

ИНФОРМАТИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ/INFORMATICS AND INFORMATION PROCESSES

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.172.10> EDN: XKTCBR

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ СКВОЗНЫХ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

Научная статья

Хруничев Р.В.^{1,*}, Гринченко Н.Н.², Гнускин Д.В.³, Борисова А.Д.⁴, Кравец А.А.⁵¹ ORCID : 0009-0006-1442-0649;² ORCID : 0000-0003-2318-276X;^{1, 2, 3, 4, 5} Рязанский государственный радиотехнический университет имени В.Ф. Уткина, Рязань, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (hrunichev_robert[at]mail.ru)

Предложена: 23.07.2026; Принята: 21.09.2026; Опубликовано: 16.10.2026

Аннотация

Расширение возможностей больших языковых моделей сформировало предпосылки для перехода от автоматизации отдельных операций к интеллектуальным агентам, способным анализировать контекст, планировать действия и взаимодействовать с корпоративными системами. Вместе с тем отсутствует единообразная процедура определения состава агентов, распределения функций между человеком, агентами и детерминированными сервисами, а также назначения допустимого уровня автономности. Цель исследования — разработка структурно-функционального подхода к проектированию мультиагентных систем автоматизации сквозных бизнес-процессов.

Предложены операциональные описания бизнес-процесса и агента, шестиуровневая архитектура, формализованное правило выбора между детерминированным сервисом и агентным исполнением, показатель агентной применимости и риск-ориентированная матрица автономности. Разделены автоматическое исполнение детерминированным сервисом и автономность интеллектуального агента. Введено явное правило совместного применения ограничения по агентной применимости, процессному риску и качеству данных. Расчётно-модельная апробация выполнена на процессе обработки внутренней производственной заявки. Для демонстрационного примера приведены исходные оценки операций, что обеспечивает воспроизводимость расчётов. Показано, что автономность должна назначаться конкретной операции с учётом критичности, обратимости и неопределённости, а не являться постоянным свойством агента.

Ключевые слова: бизнес-процесс, мультиагентная система, ИИ-агент, агентная применимость, архитектура, автономность, управление автономностью.

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL APPROACH TO DESIGNING MULTI-AGENT INTELLIGENT SYSTEMS FOR END-TO-END BUSINESS PROCESS AUTOMATION

Research article

Khrunichev R.V.^{1,*}, Grinchenko N.N.², Gnuskin D.V.³, Borisova A.D.⁴, Kravets A.A.⁵¹ ORCID : 0009-0006-1442-0649;² ORCID : 0000-0003-2318-276X;^{1, 2, 3, 4, 5} Ryazan State Radio Engineering University named after V.F. Utkin, Ryazan, Russian Federation

* Corresponding author (hrunichev_robert[at]mail.ru)

Suggested: 23.07.2026; Accepted: 21.09.2026; Published: 16.10.2026

Abstract

The development of large language models has created prerequisites for moving from the automation of individual operations to intelligent agents capable of analysing context, planning actions and interacting with corporate information systems. However, there is still no uniform reproducible procedure for determining which operations of an end-to-end business process should be assigned to deterministic services, intelligent agents or human performers and what level of autonomy should be permitted. The aim of the research is to develop a structural and functional approach to the design of multiagent systems for the automation of end-to-end business processes.

The paper proposes operational representations of a business process and an intelligent agent, a six-level system architecture, a formal rule for separating deterministic and agent-based execution, an agent applicability indicator and a risk-oriented autonomy matrix. Deterministic software execution is explicitly separated from intelligent-agent autonomy. A formal rule combines restrictions arising from agent applicability, process risk and data quality. A model-based case study is performed for an internal production request process. For illustrative examples, the initial estimates for the operations are provided, ensuring that the calculations can be reproduced. The results demonstrate that autonomy should be assigned to a specific operation considering its criticality, reversibility and uncertainty rather than treated as a permanent property of an agent.

Keywords: business process, multi-agent system, AI agent, agent applicability, architecture, autonomy, autonomy management.

Введение

Управление бизнес-процессами включает выявление, моделирование, исполнение, мониторинг и совершенствование взаимосвязанных видов деятельности организации. В классическом жизненном цикле BPM автоматизация основывается на предварительно определённых маршрутах, ролях и правилах обработки исключений [1]. Архитектуры BPM-систем обеспечивают координацию задач, данных и программных сервисов, однако предполагают, что большая часть допустимых состояний процесса известна до начала исполнения [2].

Данное ограничение существенно для сквозных межфункциональных процессов, включающих разнородные документы, неполные сведения и изменяющиеся требования. Современное направление развития BPM связано с применением искусственного интеллекта не только для анализа журналов, но и для моделирования, исполнения и мониторинга процессов [3], [4].

Основой такого перехода являются интеллектуальные агенты. Для агентов на базе больших языковых моделей характерны память, планирование и использование внешних инструментов [5]. В теории искусственного интеллекта агент выбирает действия с учётом наблюдаемой среды и ожидаемого результата [6]. Подход ReAct объединяет рассуждение и инструментальные действия, позволяя модели уточнять сведения и корректировать план [7]. Однако для корпоративного применения агент должен дополнительно соблюдать процессные зависимости, полномочия, ограничения доступа и правила эскалации.

Проблема исследования состоит в противоречии между функциональной гибкостью ИИ-агентов и недостаточной формализованностью процедур их включения в сквозной бизнес-процесс. Проектирование, начинающееся с выбора модели или агентного программного каркаса, может приводить к дублированию функций, избыточным полномочиям и отсутствию связи между действиями агентов и показателями процесса.

Цель работы — разработать структурно-функциональный подход, позволяющий определить состав агентной системы, распределить операции между человеком, агентами и программными сервисами, а также установить уровни автономности.

Научная новизна заключается не в самом наборе ролей типа planner, executor и critic, известных в современных агентных архитектурах, а в процедуре перехода от модели бизнес-процесса к составу агентов посредством операциональной оценки применимости, проверки архитектурных условий и назначения автономности каждой операции.

Методы и принципы исследования

Использованы системный анализ, структурно-функциональная декомпозиция, процессное моделирование, экспертное оценивание и анализ чувствительности. Модельная апробация выполнена на демонстрационном процессе и не содержит данных конкретной организации.

2.1. Формализация бизнес-процесса и исполнителей

Бизнес-процесс представлен кортежем:

$$P = \langle T, G, D, R, S, C, K \rangle, \quad (1)$$

где T — множество операций;

G — граф переходов;

D — данные;

R — организационные роли;

S — программные системы;

C — нормативные, временные, ресурсные и безопасностные ограничения;

K — показатели результата.

Такое представление отличается от простой последовательности функций тем, что включает как управляющий поток, так и данные, полномочия, программные средства, ограничения и критерии качества.

Интеллектуальный агент определяется как:

$$A_i = \langle G_i, P_i, M_i, L_i, U_i, \Pi_i, H_i \rangle, \quad (2)$$

где G_i — локальная цель;

P_i — механизм восприятия входного контекста;

M_i — оперативная и долговременная память;

L_i — механизм планирования;

U_i — доступные инструменты;

Π_i — политика допустимых действий;

H_i — механизм взаимодействия с человеком и другими агентами.

Обозначим $\mathcal{A}$ множество интеллектуальных агентов, а $R_h \subseteq R$ — множество организационных ролей, непосредственно исполняющих операции. Для назначения исполнителя используется отображение:

$$\mu : T \rightarrow \mathcal{A} \cup S \cup R_h. \quad (3)$$

Уровень автономности определяется только для множества агентно исполняемых операций $T_{\mathcal{A}} = \{t \in T : \mu(t) \in \mathcal{A}\}$, для которых вводится отображение:

$$\lambda : T_{\mathcal{A}} \rightarrow \{0, 1, 2, 3, 4\}. \quad (4)$$

Отображение μ назначает основного исполнителя отдельной операции. Если интеллектуальный агент использует валидатор, API или иной детерминированный компонент как инструмент, такой компонент относится к множеству его инструментов U_i и не является вторым исполнителем операции. Если же программный сервис

самостоятельно изменяет состояние процесса и обладает собственной функцией контроля, исходная операция должна быть декомпозирована на две отдельные операции до применения отображения (3).

Таким образом, детерминированным сервисам не назначается «уровень автономности», они исполняют заранее формализованную функцию в пределах заданных правил. Это устраняет смешение автоматического программного исполнения и автономности интеллектуального агента.

Математические модели мультиагентных систем позволяют описывать состояния, отношения и совместное достижение результата [8]. Источник [8] используется в данной работе как пример формализации состава и связей взаимодействующих агентов, а не как источник по BPM. При применении подобных моделей к бизнес-процессам дополнительно учитываются организационная ответственность, процессные ограничения и политики доступа. Практика мультиагентной обработки документов подтверждает целесообразность функциональной специализации компонентов [9].

2.2. Оценка агентной применимости

Каждая операция оценивается по шести критериям в диапазоне от 0 до 1 с шагом 0,25 (табл. 1).

Таблица 1 - Шкалы оценки операций

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.172.10.1>

Критерий	Значение 0	Значение 1
формализуемость результата f	результат определяется только экспертно	имеются однозначные критерии проверки
качество данных d	данные отсутствуют или недостоверны	данные полны, актуальны и проверяемы
вариативность входов v	вход полностью структурирован	требуется интерпретация текста и контекста
обратимость действия r	действие необратимо	действие полностью отменяется
критичность ошибки c	последствия несущественны	возможны критические последствия
неопределённость u	ситуация полностью регламентирована	правила противоречивы или неполны

Примечание к таблице 1. Рост f , d , v и r повышает потенциальную применимость агентного исполнения, тогда как рост c и u её снижает. Для критерия v высокая вариативность означает наличие неструктурированного текста или контекста, где интеллектуальный агент потенциально полезнее детерминированного сервиса. При этом высокое значение v не означает безопасности автономного действия — фактический уровень автономности дополнительно ограничивается критичностью, обратимостью, неопределённостью и качеством данных.

2.2.1. Экспертная процедура

Оценивание выполняют не менее трёх специалистов — владелец процесса, специалист ИТ-отдела и специалист по рискам и (или) безопасности. Каждый эксперт независимо выставляет оценки f , d , v , r , c , u . Итоговая оценка операции по каждому критерию определяется медианой. Для определения весов каждый эксперт независимо формирует матрицу попарных сравнений критериев между собой. Индивидуальные суждения агрегируются на уровне элементов матриц геометрическим средним, после чего из агрегированной матрицы определяется нормированный вектор приоритетов. Отношение согласованности проверяется как для индивидуальных матриц, так и для агрегированной матрицы, а условием принятия является $OC \leq 0,10$. При превышении данного значения сравнения пересматриваются экспертами.

Для ранжирования операций по критериям рассчитывается коэффициент конкордации Кендалла W . В качестве проектного условия принимается $W \geq 0,70$. Размах индивидуальных оценок одной операции более 0,25 либо

$W < 0,70$ требует повторной экспертной оценки. Если и тогда условие согласия не достигнуто, операции не может быть назначен уровень автономности 3-4, она передаётся на дополнительную верификацию владельцу процесса и специалисту по рискам. Порог $W = 0,70$ проектный и подлежит уточнению при промышленной апробации.

В демонстрационном примере исходные оценки и веса являются согласованными авторскими модельными значениями. Это сделано для воспроизводимой проверки процедуры.

Для модельного примера используются веса:

$$I_a = 0,18f + 0,18d + 0,14v + 0,10r + 0,25(1 - c) + 0,15(1 - u). \quad (5)$$

Таблица 2 - Соответствие показателя I_a предварительному уровню автономности

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.172.10.2>

Значение I_a	Предварительный уровень	Режим
$I_a < 0,45$	0	ручное исполнение
$0,45 \leq I_a < 0,60$	1	информационная поддержка

Значение I_a	Предварительный уровень	Режим
$0,60 \leq I_a < 0,75$	2	подготовка решения с подтверждением
$0,75 \leq I_a < 0,85$	3	ограниченная автономность
$I_a \geq 0,85$	4	автономное исполнение не критичного фрагмента

Уровень 4 разрешается только при $c=0$, $u=0$, $r \geq 0,75$ и наличии формальной проверки результата. При невыполнении хотя бы одного из указанных условий предварительный уровень ограничивается значением 3.

Значения 0,45, 0,60, 0,75 и 0,85 не устанавливаются как универсальные нормативные границы. Это проектные пороги демонстрационной модели, которые должны калиброваться на журналируемых процессах конкретной организации.

Аддитивная свёртка является предварительным показателем и не должна компенсировать критически низкое качество данных другими благоприятными признаками. Поэтому до окончательного назначения уровня действует условие-вето: при $d=0$ операция исключается из T_A и агентное исполнение не допускается; при $d=0,25$ уровень агентного исполнения ограничивается значением 1; при $d \geq 0,50$ дополнительное ограничение по данным не вводится.

Обозначим данный предел через $\lambda_d(t)$.

До применения I_a также выполняется проверка на детерминированность. Если $f \geq 0,75$, $v \leq 0,25$, $u \leq 0,25$, алгоритм полностью задаётся правилами и результат формально проверяем, предпочтение отдаётся программному сервису. В этом случае I_a может рассчитываться только как диагностический показатель и не определяет автономность.

Для операции $t \in T_A$ окончательный уровень определяется как:

$$\lambda(t) = \min\{\lambda_{I_a}(t), \lambda_{\text{риск}}(t), \lambda_d(t)\}, \quad (6)$$

где $\lambda_{I_a}(t)$ — предварительный уровень по таблице 2, $\lambda_{\text{риск}}(t)$ — максимальный уровень, разрешённый матрицей риска, $\lambda_d(t)$ — предел, обусловленный качеством данных.

Если операция отнесена к детерминированному сервису или обязательному персональному решению, она не входит в T_A , и функция λ к ней не применяется.

2.3. Выбор типа архитектуры

Введён индекс архитектурной сложности:

$$I_m = 0,20h + 0,15p + 0,20q + 0,15a + 0,10k + 0,10e + 0,10l, \quad (7)$$

где h — неоднородность предметных областей, p — параллельность операций, q — потребность в независимом контроле, a — различие прав доступа, k — нестабильность общего контекста, e — различие локальных целей, l — потребность в локализации ошибок.

Показатели оцениваются по шкале 0; 0,5; 1.

Коэффициенты формулы (7) в демонстрационной модели являются авторскими проектными весами, а не эмпирически установленными универсальными величинами. При промышленном применении веса должны определяться отдельной экспертной процедурой МАИ, аналогично приведённой в разделе 2.2, а условием принятия весов является $OC \leq 0,10$.

Мультиагентная архитектура выбирается при $I_m \geq 0,55$, а также независимо от индекса, если $q=1$ или $a=1$. Если $q=1$ или $a=1$, решение о мультиагентной архитектуре уже определяется безусловным правилом, а значение I_m используется только как диагностическая характеристика сложности. Поэтому индекс имеет самостоятельное решающее значение прежде всего для случаев $q < 1$ и $a < 1$. Например, при $h=1$, $p=1$, $q=0$, $a=0$, $k=1$, $e=1$, $l=0,5$, поскольку $q=0$ и $a=0$, безусловные условия выбора мультиагентной архитектуры не выполняются. В этом случае $I_m=0,6 > 0,55$ и решение определяется непосредственно значением индекса архитектурной сложности.

Порог является проектным и должен калиброваться по результатам пилотных внедрений, поэтому не рассматривается как универсальная константа.

2.4. Процедура проектирования

На первом этапе формируется модель P , определяются операции, данные и ограничения.

На втором этапе операции при необходимости декомпозируются до уровня, на котором каждой операции соответствует один основной исполнитель, после чего выполняется проверка возможности детерминированного исполнения.

На третьем этапе для операций-кандидатов на агентное исполнение рассчитывается I_a , применяется условие по качеству данных и определяется предварительный уровень λ_{I_a} .

На четвёртом этапе строится отображение μ , затем для операций T_A определяется окончательный уровень по формуле (6).

На пятом этапе операции объединяются в область одного агента при совпадении цели, контекста, прав и политики; независимая проверка при необходимости реализуется отдельным агентом-контролёром.

На шестом этапе рассчитывается I_m , применяются безусловные архитектурные правила, выбирается архитектура и проверяются полнота назначения исполнителей и маршруты эскалации.

Основные результаты

3.1. Структурно-функциональная архитектура

Предлагаемая архитектура включает шесть уровней (табл. 3).

Таблица 3 - Уровни мультиагентной системы

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.172.10.3>

Уровень	Основное содержание
процессно-целевой	цель процесса, показатели, сроки, контрольные события
оркестрационный	запуск экземпляра, маршрут, состояния, эскалация
интеллектуальных агентов	восприятие, контекст, планирование, решение, контроль, коммуникация
интеграционный	API, RPA, валидаторы, шлюз полномочий и лимитов
данных и знаний	справочники, регламенты, онтологии, журналы и версии
управления и безопасности	доступ, аудит, тестирование, контроль моделей, аварийный режим

Концепция Agentic BPMS предполагает сочетание автономности и процессной осведомлённости [10]. Предлагаемая архитектура конкретизирует эту связь — каждое действие относится к определённому экземпляру процесса, агенту, политике и контрольному событию. Практические исследования агентного BPM также подтверждают необходимость явного управления полномочиями, рисками и ответственностью [11].

Семь функциональных ролей — восприятие, контекстуализация, планирование, принятие решения, исполнение, контроль и коммуникация — не рассматриваются как самостоятельная новая таксономия. Они являются адаптацией распространённых шаблонов planner-executor-critic к процессной архитектуре. Несколько ролей могут быть объединены, если отсутствует конфликт полномочий.

Граф **G** задаёт допустимую последовательность и параллельность операций. Формальные ограничения могут быть представлены средствами сетей Петри или аналогичных моделей [12]. Агент не изменяет обязательный маршрут, если такое изменение не разрешено политикой **P_i**.

3.2. Матрица автономности

Пятиуровневая шкала адаптирует логику присутствия человека в контуре к операциям бизнес-процесса и не заявляется как новая универсальная классификация. В таблице 4 отражена риск-модель организации, определяемая внутренними локальными нормативными актами и допустимый уровень автономности операций.

Таблица 4 - Матрица риска и автономности

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.172.10.4>

Условия	, не более	Участие человека
$c \geq 0,75$ или $r=0$ при $c \geq 0,25$	1	человек принимает решение и выполняет/разрешает действие
$0,50 \leq c < 0,75$, $r > 0$	2	предварительное подтверждение обязательно
$0,25 \leq c < 0,50$, $r > 0$	3	контроль исключений и выборочная проверка
$c < 0,25$, $r=0$	2	необратимое действие требует подтверждения
$c < 0,25$, $r > 0$	4	мониторинг и возможность остановки

Матрица покрывает все сочетания диапазонов критичности и признака полной необратимости. Уровень 0 соответствует ручному исполнению, уровень 1 — информационной поддержке, уровень 2 — подготовке решения, уровень 3 — ограниченной автономности, уровень 4 — автономному исполнению некритичного фрагмента. При ухудшении данных или росте неопределённости уровень понижается в соответствии с формулой (6).

Риск-ориентированное назначение автономности соответствует функциям управления, определения контекста, измерения и обработки рисков NIST AI RMF [13]. Требования к владельцам, жизненному циклу моделей и контролю изменений согласуются с ISO/IEC 42001:2023 [14]. Для генеративных моделей дополнительно учитываются недостоверный контент, раскрытие данных и чрезмерная зависимость пользователя [15].

3.3. Сопоставление с существующими подходами

Сопоставление выполнено не для противопоставления подходов, а для выявления процедурных элементов, которые формализуются в предлагаемой модели. Отсутствие элемента в таблице означает, что в цитируемых работах он не задан как самостоятельное формальное правило.

Таблица 5 - Сопоставление подходов для интеллектуального выполнения бизнес-процессов

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.172.10.5>

Элемент сравнения	AI-augmented BPM [3]	Agentic BPMS и agent governance [10], [11]	Предлагаемый подход
назначение автономности	-	автономное поведение связывается с процессно-осведомлённым агентом, отображение не вводится	конкретная операция
отбор детерминированных операций	-	-	проверка f, v, u , формализуемости алгоритма и проверяемости результата до расчёта автономности
выбор архитектуры	рассматривается включение ИИ в BPM-систему	задана концепция agentic BPMS и процессной осведомлённости	индекс I_m и безусловные правила $q=1$ или $a=1$
ограничение полномочий	рассматривается на уровне управления ИИ и BPM	вопросы управления, рисков и ответственности являются самостоятельной проблемой [11]	формула (6) и политики Π_i
разделение сервиса и агента	не является центральным объектом формализации	допускается сочетание программных и агентных компонентов	детерминированному сервису уровень автономности принципиально не назначается
проверяемость назначения	зависит от конкретной реализации	зависит от реализации agent governance	исходные оценки, веса, пороги и правила явно фиксируются

Отличие предлагаемого результата состоит не в утверждении нового класса BPM-систем, а в формализованной процедуре перехода от модели процесса к выбору исполнителя и допустимой автономности конкретной операции.

3.4. Модельная апробация

Рассмотрен процесс обработки внутренней заявки. Процесс включает регистрацию, извлечение реквизитов, проверку полноты, сопоставление данных ERP, MES и PLM, подготовку варианта решения, утверждение ответственным работником и исполнение утверждённого изменения (табл. 6).

Таблица 6 - Исходные модельные оценки и распределение операций

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.172.10.6>

Операция	f	d	v	r	c	u	I_a	Исполнитель	Предел риска	Предел по данным	Итог
регистрация заявки	1	1	0	1	0,25	0	0,80	детерминированный сервис	-	-	-
извлечение	0,75	0,75	1	1	0,25	0,25	0,81	агент воспри	3	3	4

Опера ция	f	d	v	r	c	u	I_a	Испол нитель		Преде л риска	Преде л по данны м	Итог
реквиз итов								ятия				
провер ка полнот ы	1	0,75	0,5	1	0,25	0	0,82	агент- контро лёр	3	3	4	3
сопост авлени е данны х	0,75	0,75	0,75	0,75	0,5	0,5	0,65	агент контек стуали зации	2	2	4	2
подгот овка вариан та	0,75	0,75	1	0,75	0,5	0,5	0,69	агент планир ования	2	2	4	2
утверж дение измене ния	0,5	0,75	0,5	0,25	1	0,5	0,40	ответс твенн ый работн ик	-	-	-	-
исполн ение в ERP/M ES	1	1	0	0,5	0,5	0	0,69	детерм иниро ванны й сервис	-	-	-	-

Примечание к таблице 6. Значения I_a приведены с округлением до двух знаков после запятой. Точные значения приведены в таблице 7. При $d \geq 0,5$ дополнительное ограничение по качеству данных отсутствует, поэтому для агентно исполняемых операций в столбце λ_d указан максимально допустимый уровень 4.

Исполнение в ERP/MES имеет обязательное предварительное условие — завершённое утверждение ответственным работником, однако основным исполнителем самой операции является детерминированный сервис.

Оценки являются авторскими модельными значениями и приведены для проверки расчётной процедуры.

Регистрация и исполнение в ERP/MES относятся к детерминированным сервисам не по величине I_a , а по причине выполнения правила детерминированности, т.е. операции структурированы, формализуемы и выполняются по однозначному алгоритму. Поэтому значения $I_a=0,80$ и $0,69$ для них являются оценочными и не используются для назначения автономности.

Извлечение реквизитов имеет высокий уровень вариативности и требует интерпретации содержания, поэтому относится к агентному исполнению. Сопоставление данных и подготовка решения выполняются только с подтверждением. Утверждение остаётся за человеком вследствие критичности.

В рассматриваемом примере ни одна операция не получает уровень 4. Наиболее близка к такому режиму операция проверки полноты, для неё действие обратимо $r=1$, неопределённость отсутствует $u=0$ и результат допускает формальную проверку, однако $I_a=0,8225 < 0,85$ и $c=0,25 \neq 0$. Поэтому дополнительное условие уровня 4 не выполняется.

3.4.1. Проверка архитектуры

Для выбора архитектуры приняты $h=1$, $p=0,5$, $q=1$, $a=1$, $k=0,5$, $e=0,5$, $l=1$. По формуле (7) $I_m = 0,20 \cdot 1 + 0,15 \cdot 0,5 + 0,20 \cdot 1 + 0,15 \cdot 1 + 0,10 \cdot 0,5 + 0,10 \cdot 0,5 + 0,10 \cdot 1 = 0,825$. Для данного процесса мультиагентное решение определяется прежде всего безусловными условиями $q=1$ и $a=1$. Значение $I_m=0,825$ является диагностическим подтверждением высокой архитектурной сложности, но не самостоятельным основанием выбора. Целевая система включает агента восприятия, агента контекстуализации, агента планирования и решения, независимого агента-контролёра, оркестратор и детерминированные сервисы.

3.4.2. Анализ чувствительности

Однофакторный анализ чувствительности выполнен изменением одного веса формулы (5) на $\pm 20\%$ с последующей нормировкой. Ни для одной операции исходный интервал I_a не изменился.

При одновременном граничном варьировании всех весов на $\pm 20\%$ с последующей нормировкой показатель регистрации заявки изменяется в пределах 0,745–0,845 и пересекает границу 0,75. Это не изменяет итогового назначения, поскольку регистрация отнесена к детерминированному сервису до применения I_a , однако показывает, что утверждение об устойчивости интервалов справедливо только для однофакторного анализа.

Для практической оценки устойчивости дополнительно рассчитывается запас до ближайшего порога (табл. 7).

Таблица 7 - Запас значения I_a до ближайшей проектной границыDOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2026.172.10.7>

Операция	Точное значение I_a	Ближайшая граница	Запас
регистрация заявки	0,7975	0,75	0,0475
извлечение реквизитов	0,8100	0,85	0,0400
проверка полноты	0,8225	0,85	0,0275
сопоставление данных	0,6500	0,60	0,0500
подготовка варианта	0,6850	0,75	0,0650
утверждение изменения	0,3950	0,45	0,0550
исполнение в ERP/MES	0,6850	0,75	0,0650

Минимальный запас наблюдается у проверки полноты и извлечения реквизитов, поэтому именно эти операции требуют приоритетной повторной оценки при изменении условий процесса.

Дополнительно исследовано изменение одной исходной оценки на один шаг шкалы, то есть $\pm 0,25$. Для большинства операций режим сохраняется. Для операции извлечения реквизитов увеличение критичности с $c=0,25$ до $c=0,50$ уменьшает $I_a=0,81$ до 0,7475, что переводит операцию из диапазона ограниченной автономности в режим подготовки решения с подтверждением. Следовательно, данная операция является чувствительной к экспертной оценке критичности и перед промышленным внедрением требует повторной оценки. Это не противоречит процедуре, а демонстрирует назначение анализа чувствительности.

Апробация не направлена на оценку экономической эффективности промышленного решения. Она демонстрирует применимость процедуры, для каждой операции определены исходные оценки, тип исполнителя и допустимый режим.

Обсуждение

Предложенный подход отделяет техническую возможность обработки операции от организационной допустимости автономного действия. Высокое значение I_a не отменяет требований к полномочиям, персональной ответственности и обязательному подтверждению.

Аддитивный показатель является средством предварительного ранжирования. Его ограничениями являются зависимость от экспертных оценок и частичная компенсаторность критериев. Поэтому он дополнен условием-вето по качеству данных, риск-ориентированным ограничением, анализом чувствительности и отдельной оценкой архитектурной сложности.

В отличие от AI-augmented BPM и Agentic BPMS, предлагаемый подход не ограничивается концепцией интеллектуального исполнения процесса, а задаёт воспроизводимую последовательность: модель процесса — декомпозиция — отбор детерминированных операций — оценка агентной применимости — назначение исполнителей — ограничение автономности — проверка архитектуры.

Ограничением исследования является модельный характер апробации. Не оценивались вычислительные затраты, задержки межагентного взаимодействия и фактическое качество моделей. Эти параметры должны измеряться в промышленном пилоте.

Заключение

Разработан структурно-функциональный подход к проектированию мультиагентных систем автоматизации сквозных бизнес-процессов.

Кортежные описания бизнес-процесса и агента включены в проектную процедуру через отображения, назначающие исполнителя и уровень автономности каждой операции.

Показатель агентной применимости дополнен шкалами критериев, способом определения весов, порогами решений, условиями запрета и анализом чувствительности. Произвольное правило выбора мультиагентной системы заменено индексом архитектурной сложности и обязательными условиями независимого контроля и разделения прав доступа.

Сформированы шестиуровневая архитектура и матрица автономности, связывающая режим исполнения с риском конкретной операции.

Расчётно-модельная апробация позволила распределить семь операций между программными сервисами, специализированными агентами и человеком. Значения I_a воспроизводятся из приведённых исходных оценок.

При промышленной апробации предлагается учитывать следующие метрики:

- долю агентно исполняемых операций, для которых уровень автономности был автоматически или экспертно понижен;
- частоту эскалаций на 1000 экземпляров процесса;
- долю ошибочных автономных решений среди выполненных агентом действий;
- долю действий, заблокированных независимым контролем до изменения данных;
- среднее время обработки исключения после эскалации;
- изменение доли операций, возвращённых с уровня 3–4 на уровень 1–2 после накопления эксплуатационной статистики.



Полученные результаты подтверждают применимость проектной процедуры к демонстрационному процессу, но не заменяют промышленную проверку.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Dumas M. Fundamentals of Business Process Management / M. Dumas, M. La Rosa, J. Mendling et al. — Berlin: Springer, 2018. — 527 p. doi: 10.1007/978-3-662-56509-4
2. Weske M. Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures / M. Weske. — Berlin: Springer, 2019. — 417 p. doi: 10.1007/978-3-662-59432-2
3. Dumas M. AI-augmented Business Process Management Systems: A Research Manifesto / M. Dumas, F. Fournier, L. Limonad // ACM Transactions on Management Information Systems. — 2023. — Vol. 14. — № 1. — Art. 11. — P. 12–19. — DOI: 10.1145/3576047
4. Fettke P. Business Process Management and Artificial Intelligence / P. Fettke, C. Di Francescomarino // KI — Künstliche Intelligenz. — 2025. — Vol. 39. — P. 67–79. — URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13218-025-00891-y> (accessed: 23.07.26). — DOI: 10.1007/s13218-025-00891-y
5. Wang L. A Survey on Large Language Model Based Autonomous Agents / L. Wang, C. Ma, X. Feng // Frontiers of Computer Science. — 2024. — Vol. 18. — Art. 186345. — P. 1–26. — URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11704-024-40231-1> (accessed: 23.07.26). — DOI: 10.1007/s11704-024-40231-1
6. Russell S.J. Artificial Intelligence: A Modern Approach / S.J. Russell, P. Norvig. — London: Pearson, 2021. — 1166 p.
7. Yao S. ReAct: Synergizing Reasoning and Acting in Language Models / S. Yao, J. Zhao, D. Yu [et al.] // arXiv:2210.03629. — 2023. — DOI: 10.48550/arXiv.2210.03629.
8. Корячко В.П. Математическая модель представления мультиагентных систем и ее применение в задачах топологического проектирования модулей радиоэлектронных средств / В.П. Корячко, Д.А. Перепелкин, В.Ю. Ликучев // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. — 2023. — №83. — С. 48–61. — URL: https://vestnik.rsreu.ru/images/archive/2023/83/3.1_.pdf (дата обращения: 23.07.26). — DOI: 10.21667/1995-4565-2023-83-48-61
9. Кривошеев А.В. Сопряжение мультиагентных и нейросетевых технологий в программной системе распознавания образов для роботизированного документооборота / А.В. Кривошеев // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. — 2024. — №87. — С. 54–61. — URL: <https://vestnik.rsreu.ru/images/archive/2024/87/2.3-.pdf> (дата обращения: 23.07.26). — DOI: 10.21667/1995-4565-2024-87-54-61
10. Dumas M. Agentic Business Process Management Systems / M. Dumas, F. Milani, D. Chapela-Campa // Business Process Management Workshops. Lecture Notes in Business Information Processing. — Cham: Springer, 2026. — Vol. 569. — P. 3–14. — DOI: 10.1007/978-3-032-13426-4_1.
11. Vu H. Agentic Business Process Management: Practitioner Perspectives on Agent Governance in Business Processes / H. Vu, N. Klievtsova, H. Leopold [et al.] // Business Process Management. Lecture Notes in Business Information Processing. — Cham: Springer, 2026. — Vol. 565. — P. 29–43. — DOI: 10.1007/978-3-032-02936-2_3.
12. Волошко А.Г. Оптимизация производственных процессов с использованием математического аппарата расширенных сетей Петри / А.Г. Волошко, А.Н. Ивутин, О.С. Крюков // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. — 2025. — №91. — С. 127–142. — URL: <https://vestnik.rsreu.ru/images/archive/2025/91/3.3-.pdf> (дата обращения: 23.07.26). — DOI: 10.21667/1995-4565-2025-91-127-142
13. Tabassi E. Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0) / E. Tabassi. — Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2023. — NIST AI 100-1. — DOI: 10.6028/NIST.AI.100-1.
14. ISO/IEC 42001:2023. Information Technology — Artificial Intelligence — Management System. — Geneva: International Organization for Standardization, 2023.
15. Autio C. Artificial Intelligence Risk Management Framework: Generative Artificial Intelligence Profile / C. Autio, R. Schwaertz, J. Dunietz [et al.]. — Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2024. — NIST AI 600-1. — DOI: 10.6028/NIST.AI.600-1.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Dumas M. Fundamentals of Business Process Management / M. Dumas, M. La Rosa, J. Mendling et al. — Berlin: Springer, 2018. — 527 p. doi: 10.1007/978-3-662-56509-4
2. Weske M. Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures / M. Weske. — Berlin: Springer, 2019. — 417 p. doi: 10.1007/978-3-662-59432-2



3. Dumas M. AI-augmented Business Process Management Systems: A Research Manifesto / M. Dumas, F. Fournier, L. Limonad // ACM Transactions on Management Information Systems. — 2023. — Vol. 14. — № 1. — Art. 11. — P. 12–19. — DOI: 10.1145/3576047
4. Fettke P. Business Process Management and Artificial Intelligence / P. Fettke, C. Di Francescomarino // KI — Künstliche Intelligenz. — 2025. — Vol. 39. — P. 67–79. — URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13218-025-00891-y> (accessed: 23.07.26). — DOI: 10.1007/s13218-025-00891-y
5. Wang L. A Survey on Large Language Model Based Autonomous Agents / L. Wang, C. Ma, X. Feng // Frontiers of Computer Science. — 2024. — Vol. 18. — Art. 186345. — P. 1–26. — URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11704-024-40231-1> (accessed: 23.07.26). — DOI: 10.1007/s11704-024-40231-1
6. Russell S.J. Artificial Intelligence: A Modern Approach / S.J. Russell, P. Norvig. — London: Pearson, 2021. — 1166 p.
7. Yao S. ReAct: Synergizing Reasoning and Acting in Language Models / S. Yao, J. Zhao, D. Yu [et al.] // arXiv:2210.03629. — 2023. — DOI: 10.48550/arXiv.2210.03629.
8. Koryachko V.P. Matematicheskaya model' predstavleniya mul'tiagentny'x sistem i ee primeneniye v zadachax topologicheskogo proektirovaniya modulej radioelektronny'x sredstv [Mathematical model of multi-agent systems and its application in the tasks of topological design of radio-electronic equipment modules] / V.P. Koryachko, D.A. Perepelkin, V.Yu. Likuchev // Bulletin of Ryazan State Radio Engineering University. — 2023. — №83. — P. 48–61. — URL: https://vestnik.rsreu.ru/images/archive/2023/83/3.1_.pdf (accessed: 23.07.26). — DOI: 10.21667/1995-4565-2023-83-48-61 [in Russian]
9. Krivosheev A.V. Sopryazheniye mul'tiagentny'x i nejrosetevy'x tekhnologiy v programmnoy sisteme raspoznavaniya obrazov dlya robotizirovannogo dokumentooborota [Conjugation of multi-agent and neural network technologies in a software pattern recognition system for robotic document management] / A.V. Krivosheev // Bulletin of Ryazan State Radio Engineering University. — 2024. — №87. — P. 54–61. — URL: <https://vestnik.rsreu.ru/images/archive/2024/87/2.3-.pdf> (accessed: 23.07.26). — DOI: 10.21667/1995-4565-2024-87-54-61 [in Russian]
10. Dumas M. Agentic Business Process Management Systems / M. Dumas, F. Milani, D. Chapela-Campa // Business Process Management Workshops. Lecture Notes in Business Information Processing. — Cham: Springer, 2026. — Vol. 569. — P. 3–14. — DOI: 10.1007/978-3-032-13426-4_1.
11. Vu H. Agentic Business Process Management: Practitioner Perspectives on Agent Governance in Business Processes / H. Vu, N. Klievtsova, H. Leopold [et al.] // Business Process Management. Lecture Notes in Business Information Processing. — Cham: Springer, 2026. — Vol. 565. — P. 29–43. — DOI: 10.1007/978-3-032-02936-2_3.
12. Voloshko A.G. Optimizatsiya proizvodstvenny'x processov s ispol'zovaniem matematicheskogo apparata rasshirenny'x setej Petri [Optimization of production processes using the mathematical apparatus of extended Petri nets] / A.G. Voloshko, A.N. Ivutin, O.S. Kryukov // Bulletin of Ryazan State Radio Engineering University. — 2025. — №91. — P. 127–142. — URL: <https://vestnik.rsreu.ru/images/archive/2025/91/3.3-.pdf> (accessed: 23.07.26). — DOI: 10.21667/1995-4565-2025-91-127-142 [in Russian]
13. Tabassi E. Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0) / E. Tabassi. — Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2023. — NIST AI 100-1. — DOI: 10.6028/NIST.AI.100-1.
14. ISO/IEC 42001:2023. Information Technology — Artificial Intelligence — Management System. — Geneva: International Organization for Standardization, 2023.
15. Autio C. Artificial Intelligence Risk Management Framework: Generative Artificial Intelligence Profile / C. Autio, R. Schwaertz, J. Dunietz [et al.]. — Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2024. — NIST AI 600-1. — DOI: 10.6028/NIST.AI.600-1.