

УДК 004.94; 303.732
DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-164-178
EDN MQQQYM

Автоматизация системно-объектного графического моделирования процессов

¹Дмитриева Ю.В., ²Жихарев А.Г.

¹ Белгородский университет кооперации, экономики и права,
Россия, 308023, Белгород, ул. Садовая, д. 116а

² Белгородский государственный национальный исследовательский университет,
Россия, 308015, г. Белгород, ул. Победы, д. 85
uka506@mail.ru, zhikharev@bsuedu.ru

Аннотация. В статье рассматривается способ автоматизации графоаналитического моделирования процессов, основанный на формально-семантической нормативной системе (ФСНС), разработанной для графической нотации «Узел-Функция-Объект» (УФО-нотации). Целесообразность автоматизации графического моделирования процессов обоснована влиянием человеческого фактора на процедуру и результат моделирования, что зачастую приводит к несоответствию между используемыми процессами ресурсами и получаемыми результатами. Это в свою очередь снижает эффективность функционально-стоимостного анализа и регламентации бизнес-процессов. Для решения данной проблемы авторами разработан и предложен формально-семантический алфавит функциональных узлов (ФУ), который использует три непересекающихся класса потоков вещества (V), энергии (E) и информации (I), представляющих собой связи/потоки между бизнес-процессами. При этом взаимные преобразования упомянутых потоков имеют естественные ограничения, влияющие на состав алфавита функциональных узлов. В работе рассмотрены алгоритм частичной автоматизации графоаналитического моделирования процессов, использующий ФСНС, а также процедура вычисления интерфейсных ФУ, обеспечивающих входные и выходные связи контекста, и процедура вычисления промежуточных (ФУ), обеспечивающих построение диаграммы декомпозиции. Приведены примеры использования предложенного алгоритма.

Ключевые слова: системно-объектный подход «Узел-Функция-Объект» (УФО-подход), УФО-нотация, графическое моделирование, формально-семантическая нормативная система (ФСНС), алгоритм автоматизации графического моделирования

Для цитирования: Дмитриева Ю.В., Жихарев А.Г. 2026. Автоматизация системно-объектного графического моделирования процессов. *Экономика. Информатика*, 53(1): 164–178. DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-164-178. EDN MQQQYM

Automation of System-Object Graphical Modeling of Processes

¹Yulia V. Dmitrieva, ²Aleksandr G. Zhikharev

¹ Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, 116a Sadovaya St., Belgorod 308023, Russia

² Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod 308015, Russia
uka506@mail.ru, zhikharev@bsuedu.ru

Abstract. This article examines a method for automating graphical-analytical process modeling based on a formal-semantic normative system (FSNS) developed for the Unit-Function-Object graphical notation (UFO notation). The rationale for automating graphical process modeling is based on the influence of the human factor on the modeling procedure and results, which often leads to a discrepancy between the resources used by processes and the results obtained. This, in turn, reduces the effectiveness of functional cost analysis and business

© Дмитриева Ю.В., Жихарев А.Г., 2026

process regulation. To address this issue, the authors have developed and proposed a formal-semantic alphabet of functional units (FUs). It utilizes three disjoint classes of flows of matter (V), energy (E), and information (I), representing connections/flows between business processes. Furthermore, the mutual transformations of these flows have natural limitations, which influence the composition of the alphabet of functional units. This paper examines an algorithm for partially automating graph-analytical process modeling using a functional network (FNN), as well as a procedure for calculating interface functional units (FUs) that provide input and output context relationships, and a procedure for calculating intermediate functional units (FUs) that support the construction of a decomposition diagram. Examples of using the proposed algorithm are provided.

Keywords: system-object approach "Unit-Function-Object" (UFO-approach), UFO-notation, graphical modeling, formal-semantic normative system (FSNS), algorithm for automation of graphical modeling

For citation: Dmitrieva Yu.V., Zhikharev A.G. 2026. Automation of System-Object Graphical Modeling of Processes. *Economics. Information technologies*, 53(1): 164–178 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2026-53-1-164-178. EDN MQQQYM

Введение

Графоаналитическое моделирование представляет собой способ исследования систем с помощью графических моделей процессов. Графические нотации и поддерживающий их программный инструментарий показывает определенную эффективность при моделировании слабо формализуемых бизнес-процессов и организационных систем [Маклаков, 2004; Дубейковский, 2004; Репин; Елизарова и др., 2010; Казиев, 2014].

Однако, графическое моделирование бизнес-процессов представляет собой творческую и трудоёмкую процедуру. И главной проблемой является влияние человеческого фактора на процесс и результат моделирования, что снижает адекватность моделей и затрудняет их дальнейшее использование, например, для проведения функционально-стоимостного анализа, регламентации бизнес-процессов и реинжиниринга бизнеса.

Термин «человеческий фактор» обозначает возможность принятия человеком ошибочных и алогичных решений в конкретных ситуациях. И, к сожалению, он может отрицательно влиять на результаты моделирования деловых и производственных процессов [Дмитриева и др., 2025].

Среди основных проблем графоаналитического моделирования процессов, связанных с влиянием человеческого фактора, можно выделить перечисленные ниже.

1) Восприятие графики сильно варьируется в зависимости от индивидуального опыта и знаний. В данном случае неправильная интерпретация информации создает риск формирования неправильных выводов у специалистов (инженеров, маркетологов, менеджеров), имеющих разный уровень подготовки и понимающих результаты графического моделирования по-своему.

2) Влияние субъективных мнений и предпочтений на качество вводимых данных. Сбор информации о процессах предполагает множество возможных ошибок, приводящих к неверным представлениям о реальной картине происходящего и искажению модели.

3) Игнорирование значимых, но неочевидных тенденций в данных или переоценивание важности очевидных взаимосвязей, то есть человек может поддаваться влиянию когнитивных искажений при работе с графоаналитическими моделями. Это обусловлено тем, что люди склонны учитывать информацию, которая подтверждает их предвзятости, и игнорировать данные, которые с ними не согласуются, что может приводить к созданию неэффективных моделей.

4) Ограничение времени, отведенного со стороны вышестоящего руководства, в связи с чем увеличивается риск быстрого принятия решения без должного обоснования, что может негативно сказаться на результатах моделирования.

5) Длительная и монотонная работа с данными при моделировании может повлечь за собой определенного рода ошибки в связи с влиянием человеческого фактора на достоверность, своевременность и полноту обрабатываемой информации.

Таким образом, влияние человеческого фактора на графоаналитическое моделирование деловых и производственных процессов существенным образом затрагивает как процесс создания моделей, так и интерпретацию полученных результатов в зависимости от уровня квалификации и опыта аналитиков [Маторин, 2024].

При этом различия в восприятии визуальных данных способствуют разногласию мнений в команде аналитиков, что приводит к различного рода затруднениям при принятии решений. Ниже представлен перечень проблем графоаналитического моделирования деловых и производственных процессов, влияющих на управление организационными системами.



Рис. 1. Перечень проблем графоаналитического моделирования с субъективной точки зрения
Fig. 1. List of problems of graphic-analytical modeling from a subjective point of view

Перечисленные проблемы графоаналитического моделирования подчеркивают важность учета человеческого фактора. Следовательно, актуальной задачей является снижение влияния человеческого фактора на ход и результат графоаналитического моделирования бизнес-процессов. Для решения данной задачи необходимо обеспечить объективизацию процедуры построения графических моделей процессов и, таким образом, ее частичную автоматизацию. Предлагаемый авторами способ автоматизации графоаналитического моделирования и рассматривается в настоящей работе.

Формально-семантическая нормативная система

Все методы (нотации) графического моделирования процессов представляют собой наборы символов и правил их использования, т. е. нормативные системы или формальные системы задаваемые не дедуктивным, а генетическим способом [Анисов, 2012]. При этом существующий уровень формализованности символов и правил позволяет, к сожалению, создавать не адекватные реальным моделируемым бизнес-процессам модели. Например, на диаграммах [Idef0 диаграмма поликлиника – 98 фото, 2025] можно увидеть процессы,

имеющие на входе материальные связи/потоки, а на выходе только информационные. На диаграммах [Построение DFD-диаграмм, 2025] можно увидеть получение материального потока только из информации. В том числе подобные ошибочные модели выдает нейросеть с громким названием «Онлайн генератор IDEF0» [Аливия. Онлайн нейросеть для генерации моделей IDEF0, 2025]. Например, если ему/ей задать построения модели процесса «Производство деталей», то на декомпозиции предлагается подпроцесс «Подготовка материалов», у которого вход «Спецификация», а выход «Подготовленные материалы».

И тут дело не просто в несоответствии реальным процессам, а в том, что с помощью таких диаграмм невозможно обеспечить корректную регламентацию бизнес-процессов и, тем более, провести функционально-стоимостной анализ процессов, так как нет соответствия между используемыми ресурсами и получаемыми результатами.

Для того чтобы исключить в принципе возможность появления подобных ошибок, авторами в рамках системно-объектного подхода «Узел-Функция-Объект» (УФО-подхода) предложен формально-семантический алфавит функциональных узлов [Маторин и др., 2024], использование которого превращает УФО-нотацию или нормативную систему УФО-подхода в формально-семантическую нормативную систему (ФСНС).

Алфавит ФСНС основан на следующих известных фактах. Во-первых, бизнес-процессы всегда взаимодействуют между собой с помощью только трех видов связей/потоков: вещество (V), энергия (E) и информация (I). Во-вторых, в соответствии с известными законами сохранения существуют ограничения на преобразования этих потоков из одного вида в другой. Эти факты и определили состав алфавита функциональных узлов (ФУ), представленного в табл. 1. ФУ в таблице представлены своими входными (?) и выходными (!) связями. Из всех связей одна (первая) обозначает поток, который преобразуется в данном узле, для преобразования которого данный узел и предназначен. Остальные связи являются обеспечивающими. В работе [Маторин и др., 2024] все ФУ содержательно проинтерпретированы реальными производственными процессами.

Таблица 1
Table 1

Алфавит функциональных узлов УФО-нотации
Alphabet of functional units of UFO notation

		Выходы функциональных узлов (!)											
		V!	VE!	VI!	VEI!	E!	EV!	EI!	EVI!	I!	IV!	IE!	IVE!
Входы функциональных узлов (?)	V?	1	1	1	1								
	VE?	1	1	1	1								
	VI?	1	1	1	1								
	VEI?	1	1	1	1								
	E?					1		1					
	EV?						1		1				
	EI?					1		1					
	EVI?						1		1				
	I?									1			
	IV?										1		1
	IE?											1	
	IVE?										1		1

Исследования, представленные в работе [Маторин и др., 2025, 1 и 2], показали, что ФСНС является алгебраической группой, что позволило применить для описания процедуры использования ФСНС алгебраический аппарат теории паттернов Гренандера [Гренандер, 1979; 1981]. Использование теории паттернов позволило показать, что в рамках ФСНС для любой контекстной диаграммы бизнес-процесса существует диаграмма декомпозиции из алфавитных ФУ. Кроме того, в результате исследования ФСНС сформулированы три варианта правил присоединения алфавитных ФУ друг к другу, один из которых представлен в табл. 2.

Правила присоединения ФУ, представленные в табл. 2, используются тогда, когда в процессе моделирования требуется отслеживать потоки, которые преобразуются, и потоки, с помощью которых они преобразуются, без перехода из первых во вторые и наоборот.

Таблица 2
 Table 2

Правила присоединения функциональных узлов 1
 Rules for connecting functional units 1

		Входы функциональных узлов											
		V?	VE?	VI?	VEI?	E?	EV?	EI?	EVI?	I?	IV?	IE?	IVE?
Выходы функциональных узлов	V!	1	1	1	1								
	VE!		1		1								
	VI!			1	1								
	VEI!				1								
	E!					1	1	1	1				
	EV!						1		1				
	EI!							1	1				
	EVI!								1				
	I!									1	1	1	1
	IV!										1		1
	IE!											1	1
	IVE!												1

Алгоритм автоматизации графоаналитического моделирования процессов

Использование ФСНС позволяет предложить алгоритм частичной автоматизации графического моделирования процессов, т. е. процедуры декомпозиции контекстной диаграммы процесса (рис. 2). Алгоритм может быть использован в том случае, когда входные и выходные связи/потоки контекста моделируемого процесса представлены в виде алфавитных связей.

Процедура символьных вычислений интерфейсных ФУ, обеспечивающих входные и выходные алфавитные функциональные связи контекста (блок 2 алгоритма), состоит в поиске символов, подходящих ФУ для входных и выходных потоков/связей контекста по таблице 1.

Вычисление интерфейсных ФУ, обеспечивающих входные связи контекста:

- 1) в табл. 1 находим строку(и), соответствующую входу(ам) контекста;
- 2) в найденной(ых) строке(ах) табл. 1 находим все возможные выходы (в столбцах);
- 3) из входа(ов) контекста и всех найденных выходов формируем все возможные входные ФУ.

Вычисление интерфейсных ФУ, обеспечивающих выходные связи контекста:

- 1) в табл. 1 находим столбец(цы), соответствующий выходу(ам) контекста;
- 2) в найденной(ых) столбце(ах) табл. 1 находим все возможные входы (в строках);
- 3) из выхода(ов) контекста и всех найденных входов формируем все возможные выходные ФУ.

Из множества предложенных по результатам вычислений интерфейсных ФУ выбираются наиболее подходящие с учетом предметной области и целей моделирования с последующей визуализацией промежуточного результата.

Для вычисления промежуточных ФУ, поддерживающих интерфейсные узлы, задаются ограничения на используемую логику (правила присоединения), виды поддерживающих связей и количество подпроцессов, определяемые известными свойствами моделируемого процесса и целями построения модели.

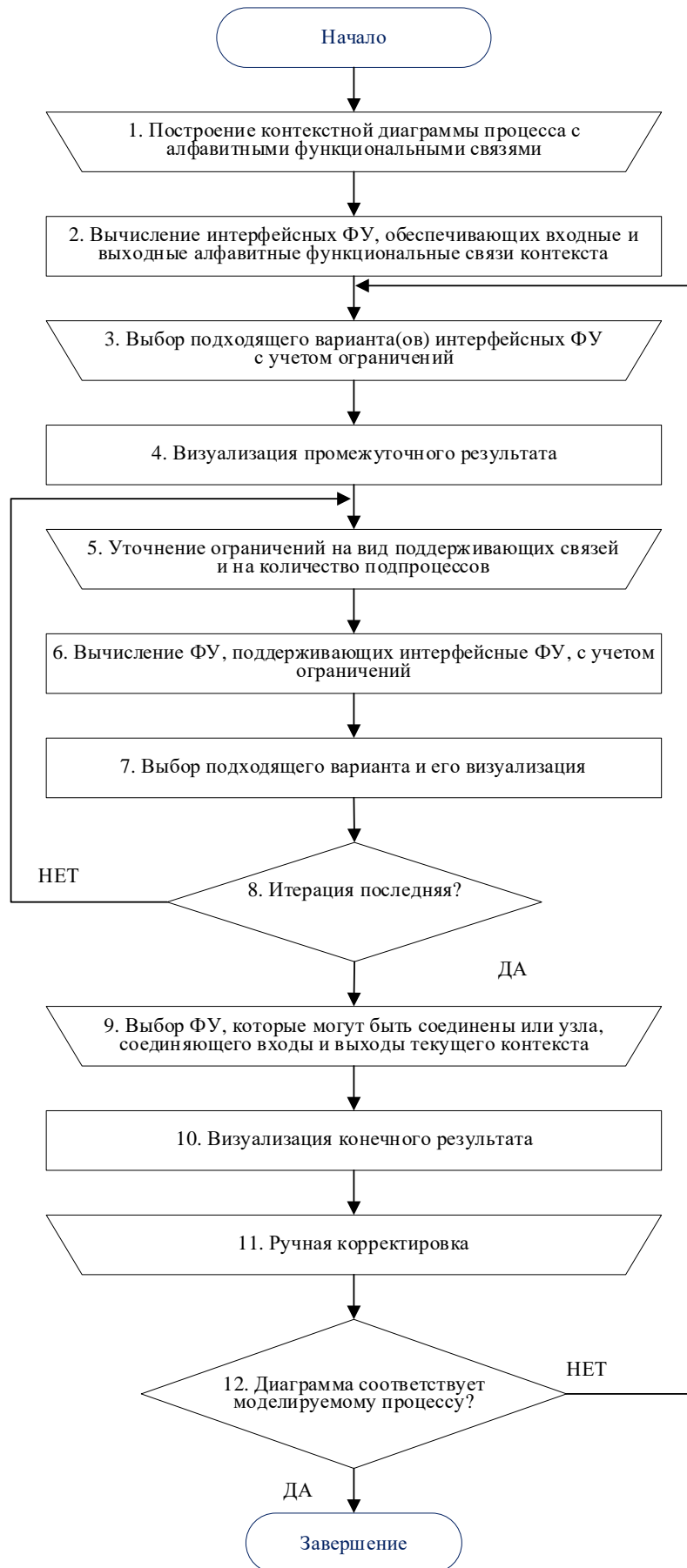


Рис. 2. Алгоритм автоматизации построения графических моделей процессов
Fig. 2. Algorithm for automating the construction of graphical models of processes

Процедура символьных вычислений ФУ, поддерживающих интерфейсные ФУ (блок 6 алгоритма), состоит в итеративном поиске символов, подходящих ФУ для поддерживающих потоков/связей в зависимости от принятой логики построения модели, например, по табл. 2.

Вычисление промежуточных ФУ, обеспечивающих свободные выходные связи:

- 1) в табл. 2 находим строку(и), соответствующую(ие) свободному(ым) выходу(ам) ФУ;
- 2) в найденной(ых) строке(ах) табл. 2 находим все возможные входы (в столбцах);
- 3) для всех найденных входов в строках по табл. 1 определяем все возможные выходы в столбцах табл. 1.
- 4) из найденных входов и всех найденных выходов формируем все возможные ФУ, обеспечивающие незамкнутые выходные связи.

Вычисление промежуточных ФУ, обеспечивающих свободные входные связи:

- 1) в табл. 2 находим столбец(ы), соответствующий(ие) свободному(ым) входу(ам) ФУ;
- 2) в найденном(ых) столбце(ах) табл. 2 находим все возможные выходы (в строках);
- 3) для всех найденных выходов в столбцах по табл. 1 определяем все возможные входы в строках табл. 1;
- 4) из найденных выходов и всех найденных входов формируем все возможные ФУ, обеспечивающие незамкнутые входные связи.

Из множества предложенных по результатам вычислений промежуточных ФУ, поддерживающих интерфейсные узлы, выбираются наиболее подходящие с учетом предметной области и целей моделирования с последующей визуализацией промежуточного результата.

Если для достижения заданного количества подпроцессов необходимо их добавить, то процедура символьных вычислений промежуточных ФУ, поддерживающих незамкнутые выходные и входные связи ФУ, повторяется. Если повторения этой процедуры не требуется, то для завершения декомпозиции по табл. 2 выбираются два ФУ, которые могут быть соединены между собой, или один ФУ, который может замкнуть диаграмму.

Полученная декомпозиция визуализируется и подвергается ручной корректировке и проверке на соответствие моделируемому процессу. Если соответствие не достигнуто, то необходимо вернуться на этап вычисления интерфейсных ФУ.

Далее покажем использование предложенного алгоритма на примерах.

Примеры использования алгоритма автоматизации

Рассмотрим контекст процесса, представленный на рис. 3.

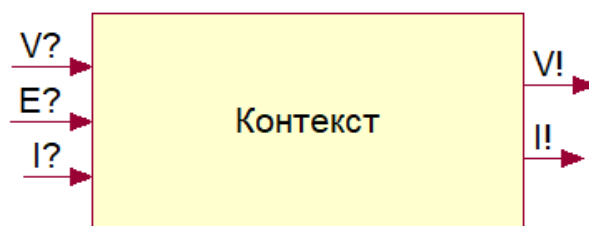


Рис. 3. Контекстная диаграмма процесса 1

Fig. 3. Context diagram of process 1

В соответствии с алгоритмом вычислим интерфейсные ФУ, обеспечивающие входные связи контекста.

1. В табл. 1 находим строку, соответствующую входу контекста.

В данном случае это **VEI?**

2. В найденной строке табл. 1 находим все возможные выходы (в столбцах).

В данном случае это **V!, VE!, VI!, VEI!**

3. Из входа контекста и всех найденных выходов формируем все возможные входные ФУ.

В данном случае это **VEI?/V!**, **VEI?/VE!**, **VEI?/VI!**, **VEI?/VEI!**

В соответствии с алгоритмом вычислим интерфейсные ФУ, обеспечивающие выходные связи контекста.

1. В табл. 1 находим столбец, соответствующий выходу контекста.

В данном случае это **VI!**

2. В найденной столбце табл. 1 находим все возможные входы (в строках).

В данном случае это **V?**, **VE?**, **VI?**, **VEI?**

3. Из выхода контекста и всех найденных входов формируем все возможные выходные ФУ.

В данном случае это **V?/VI!**, **VE?/VI!**, **VI?/VI!**, **VEI?/VI!**.

Теоретически можно сформировать диаграммы со всеми вариантами интерфейсных ФУ, используя поочередно для каждого входного ФУ все выходные ФУ, и получить 16 диаграмм. Но разумнее ввести ограничения, которые могут быть сделаны специалистом в моделируемой предметной области. Это не представляет проблемы, так как подобные модели строят только те, кто разбирается в данной предметной области.

В данном случае мы используем такие правила соединения ФУ, когда в процессе моделирования требуется отслеживать потоки, которые преобразуются, и потоки, с помощью которых они преобразуются, т. е. продолжается процесс преобразования одного и того же (первого для ФУ) потока с помощью получаемого дополнительного результата. Это и обеспечивается использованием табл. 2. Дополнительные ограничения могут заключаться в том, что энергия (в каком-то виде) используется только на первом шаге процесса, а вот выходную информацию мы отслеживаем на каждом шаге для использования на следующем шаге. Всего шагов (подпроцессов) будет четыре. Таким образом, в рассматриваемом примере входной ФУ – **VEI?/VI!**, а выходной ФУ – **VI?/VI!**, как показано на промежуточной визуализации (рис. 4).



Рис. 4. Начало декомпозиции контекстного процесса 1 (промежуточный результат)

Fig. 4. Beginning of decomposition of contextual process 1 (intermediate result)

На данном рисунке ФУвх – интерфейсный ФУ, принимающий входные связи/потоки (**V?**, **E?**, **I?**), ФУвых – интерфейсный ФУ, выдающий выходные связи/потоки (**V!**, **I!**); **Vпвх** – промежуточный поток **V** из входного ФУ, **Iпвх** – промежуточный поток **I** из входного ФУ, **Vпвых** – промежуточный поток **V** в выходной ФУ, **Iпвых** – промежуточный поток **I** в выходной ФУ.

Если учесть упомянутые выше ограничения и ограничиться на декомпозиции 4-мя ФУ, то вычисление промежуточных ФУ, обеспечивающих незамкнутые выходные и входные связи по таблицам 2 и 1, сведется к следующей процедуре.

Вычисление промежуточных ФУ, обеспечивающих незамкнутые выходные связи:

1. В табл. 2 находим строку, соответствующую свободному выходу ФУ.

В данном случае это **VI!**

2. В найденной строке табл. 2 находим все возможные входы (в столбцах).

В данном случае это **VI?, VEI?**

3. Для всех найденных входов по табл. 1 определяем все возможные выходы.

В данном случае это для **VI?** это - **V!, VE!, VI!, VEI!** и для **VEI?** – это то же **V!, VE!, VI!,**

VEI!

4. Из найденных входов и всех найденных выходов формируем все возможные ФУ, обеспечивающие незамкнутые выходные связи.

В данном случае это **VI?/V!, VI?/VE!, VI?/VI!, VI/VEI!; VEI?/V!, VEI?/VE!, VEI?/VI!,**

VEI/ VEI!

Вычисление промежуточных ФУ, обеспечивающих незамкнутые входные связи:

1. В табл. 2 находим столбец, соответствующий свободному входу ФУ.

В данном случае это **VI?**

2. В найденном столбце табл. 2 находим все возможные выходы (в строках).

В данном случае это **VI!**

3. Для всех найденных выходов по табл. 1 определяем все возможные входы.

В данном случае это **V?, VE?, VI?, VEI?**

4. Из найденных выходов и всех найденных входов формируем все возможные ФУ, обеспечивающие незамкнутые входные связи.

В данном случае это **V?/VI!, VE?/VI!, VI?/VI!, VEI?/VI!**

Выполненные вычисления обеспечивают автоматическое формирование 32 диаграмм декомпозиции с 4-мя подпроцессами. Однако введенные ограничения на использование энергии и отслеживание информации позволяют сократить число промежуточных ФУ, обеспечивающих незамкнутые выходные и входные связи. Для незамкнутых выходных связей подходит ФУ **VI?/VI!**, а для незамкнутых входных **V?/VI!** и **VI?/VI!**. Требование, чтобы два последних внутренних подпроцесса были соединены между собой, приводит к единственному варианту, когда интерфейсный входной ФУ соединен с ФУ **VI?/VI!**, а интерфейсный выходной ФУ с ФУ того же типа **VI?/VI!**. Таким образом, результатом выполнения упомянутого алгоритма является диаграмма, представленная на рис. 5. На данном рисунке **ФУвх_п** – промежуточный ФУ, принимающий потоки от входного ФУ, **ФУвых_п** – промежуточный ФУ, выдающий потоки в выходной ФУ; **Vп** – промежуточный поток **V**, **Iп** – промежуточный поток **I**.

Содержательно данный пример можно интерпретировать как фрагмент модели производства пластмассовых изделий с помощью термопластавтомата. Таким образом, ФУ и связи приобретают следующий смысл:

ФУвх – эндотермический процесс подготовки пластмассы (нагрев), при котором требуется использование тепловой энергии;

ФУвх_п – заливка жидкой пластмассы в формы;

ФУвых_п – охлаждение сформированных изделий;

ФУвых – выдача и проверка готовых изделий;

V? – пластмасса (порошок или гранулы);

E? – тепловая энергия для нагрева;

I? – параметры пластмассы;

V! – изделие;

I! – информация об изделии;

Vпвх – жидкая пластмасса;

Vп – сформированное изделие;

Vпвых – изделие охлажденное;

Iпвх – требуемые параметры изделия;

Iп – информация о состоянии сформированного изделия;

Iпвых – информация о возможности выдачи изделия.

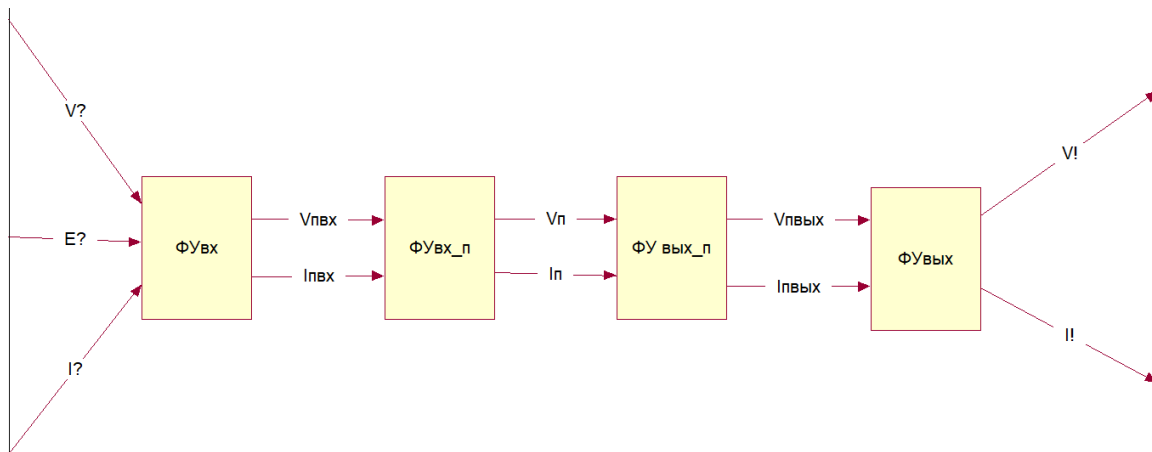


Рис. 5. Завершение декомпозиции контекстного процесса 1 (конечный результат)
 Fig. 5. Completion of the decomposition of contextual process 1 (final result)

Рассмотрим контекст процесса, представленный на рис. 6.

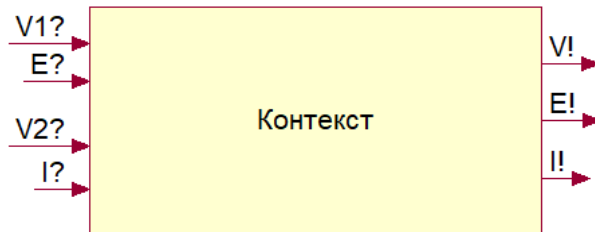


Рис. 6. Контекстная диаграмма процесса 2
 Fig. 6. Context diagram of process 2

Вычислим в соответствии с алгоритмом интерфейсные ФУ, используя следующие процедуры.

Для входа $V_1E?$:

1. В табл. 1 находим строку, соответствующую входу контекста. В данном случае это $V_1E?$
2. В найденной строке табл. 1 находим все возможные выходы (в столбцах). В данном случае это $V!$, $VE!$, $VI!$, $VEI!$
3. Из входа контекста и всех найденных выходов формируем все возможные входные ФУ. В данном случае это $V_1E?/V!$, $V_1E?/VE!$, $V_1E?/VI!$, $V_1E?/VEI!$

Для входа $V_2I?$:

1. В табл. 1 находим строку, соответствующую входу контекста. В данном случае это $V_2I?$
2. В найденной строке табл. 1 находим все возможные выходы (в столбцах). В данном случае это $V!$, $VE!$, $VI!$, $VEI!$
3. Из входа контекста и всех найденных выходов формируем все возможные входные ФУ. В данном случае это $V_2I?/V!$, $V_2I?/VE!$, $V_2I?/VI!$, $V_2I?/VEI!$

Для выхода $VEI!$:

1. В табл. 1 находим столбец, соответствующий выходу контекста. В данном случае это $VEI!$
2. В найденной строке табл. 1 находим все возможные входы (в строках). В данном случае это $V?$, $VE?$, $VI?$, $VEI?$
3. Из выхода контекста и всех найденных входов формируем все возможные выходные ФУ.

В данном случае это $V?/VEI!$, $VE?/VEI!$, $VI?/VEI!$, $VEI?/VEI!$.

Теоретически можно сформировать диаграммы со всеми вариантами интерфейсных ФУ, используя поочередно для каждой, в данном случае, входной пары ФУ все выходные ФУ, и получить 64 диаграммы. Но введем ограничения, которые могут быть сделаны специалистом в моделируемой предметной области.

В данном случае будем использовать такие же правила соединения ФУ, как и в прошлом примере, т. е. отслеживать преобразование вещества по табл. 2. Дополнительные ограничения могут заключаться в том, что энергия (в каком-то виде) используется только на входе процесса в одном входном ФУ, выделение энергии происходит на выходе процесса, а вот информацию мы отслеживаем на каждом шаге для использования на следующем шаге. Всего подпроцессов будет шесть (с учетом двух входных), а итераций (шагов) пять.

Таким образом, в рассматриваемом примере первый входной ФУ – $V_1E?/VI!$, второй входной ФУ – $V_2I?/V!$, а выходной ФУ – $VI?/VEI!$, как показано на промежуточной визуализации (рис. 7).

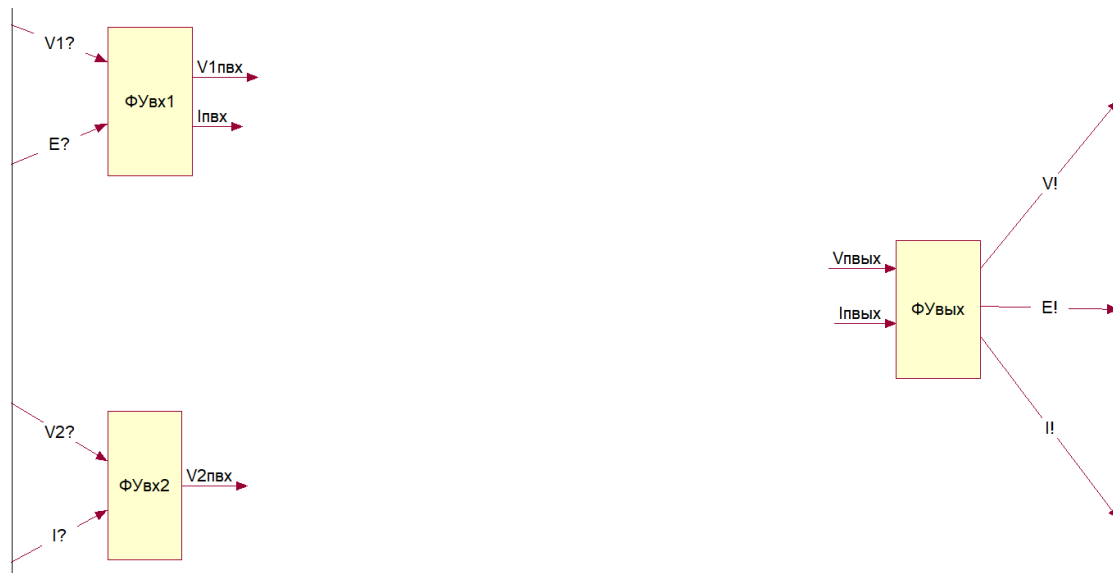


Рис. 7. Начало декомпозиции контекстного процесса 2 (промежуточный результат)
 Fig. 7. Beginning of decomposition of contextual process 2 (intermediate result)

На данном рисунке ФУвх1 – интерфейсный ФУ, принимающий входные связи/потоки ($V_1?$, $E?$), ФУвх2 – интерфейсный ФУ, принимающий входные связи/потоки ($V_2?$, $I?$), ФУвых – интерфейсный ФУ, выдающий выходные связи/потоки ($V!$, $E!$, $I!$); $V_1пвх$ и $V_2пвх$ – промежуточные потоки типа V из входных ФУ, $Iпвх$ – промежуточный поток I из входного ФУ, $Vпвых$ – промежуточный поток V в выходной ФУ, $Iпвых$ – промежуточный поток I в выходной ФУ.

Если учесть упомянутые выше ограничения и иметь на декомпозиции 6 ФУ (с учетом того, что входных два), то вычисление промежуточных ФУ, обеспечивающих незамкнутые выходные и входные связи по таблицам 2 и 1, сведется к следующей процедуре.

Свободные выходы ФУвх1, как и в предыдущем примере, могут обеспечивать следующие ФУ: $VI?/V!$, $VI?/VE!$, $VI?/VI!$, $VI/VEI!$; $VEI?/V!$, $VEI?/VE!$, $VEI?/VI!$, $VEI/VEI!$.

Для обеспечения свободных выходов ФУвх2 выполняем следующую процедуру.

1. В табл. 2 находим строку, соответствующую свободному выходу ФУвх2. В данном случае это $V!$
2. В найденной строке табл. 2 находим все возможные входы (в столбцах). В данном случае это $V?$, $VE?$, $VI?$, $VEI?$
3. Для всех найденных входов по табл. 1 определяем все возможные выходы.

В данном случае для $V?$ это – $V!$, $VE!$, $VI!$, $VEI!$, для $VE?$ это – $V!$, $VE!$, $VI!$, $VEI!$, для $VEI?$ это – $V!$, $VE!$, $VI!$, $VEI!$ и для $VEI?$ – это тоже $V!$, $VE!$, $VI!$, $VEI!$

4. Из найденных входов и всех найденных выходов формируем все возможные ФУ, обеспечивающие незамкнутые выходные связи.

В данном случае это $V?/V!$, $V?/VE!$, $V?/VI!$, $V?/VEI!$; $VE?/V!$, $VE?/VE!$, $VE?/VI!$, $VE?/VEI!$; $VI?/V!$, $VI?/VE!$, $VI?/VI!$, $VI?/VEI!$; $VEI?/V!$, $VEI?/VE!$, $VEI?/VI!$, $VEI?/VEI!$

Свободные входы ФУвых, как и в предыдущем примере, могут обеспечивать следующие ФУ: $V?/VI!$, $VE?/VI!$, $VI?/VI!$, $VEI?/VI!$

Выполненные вычисления обеспечивают автоматическое формирование 512 диаграмм декомпозиции с 4-мя подпроцессами. Однако введенные ограничения на использование энергии и отслеживание информации позволяют сократить число промежуточных ФУ, обеспечивающих незамкнутые выходные и входные связи. Таким образом, например, для незамкнутых выходных связей ФУвх1 подходит ФУ $VI?/VI!$, для незамкнутых выходных связей ФУвх2 подходит ФУ $V?/V!$ (допустим, что здесь отслеживание информации не существенно), а для незамкнутых входных ФУвых подходит ФУ $VI?/VI!$. В соответствии с контекстом два входных алфавитных потока должны свестись к одному на выходе. Это осуществляется путем объединения в один ФУ, например, ФУ, обеспечивающих незамкнутые выходные связи ФУвх1 и ФУвх2, т. е. $VI?/VI!$ и $V?/V!$. В данном случае в рамках такого объединенного ФУ происходит слияние двух потоков вещества.

Требование, чтобы на диаграмме было шесть подпроцессов (два входных) приводит к единственному варианту, когда промежуточные ФУ, обеспечивающие незамкнутые выходные и входные связи ФУвх1, ФУвх2 и ФУвых, т. е. ФУвх_п и ФУвых_п соединяются между собой через еще один промежуточный ФУ (ФУп).

Таким образом, результатом выполнения упомянутого алгоритма является диаграмма, представленная на рис. 8. На данном рисунке $Vп$ и $Vп^*$ – промежуточные потоки V , $Iп$ и $Iп^*$ – промежуточные потоки I .

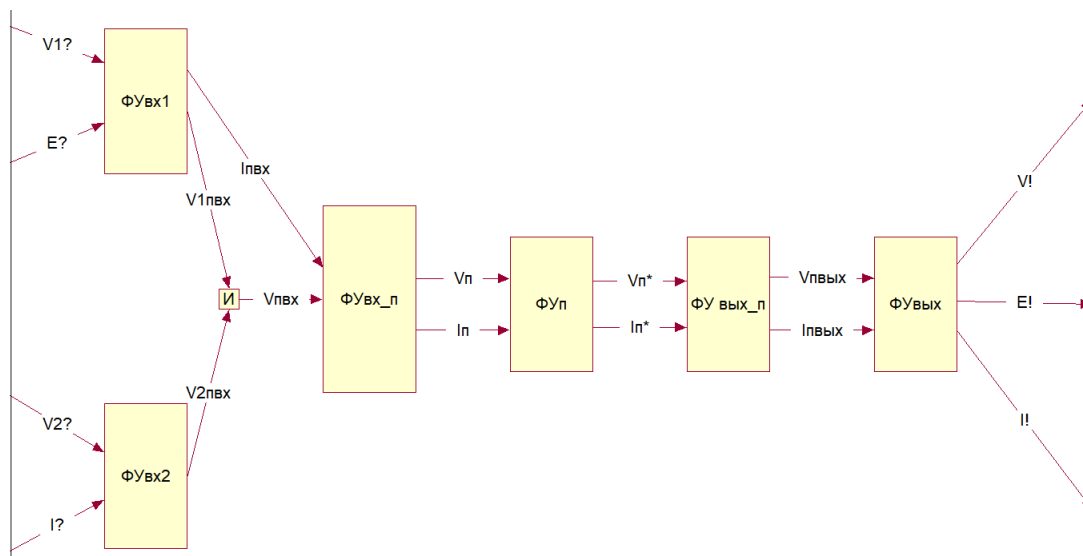


Рис. 8. Завершение декомпозиции контекстного процесса 2 (конечный результат)
 Fig. 8. Completion of decomposition of context process 2 (final result)

Содержательно данный пример можно интерпретировать как фрагмент модели производства аммиака из азотводородной смеси, акцентирующей внимание на стадии подготовки и обработки исходной смеси. Таким образом, ФУ и связи приобретают следующий смысл:

ФУвх1 – эндотермический процесс получения водорода путем парокислородной конверсии метана;

ФУвх2 – процесс получения азота путем ректификации жидкого воздуха;

ФУвх_п – процесс получения азотводородной смеси;
ФУп – очистка смеси от кислорода, водяных паров, пыли и других веществ;
ФУвых_п – сжатие смеси;
ФУвых – экзотермический процесс синтеза аммиака;
V₁? – метан;
E? – тепловая энергия для получения водорода из метана;
V₂? – сжиженный воздух;
I? – информация о качестве общества;
V! – аммиак;
E! – выход тепловой энергии при синтезе аммиака;
I! – информация о состоянии и количестве аммиака;
V₁пвх – водород;
V₂пвх – азот;
Vп – азотводородная смесь;
Vп* – азотводородная смесь очищенная;
Vпвых – азотводородная смесь очищенная и сжатая;
Iпвх, Iп, Iп*, Iпвых – информация о состоянии и количестве соответствующего потока.

Заключение

Проведенные исследования показали, что ФСНС системно-объектного УФО-подхода позволяет предложить алгоритм частичной автоматизации построения графических моделей процессов. Применение данного алгоритма гарантирует соответствие в модели используемых процессами ресурсов получаемым результатам, что позволяет избежать при моделировании ошибок, обусловленных человеческим фактором. Приведенные примеры подтвердили работоспособность алгоритма.

В данной статье диаграммы, выстраиваемые формализованным способом, получали содержательную интерпретацию после их построения. Это обусловлено желанием авторов акцентировать внимание читателя на формальных процедурах, предусмотренных алгоритмом. На практике использование нормативной системы и учет содержательных аспектов модели осуществляются аналитиком одновременно (параллельно). Собственно, это и позволяет задавать ограничения при построении диаграмм. При этом предлагаемый алгоритм обеспечивает разработчика всеми возможными непротиворечивыми вариантами. За человеком остается выбор в соответствии с особенностями моделируемых процессов, которые ему известны.

Использование предлагаемого алгоритма на практике предполагает создание соответствующего программного инструментария, проектированием которого авторы занимаются в настоящее время.

Список источников

- Аливия. Онлайн нейросеть для генерации моделей IDEF0. 2025. URL: <https://aliviy.io/idef0/> (дата обращения 15.09.2025).
- Построение DFD-диаграмм. Пример 2. Приготовление кофе в автомате. 2025. URL: <https://systems.education/data-flow-diagrams#example2> (дата обращения 15.09.2025)
- Репин В. Нотации моделирования процессов в Business Studio: «Процедура», eEPC и BPMN. Что выбрать? 2025. URL: https://www.businessstudio.ru/articles/article/notatsii_modelirovaniya_protsestsovtov_v_bs_chno_vybrat/?ysclid=mml4y4d9yd367976272 (дата обращения 15.09.2025).
- Idef0 диаграмма поликлиника – 98 фото. 2025. URL: <https://logoslab.ru/library/idef0-diagramma-poliklinika.html> (дата обращения 15.09.2025).

Список литературы

- Анисов А. 2012. Генетический метод построения теорий. *Журнальный клуб Интелрос «Credo New»*, 3. URL: http://www.intelros.ru/readroom/credo_new/k3-2012/15342-geneticheskiy-metod-postroeniya-teoriy.html/ (дата обращения 15.09.2025).

- Гренандер У. 1979. Лекции по теории образов. 1 Синтез образов. Москва. Изд-во Мир, 382 с.
- Гренандер У. 1981. Лекции по теории образов. 2 Анализ образов. Москва. Изд-во Мир, 448 с.
- Дубейковский В.И. 2007. Эффективное моделирование с AllFusion Process Modeler 4.1.4 и AllFusion PM. Москва. Изд-во ДИАЛОГ-МИФИ, 382 с.
- Елизарова Н.Н., Архангельская Е.Л. Применение графоаналитического метода анализа предметной области при проектировании информационных систем. *Вестник ИГЭУ*. 2010. №4: 1-5.
- Казиев В.М. 2014. Введение в анализ, синтез и моделирование систем. Москва. Изд-во БИНОМ. Лаборатория знаний, 244 с.
- Маклаков С.В. 2004. Моделирование бизнес-процессов с ALLFusion Process Modeler (BPwin 4.1). Москва. Изд-во ДИАЛОГ-МИФИ, 240 с.
- Маторин С.И., С.А. Песоцкий, А.Г. Жихарев, Ю.В. Дмитриева. 2024. Усовершенствованный алфавит для графоаналитического моделирования процессов с использованием системно-объектного анализа. *Искусственный интеллект и принятие решений*, 2: 62-75.
- Маторин С.И., Жихарев А.Г., Дмитриева Ю.В. 2025. Информационное моделирование бизнес-процессов с использованием формально-семантического алфавита. *Научно-техническая информация*, 2 (1): 16-20.
- Маторин С.И., Дмитриева Ю.В., Жихарев А.Г. 2025. Свойства усовершенствованного алфавита нотации «Узел-Функция-Объект» для графоаналитического моделирования бизнес-процессов. *Искусственный интеллект и принятие решений*, 3: 32-41.
- Маторин С.И., Жихарев А.Г., Дмитриева Ю.В. 2025. Проблемы графоаналитического моделирования процессов, обусловленные человеческим фактором. X Всероссийская научно-техническая конференция «Информационные технологии в науке, образовании и производстве» (ИТНОП-2025): Сборник конференции: 190-194.

References

- Anisov A. 2012. Genetic Method of Constructing Theories. Journal Club Intelros "Credo New", 3. URL: http://www.intelros.ru/readroom/credo_new/k3-2012/15342-geneticheskiiy-metod-postroeniya-teoriiy.html/ (accessed on 15.09.2025). (in Russian)
- Grenander W. 1979. Lekcii po teorii obrazov. 1 Sintez obrazov [Lectures on Image Theory. 1 Image Synthesis]. Moscow. Mir Publishing House, 382 p.
- Grenander, W. 1981. Lekcii po teorii obrazov. 2 Analiz obrazov [Lectures on the Theory of Images. 2 Analysis of Images]. Moscow. Mir Publishing House, 448 p.
- Dubeykovsky V.I. 2007. Effektivnoe modelirovanie s AllFusion Process Modeler 4.1.4 i AllFusion PM [Effective Modeling with AllFusion Process Modeler 4.1.4 and AllFusion PM]. Moscow. DIALOG-MIFI Publishing House, 382 p. (in Russian)
- Elizarova N.N., Arkhangel'skaya E.L. 2010. Application of the graph-analytical method of domain analysis in the design of information systems. *Vestnik IGEU*, 4: 1-5. (in Russian)
- Kaziev V.M. 2014. Vvedenie v analiz, sintez i modelirovanie system [Introduction to the Analysis, Synthesis and Modeling of Systems]. Moscow. Publishing House BINOM. Knowledge Laboratory, 244 p. (in Russian)
- Maklakov S.V. 2004. Modelirovanie biznes-processov s ALLFusion Process Modeler (BPwin 4.1) [Modeling Business Processes with ALLFusion Process Modeler (BPwin 4.1)]. Moscow. DIALOG-MIFI Publishing House, 240 p. (in Russian)
- Matorin, S.I., Pesotsky S.A., Zhikharev A.G., Dmitrieva Yu.V. 2024. Improved Alphabet for Graphoanalytic Modeling of Processes Using System-Object Analysis. *Artificial Intelligence and Decision-Making*, 2: 62-75. (in Russian)
- Matorin S.I., Zhikharev A.G., Dmitrieva Yu.V. 2025. Information Modeling of Business Processes Using a Formal-Semantic Alphabet. *Scientific and Technical Information*, Ser.2. No.1: 16-20. (in Russian)
- Matorin S.I., Dmitrieva Yu.V., Zhikharev A.G. 2025. Properties of the Improved Node-Function-Object Notation Alphabet for Graph-Analytical Modeling of Business Processes. *Artificial Intelligence and Decision-Making*, 3: 32-41. (in Russian)
- Matorin S.I., Zhikharev A.G., Dmitrieva Yu.V. 2025. Problems of graph-analytical modeling of processes caused by the human factor. X All-Russian Scientific and Technical Conference "Information Technologies in Science, Education, and Production" (ITNOP-2025): Conference Proceedings: 190-194. (in Russian)



Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

Поступила в редакцию 22.11.2025
Поступила после рецензирования 15.01.2026
Принята к публикации 20.01.2026

Received November 22, 2025
Revised January 15, 2026
Accepted January 20, 2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Дмитриева Юлия Викторовна, старший преподаватель кафедры информационных систем и технологий, Белгородский университет кооперации, экономики и права, г. Белгород, Россия

Жихарев Александр Геннадиевич, доктор технических наук, доцент, директор института инженерных и цифровых технологий, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yulia V. Dmitrieva, Senior Lecturer, Department of Information Systems and Technologies, Belgorod University of Cooperation, Economics and Law, Belgorod, Russia

Aleksandr G. Zhikharev, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Engineering and Digital Technologies, Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia