следующим образом:

$$P = \langle P_{Input}, P_{Out}, P_{Control}, P_{Mechanism} \rangle, \quad (24)$$

где  $P_{Input}$  – множество позиций, которые выделены в имитационной модели для хранения входных;

$P_{Out}$  – множество позиций, которые выделены в имитационной модели для хранения результатов выполнения процесса;

$P_{Control}$  – множество позиций, которые выделены в имитационной модели для хранения элементов управления процессом;

$P_{Mechanism}$  – множество позиций, которые выделены в имитационной модели для хранения механизмов выполнения процессов.

При построении имитационной модели бизнес-процесса, реализованной с применением методологии IDEF0, следует учесть, что количество позиций в различных группах (*Input*, *Output*, *Control*, *Mechanism*) зависит от количества стрелок определенного класса. На Рисунке 2 показан пример контекстной диаграммы в нотации IDEF0.

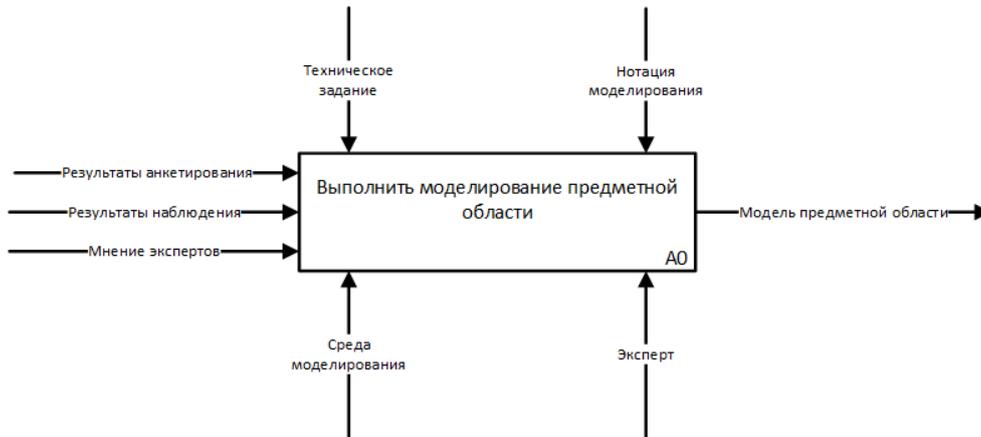


Рисунок 2 – Пример модели контекстной диаграммы бизнес-процесса в методологии IDEF0  
Figure 2 – Example of a business process context diagram model in the IDEF0 methodology

Как видно в предложенной модели к стрелкам группы *Input* относятся:

1. Результаты анкетирования;
2. Результаты наблюдения;
3. Мнение эксперта.

К стрелкам группы *Control* относятся:

1. Техническое задание;
2. Нотация моделирования.

К стрелкам группы *Mechanism* относятся:

1. Среда моделирования;
2. Эксперт.

К стрелкам группы *Output* относятся:

1. Модель предметной области.

Рассмотрим имитационную модель на основе сетей Петри, которая построена в соответствии с предложенным подходом (Рисунок 3).

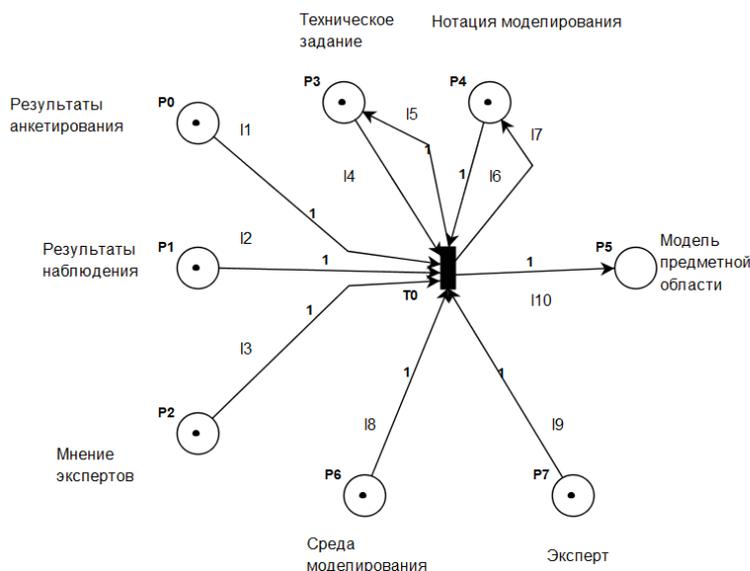


Рисунок 3 – Имитационная модель контекстной диаграммы процесса «Выполнить моделирование предметной области» на основе сетей Петри  
Figure 3 – Simulation model of the context diagram of “Perform domain modeling” process based on Petri nets

Таким образом, в соответствии с предложенной моделью:

$$P_{Input} = \{P_0, P_1, P_2\}; \quad (25)$$

$$P_{Control} = \{P_3, P_4\}; \quad (26)$$

$$P_{Mechanism} = \{P_6, P_7\}; \quad (27)$$

$$P_{Output} = \{P_5\}. \quad (28)$$

$$P = \langle \{P_0, P_1, P_2\}, \{P_5\}, \{P_3, P_4\}, \{P_6, P_7\} \rangle \quad (29)$$

В предложенной модели должно быть определено множество  $T$ ,  $L$  и  $M_0$ .

$$T = \{t_0\} \quad (30)$$

$$M_0 = \{1,1,1,1,1,0,1,1\} \quad (31)$$

$$L = \{l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7, l_8, l_9, l_{10}\} \quad (32)$$

В соответствии с (23) имитационная модель имеет вид:

$$PN = \langle \{P_0, P_1, P_2\}, \{P_5\}, \{P_3, P_4\}, \{P_6, P_7\}, \{t_0\}, \{l_1, l_2, \dots, l_{10}\} \{1,1,1,1,1,0,1,1\} \rangle \quad (33)$$

Что полностью соответствует предложенному подходу, теории сетей Петри и нотации IDEF0.

Правило работы переходов в теории сетей Петри требует наличия не менее одной метки в каждой позиции, которая соединена с данным переходом обычной дугой, не имеющей вес. Таким образом, переход  $t_0$  может сработать только при наличии меток во всех позициях:  $P_0, P_1, P_2, P_3, P_4, P_6, P_7$ , а это соответствует правилам выбранной методологии.

На Рисунке 4 показана модель декомпозиции контекстного процесса на основе методологии IDEF0.

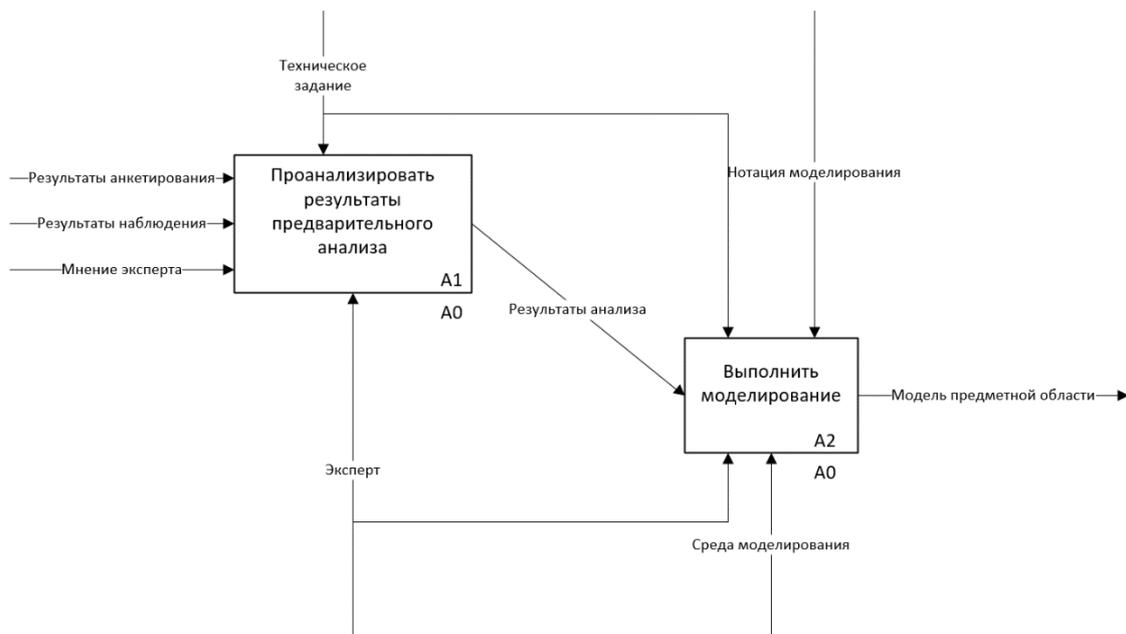


Рисунок 4 – Пример декомпозиции контекстного процесса  
Figure 4 – Example of context process decomposition

Рассмотрим построение имитационной модели декомпозиции контекстного процесса «Выполнить моделирование предметной области» (предложенная модель показана на Рисунке 5).

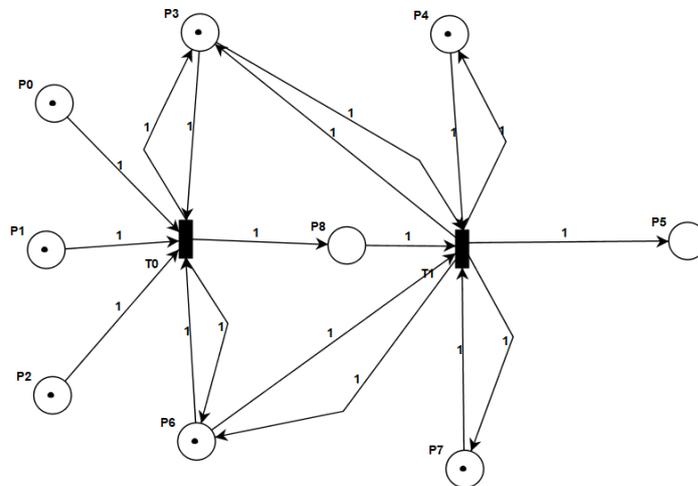


Рисунок 5 – Пример имитационной модели декомпозиции контекстного процесса на основе сетей Петри

Figure 5 – Example of a simulation model of context process decomposition based on Petri nets

Разработанная модель является вторым уровнем многоуровневой сети, показанной на Рисунке 3. Отметим, что данная модель представляет переход  $T_0$  на том же рисунке, то есть непосредственно переход также является сетью.

Следует отметить, что для моделирования стрелок с применением теории сетей Петри недостаточно использования только дуг. Для этого требуется использование связки позиция-дуга (Рисунок 6), так как позиция позволяет сохранять метку, которая моделирует: документацию, ресурс, инструмент и т. д., а дуга указывает направление использования.

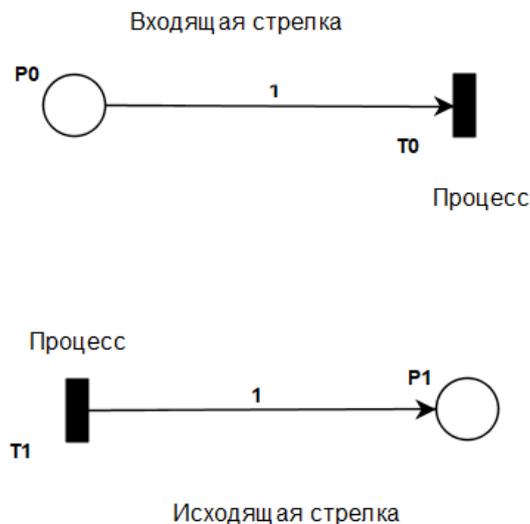


Рисунок 6 – Моделирование стрелок в методологии IDEF0 с применением сетей Петри

Figure 6 – Modeling arrows in the IDEF0 methodology using Petri nets

Также следует отметить, что при моделировании стрелок управления и механизмов требуется использовать механизм возврата меток в позиции хранения, что отличает моделирование данного типа стрелок от остальных (Рисунок 7).

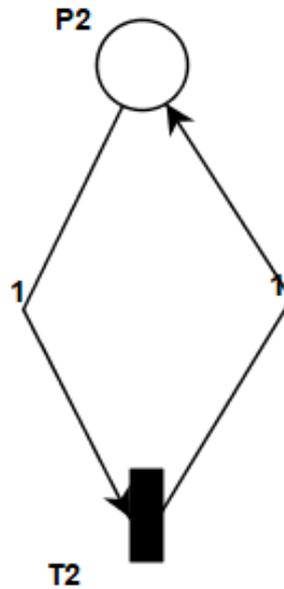


Рисунок 7 – Моделирование управляющих стрелок и стрелок механизмов в методологии IDEF0 с применением сетей Петри

Figure 7 – Modeling control arrows and mechanisms arrows in the IDEF0 methodology using Petri nets

Такой подход обусловлен требованием методологии IDEF0, которое требует отсутствия изменений в механизмах и управлении при выполнении процесса.

### Обсуждение

В работе проведено исследование, связанное с разработкой подхода для создания имитационных моделей бизнес-процессов на основе методологии IDEF0. Для создания имитационной модели использован математический аппарат сетей Петри, который позволяет учесть все особенности рассмотренной нотации, а также контролировать правильность использования инструментариев нотации при разработке моделей (кроме правила наименования процесса, которое должно начинаться с глагола).

Использование многоуровневых сетей Петри позволяет обеспечить вложенность процессов до требуемого уровня декомпозиции. В соответствии с возможностями предложенного математического аппарата возможно использование временных характеристик для разрабатываемых моделей, что позволит обеспечить аналитика средствами оценки временных затрат при создании и/или анализе разработанных ранее моделей.

В целом можно говорить о целесообразности применения теории сетей Петри для создания имитационных моделей бизнес-процессов в разных нотациях, не ограничиваясь методологией IDEF0, моделируя не только функциональные особенности, но и технологические потоки данных, карты состояний и т.д. Также следует отметить возможности использования интеллектуальных методов структурно-параметрического синтеза бизнес-процессов на основе элементной базы моделей подпроцессов и генетических алгоритмов [3].

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Долгова О.И., Крюков С.В. Имитационное моделирование бизнес-процессов сервисной поддержки продуктов эквайринга в программной среде Anylogic. *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Экономические науки*. 2021;14(6):117–133. DOI: 10.18721/JE.14609.
2. Кравченко Ю.А., Курситыс И.О. Комбинированный подход к решению задачи распределения ресурсов. *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2017;192(7):111–122. DOI: 10.23683/2311-3103-2017-7-111-122.
3. Шаехов М.Р. Инструментальное обеспечение оценки репутации региона. *Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права*. 2023;101(4):159–165. DOI: 10.21295/2223-5639-2023-4-159-165.
4. Петросов Д.А., Ломазов В.А., Басавин Д.А. Эволюционный синтез систем на основе заданной элементной базы компонентов. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика*. 2015;204(7):116–124.
5. Шестаков Р.Б., Яковлев Н.А. Имитационное моделирование бизнес-процессов в АПК. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2023;2:200–204.
6. Салуквадзе И.Н., Радионов Д.Г. Моделирование бизнес-процессов предприятий: методологии, подходы и методы. *Вестник Луганского государственного университета имени Владимира Даля*. 2023;67(1):137–140.
7. Магомедова Т.М., Торшина Е.С., Омарова Н.О. Анализ и моделирование бизнес-процессов. *Экономика и предпринимательство*. 2023;152(3):752–757. DOI: 10.34925/EIP.2023.152.3.146.
8. Звягин Л.С. Распределенное моделирование как инструмент решения актуальных управленческих задач и совершенствования бизнес-процессов. *Мягкие измерения и вычисления*. 2023;65(4):68–80. DOI: 10.36871/2618-9976.2023.04.007.
9. Дьяков С.А., Шер М.Л., Дудник Д.В., Миронов Л.В. Моделирование бизнес-процессов: методология, современные факторы в условиях цифровизации. *Вестник Алтайской академии экономики и права*. 2022;4(2):181–190. DOI: 10.17513/vaael.2155.
10. Горецкая Е.С., Стрих Н.И. Моделирование логистических бизнес-процессов на предприятии. *Тенденции развития науки и образования*. 2022;85(6):76–79. DOI: 10.18411/trnio-05-2022-256.
11. Патрусова А.М., Слинкова О.К., Наумова А.М. Функциональное моделирование бизнес-процессов в современных нотациях: возможности, особенности и тенденции. *Труды Братского государственного университета. Серия: Экономика и управление*. 2022;1:124–128.
12. Крупская А.Е., Воробьева Е.Р., Воробьев В.Д. Моделирование бизнес процессов – case средства. *Colloquium-Journal*. 2020;85(33-1):49–51.
13. Доррер М.Г., Доррер А.Г., Зырянов А.А. Численное моделирование бизнес-процессов на основе аппарата GETR-сетей. *Математические методы в технике и технологиях – ММТТ*. 2020;12-2:52–54.

## REFERENCES

1. Dolgova O.I., Kryukov S.V. Simulation of business processes of service support of acquiring products in the anylogic software environment. *Nauchno-tekhnicheskie*

- vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta. Ekonomicheskie nauki = Scientific and technical bulletins of the St. Petersburg State Polytechnic University. Economic Sciences.* 2021;14(6):117–133. DOI: 10.18721/JE.14609. (In Russ.).
2. Kravchenko Yu.A., Kursitys I.O. Combined approach for solving resource allocation problem. *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki = Izvestiya SFedU. Engineering sciences.* 2017;192(7):111–122. DOI: 10.23683/2311-3103-2017-7-111-122. (In Russ.).
  3. Shaekhov M.R. Tools for assessing reputation of a region. *Vestnik Belgorodskogo universiteta kooperacii, ekonomiki i prava = Herald of the Belgorod University of Cooperation, Economics and Law.* 2023;101(4):159–165. DOI: 10.21295/2223-5639-2023-4-159-165. (In Russ.).
  4. Petrosov D.A., Lomazov V.A., Basavin D.A. Evolutionary synthesis of systems based on a preassigned element base of components. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Informatika = Belgorod State University. Scientific Bulletin. Series: Economics. Information technologies.* 2015;204(7):116–124. (In Russ.).
  5. Shestakov R.B., Yakovlev N.A. simulation modeling of business processes in the agro-industrial complex. *Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii = Bulletin of the Kursk State Agrarian University.* 2023;2:200–204. (In Russ.).
  6. Salukvadze I.N., Radionov D.G. Modeling of business processes of enterprises: methodologies, approaches and methods. *Vestnik Luganskogo gosudarstvennogo universiteta imeni Vladimira Dalja = Vestnik Lugansk Vladimir Dahl State University.* 2023;67(1):137–140. (In Russ.).
  7. Magomedova T.M., Torshina E.S., Omarova N.O. Analysis and modeling of business processes. *Ekonomika i predprinimatel'stvo = Journal of Economy and entrepreneurship.* 2023;152(3):752–757. DOI: 10.34925/EIP.2023.152.3.146. (In Russ.).
  8. Zvyagin L.S. Distributed modeling as a tool for solving current management tasks and improving business processes. *Myagkie izmereniya i vychisleniya = Soft Measurement and Computing.* 2023;65(4):68–80. (In Russ.).
  9. D'yakov S.A., Sher M.L., Dudnik D.V., Mironov L.V. Business process modeling: methodology, modern factors in the conditions of digitalization. *Vestnik Altajskoj akademii ekonomiki i prava.* 2022;4(2):181–190. DOI: 10.17513/vaael.2155. (In Russ.).
  10. Goreckaya E.S., Strih N.I. Modelirovanie logisticheskikh biznes-processov na predpriyatii. *Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya.* 2022;85(6):76–79. DOI: 10.18411/trnio-05-2022-256. (In Russ.).
  11. Patrusova A.M., Slinkova O.K., Naumova A.M. Funkcional'noe modelirovanie biznes-processov v sovremennyh notatsiyah: vozmozhnosti, osobennosti i tendencii. *Trudy Bratskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika i upravlenie.* 2022;1:124–128. (In Russ.).
  12. Krupskaya A.E., Vorob'eva E.R., Vorob'ev V.D. Business process simulation – CASE facilities. *Colloquium-Journal.* 2020;85(33-1):49–51. (In Russ.).
  13. Dorrer M.G., Dorrer A.G., Zyryanov A.A. Numerical modeling of business processes using the apparatus of GERT networks. *Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyah – MMTT.* 2020;12-2:52–54. (In Russ.).

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Петросов Давид Арегович**, кандидат технических наук, доцент, доцент департамента анализа данных и машинного  
**David A. Petrosov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Data Analysis and

обучения, Финансовый университет при Правительстве РФ, Москва, Российская Федерация. Machine Learning, Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, the Russian Federation.

*e-mail:* [dapetrosov@fa.ru](mailto:dapetrosov@fa.ru)

ORCID: [0000-0002-8214-052X](https://orcid.org/0000-0002-8214-052X)

*Статья поступила в редакцию 24.09.2023; одобрена после рецензирования 24.10.2023; принята к публикации 30.10.2023.*

*The article was submitted 24.09.2023; approved after reviewing 24.10.2023; accepted for publication 30.10.2023.*