



Математическое моделирование информационных потоков в условиях цифровой трансформации

Владислав Сергеевич Михеев

Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы (РУДН), Москва, Россия,
mail01_10liam@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-3310-248X>

Аннотация

Цель. Разработка и апробация математических моделей информационных потоков предприятия для повышения эффективности управления в условиях цифровой трансформации.

Задачи. Разработать классификацию информационных потоков; провести имитационное моделирование динамики информационного обмена для выявления критических факторов влияния на быстродействие системы.

Методология. Методологическую основу исследования составили комплексный системный анализ, применение диаграмм потоков данных (DFD) для визуализации логики перемещения информации и онтологическое моделирование для динамического управления правами доступа. Техническая часть исследования базируется на проведении полного трехфакторного эксперимента и статистической обработке данных в программной среде Minitab.

Результаты. Автором предложена классификация информационных потоков по таким четырем критериям, как вектор направленности, формализация, периодичность, защищенность. В ходе моделирования работы серверного узла (выборка 12 500 транзакций) получена адекватная регрессионная модель времени отклика. Установлено, что наибольшее влияние на стабильность системы оказывает интенсивность потока ($X_1 = 2,450$), а расширение канала ($X_3 = -1,875$) служит наиболее эффективным способом компенсации задержек. Составлена регрессионная модель, показывающая зависимость времени отклика системы от интенсивности входящих запросов, сложности обработки данных и пропускной способности каналов связи. В ходе эксперимента выявлен синергетический эффект взаимодействия факторов, указывающий на нелинейный рост временных задержек при одновременном усложнении задач и увеличении нагрузки на сеть.

Выводы. Исследование подтверждает необходимость перехода предприятий к микросервисной архитектуре и внедрения интеллектуальных алгоритмов маршрутизации данных. Практическая реализация предложенных подходов позволяет минимизировать информационную избыточность, обеспечить масштабируемость цифрового потока и повысить общую управляемость объектом на 20–30 % в различных секторах экономики. Научная новизна заключается в формализации зависимости между техническими параметрами информационного обмена и финансовыми показателями предприятия. Впервые предложено использовать функцию снижения маржинальности для оценки влияния задержек передачи данных на доходность при промышленной автоматизации.

Ключевые слова: управление в организационных системах, информационные потоки, цифровая трансформация, имитационное моделирование, регрессионный анализ, диаграмма потоков данных (DFD), онтологическое моделирование, Big Data, Minitab

Для цитирования: Михеев В. С. Математическое моделирование информационных потоков в условиях цифровой трансформации // *Экономика и управление*. 2026. Т. 32. № 5. С. 659–671. <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2026-5-659-671>

Mathematical modeling of information flows in the context of digital transformation

Vladislav S. Mikheev

Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia, mail01_10liam@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-3310-248X>

Abstract

Aim. To develop and test mathematical models of an enterprise's information flows to improve management efficiency in the context of digital transformation.

Objectives. To develop a classification of information flows; to conduct simulation modeling of the dynamics of information exchange to identify critical factors affecting system performance.

Methods. The methodological basis of the study consisted of comprehensive systems analysis, the use of data flow diagrams (DFDs) to visualize the logic of information movement, and ontological modeling for dynamic access rights management. The technical part of the study is based on conducting a full three-factor experiment and statistical data processing in the Minitab software environment.

Results. The author proposes a classification of information flows according to four criteria: directionality, formalization, periodicity, and security. During the simulation of server node operation (sample of 12,500 transactions), an adequate regression model of response time was obtained. It was established that the greatest influence on system stability is exerted by flow intensity ($X_1 = 2,450$), while channel expansion ($X_3 = -1.875$) serves as the most effective way to compensate for delays. A regression model was constructed showing the dependence of system response time on the intensity of incoming requests, the complexity of data processing, and the bandwidth of communication channels. The experiment revealed a synergistic effect of factor interaction, indicating a nonlinear increase in time delays with the simultaneous increase in task complexity and network load.

Conclusion. The study confirms the need for enterprises to transition to a microservices architecture and implement intelligent data routing algorithms. The practical implementation of the proposed approaches makes it possible to minimize information redundancy, ensure the scalability of digital flows, and increase overall controllability of the entity by 20–30 % in various economic sectors. The scientific novelty lies in formalizing the relationship between the technical parameters of information exchange and the financial indicators of an enterprise. For the first time, it is proposed to use a margin reduction function to assess the impact of data transmission delays on profitability in industrial automation.

Keywords: management in organizational systems, information flows, digital transformation, simulation modeling, regression analysis, data flow diagram (DFD), ontological modeling, Big Data, Minitab

For citation: Mikheev V.S. Mathematical modeling of information flows in the context of digital transformation. *Ekonomika i upravlenie = Economics and Management*. 2026;32(5):659-671. (In Russ.). <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2026-5-659-671>

Введение

Современный этап глобальной цифровой трансформации диктует новые правила функционирования производственных и административных структур. Традиционные иерархические модели, в течение продолжительного времени служившие надежным средством обеспечения исполнительской дисциплины, сегодня демонстрируют снижение адаптивности. Управление современными организационными системами сталкивается с потребностью качественного обновления механизмов взаимодействия. Переход к динамическим моделям,

ориентированным на данные, не означает полного отказа от субординации, но предполагает создание гибридных систем, при которых вертикальные связи дополняются горизонтальными цифровыми каналами. Основным элементом управления в таких системах выступают информационные потоки. Эффективность последних определяет устойчивость предприятия к внешним и внутренним изменениям. Необходимость трансформации иерархий вызвана экспоненциальным ростом объема данных. Этот процесс порождает избыточную нагрузку на вертикальные каналы связи, что закономерно замедляет принятие управленче-

Классификация информационных потоков в гибридных системах

Table 1. Classification of information flows in hybrid systems

Критерий классификации	Тип информационного потока	Характеристика и целевое назначение
Вектор направленности	Вертикальные (восходящие/нисходящие)	Обеспечение субординации и отчетности перед руководством
	Горизонтальные	Межуровневая координация между функциональными блоками
Степень формализации данных	Структурированные	Данные ERP, БД, жестко заданные массивы для автоматизации
	Неструктурированные	Экспертные оценки, переписка, требующие семантического анализа
Периодичность	Регулярные	Обслуживание оперативных контуров и тактических задач
	Эпизодические (проектные)	Возникают дискретно в ответ на конкретные задачи развития
Уровень защищенности	Открытые/конфиденциальные	Определяют права доступа и протоколы шифрования

Источник: составлено автором.

ских решений. Как пишут И. А. Мамедова и О. Г. Клевнов [1], управление информационными потоками сегодня должно опираться на интеграцию сервисных подходов ИТЛ и логистического принципа 7R, чтобы обеспечить передачу информации нужному потребителю в требуемый срок с минимальными издержками.

Математическое моделирование подобных процессов проводят путем анализа информационных систем и технических объектов. Р. И. Макаров и Е. Р. Хорошева [2] указывают на обязательность формализации информационных потоков через математический аппарат системного анализа. В свою очередь, С. В. Поршневу [3] акцентирует внимание на специфике функционирования потоков в высокоскоростных магистральных каналах, в которых главным ограничителем выступает пропускная способность. В архитектуре современного предприятия А. Б. Анисифоров [4] обосновывает значимость информационно-сервисной поддержки, связывающей корпоративные логистические процессы в единую цифровую среду.

В условиях цифровой трансформации классическая структура предприятия претерпевает изменения, превращаясь в гибридную систему. При этом административные связи подкреплены гибкими информационными связями. Эффективность управления в таких организационных системах напрямую зависит от качества классификации и последующей оптимизации информационных потоков. Под информационным потоком в контексте настоящего исследования мы понимаем совокупность сообщений, циркулирующих внутри системы

и во взаимодействии с внешней средой, необходимых для реализации функций управления.

В целях обеспечения высокого качества управления следует рассматривать систематизацию информационных потоков как аналитический инструмент. Указанный инструмент предназначен не только для структурирования обмена данными, но и для выявления «узких мест» в организационных структурах, а также локализации зон избыточности данных.

Теоретический обзор

Процесс классификации информационных потоков носит системный характер и опирается на ряд критериев, определяющих топологию и динамику информационного обмена. Нами разработана классификация информационных потоков в гибридных системах, представленная в таблице 1.

Приведенная систематизация служит базой для математического моделирования и последующей оптимизации информационной архитектуры. В первую очередь следует выделить направленность потоков, которая формирует скелет системы управления. Вертикальные векторы имеют восходящие потоки (агрегированная отчетность для высшего руководства) и нисходящие (директивные управляющие воздействия). Вместе с тем горизонтальные векторы обеспечивают необходимую межуровневую координацию между функциональными подразделениями одного ранга.

Важным техническим аспектом служит степень формализации данных, определяющая выбор методов их обработки и хранения.

Структурированные потоки, представленные в виде жестко заданных массивов баз данных и ERP-отчетов, помогают автоматизировать принятие решений, а неструктурированные — деловая переписка и результаты экспертных оценок — требуют применения интеллектуальных методов контент-анализа. Наконец, критерий периодичности разделяет регулярные информационные потоки, обслуживающие оперативные и тактические контуры управления, и эпизодические (проектные) потоки, возникающие дискретно в ответ на те или иные задачи развития предприятия. Многомерная систематизация становится основой математического моделирования и последующей оптимизации информационной архитектуры предприятия при цифровой трансформации.

Как справедливо утверждает В. В. Христиановский [5], построение моделей оптимизации информационных потоков требует концептуального перехода от простого описания связей к выделению целевых функций управления. Ключевая проблема иерархических систем — накопление информационной избыточности при передаче данных снизу вверх.

Традиционная функциональная модель управления зачастую создает «информационные каналы», при которых данные изолированы внутри отделов. Оптимизация требует перехода к процессно-функциональной модели, поскольку именно она может устранить разрывы в цепочке создания стоимости. В такой модели информационный поток можно трактовать как сквозной процесс, проходящий через границы департаментов, что сокращает время ожидания обработки информации на 15–25 %. Согласно методологии, которую развивает В. В. Шведенко [6], информационные потоки следует рассматривать как связующее звено между бизнес-процессами и функциональными задачами, обеспечивающее интеграцию различных инструментальных средств (BI-системы, MES-модули) в единую среду исполнения управленческих решений. Оптимизация заключается в синхронизации времени возникновения информации и времени начала ее обработки, что является критически важным для динамических производственных систем.

В процессе анализа информационных потоков необходимо использовать формализованные инструменты описания. Одним из эффективных методов служит построение

диаграмм потоков данных (Data Flow Diagrams, DFD). Как показывают исследования Ю. Ву и П. Б. Се [7], применение DFD в системах управления аудитом и данными дает возможность визуализировать логику перемещения информации, выявить дублирующие процессы и точки потери данных.

В техническом анализе иерархических систем управления применение методологии DFD осуществляет декомпозицию информационной архитектуры на базовые функциональные компоненты, обеспечивая прозрачность процессов трансформации данных. Первостепенное значение в указанной структуре имеют внешние потоки, выступающие в роли генераторов первичной информации (датчики, контрагенты, регуляторы) или адресатов, для которых предназначены сформированные управленческие решения. Взаимодействие между ними реализуется через процессы, то есть специализированные алгоритмы трансформации. Такие алгоритмы, обеспечивают агрегацию «сырых» данных от оконечных устройств в интегральные показатели эффективности (KPI), которые необходимы в случаях принятия решений на высших уровнях иерархии. Для обеспечения устойчивости системы и возможности анализа динамики процессов в модель вводят накопители данных. Хранилища информации выполняют функцию временной задержки, сглаживая пиковые нагрузки в информационных каналах. Они обеспечивают накопление ретроспективной истории состояний системы, а также необходимы для реализации функций прогнозирования и аналитики в процессе цифровой трансформации.

Итак, цифровая трансформация диктует потребность в создании архитектуры, способной к быстрому масштабированию. Ли Да Сюй [8], например, полагает, что системная перспектива на промышленную информационную интеграцию служит основой современной корпоративной архитектуры.

Интеграция предполагает использование сервисно ориентированных архитектур (SOA) и микросервисов, чтобы унифицировать протоколы обмена данными между разнородными подразделениями. Она также может обеспечить целостность данных в распределенных иерархических системах и снизить затраты на модернизацию отдельных функциональных блоков без остановки работы системы управления в целом. Оптимизация достигается за счет автоматизации

процессов сбора данных и использования интеллектуальных алгоритмов маршрутизации потоков, чтобы сократить иерархическую дистанцию между источником данных и субъектом управления.

При тотальной цифровизации эффективность внедрения систем управления внутренними данными обнаруживает прямую корреляцию не только со степенью их структурной упорядоченности, но и с уровнем защищенности информационного потока. Исследования, проведенные А. В. Матвеевым и А. А. Мясниковым [9], подтверждают, что интеграция специализированных систем управления потоками в деятельности организаций способна повысить общую управляемость объектом на 20–30 %. Однако достижение таких показателей невозможно без соблюдения протоколов конфиденциальности. Обеспечение безопасности в иерархических системах требует отказа от статических методов разграничения доступа в пользу интеллектуальных динамических моделей.

Значимую роль выполняет онтологическая модель управления информационными потоками, предложенная Н. И. Глуховым, П. Н. Наседкиным и Д. С. Милько [10]. Эта модель основана на формализованном описании знаний о предметной области, чтобы система в автоматическом режиме могла изменять права доступа субъектов, в зависимости от актуального уровня секретности информации и текущего состояния управления. Онтологический подход семантически связывает различные категории данных, обеспечивая прозрачность и контролируемость траектории движения каждого информационного потока внутри предприятия.

Параллельно с задачами обеспечения конфиденциальности возникает необходимость технической оптимизации каналов передачи данных внутри ERP-систем. Для решения подобных задач А. А. Сбитнева [11] обосновывает целесообразность применения методов имитационного моделирования, чтобы на этапе проектирования информационного потока воспроизвести различные сценарии нагрузки на систему и оценить вероятность возникновения конфликтов доступа при утечке информации и критических режимах работы.

Развитие указанных подходов находит отражение и на макроуровне функционирования организационных систем. Как показано

в исследовании А. Терентьева и соавторов [12], современные аналитические модели управления информационными потоками помогают эффективно координировать информационный обмен в рамках интеллектуальных транспортных систем, при которых требования к безопасности и скорости обработки данных достигают предельных значений. Таким образом, синтез онтологического описания предметной области и имитационного моделирования процессов передачи данных формирует надежный базис для построения защищенных и высокопроизводительных информационных систем предприятия, минимизируя риски, связанные с несанкционированным доступом и структурной деградацией потоков.

Адаптация бизнес-процессов под специфику конкретных отраслей — обязательное условие. Хотя общие принципы управления информационными потоками универсальны, программное обеспечение должно учитывать отраслевые стандарты. Например, в сфере услуг особенно значима скорость трансформации клиентского запроса в команду. Об этом пишут, в частности, Е. М. Топалова и А. О. Коломыцева [13]. В промышленном секторе, то есть в машиностроении, агропромышленном комплексе (АПК), акцент смещается на обработку сенсорных данных.

Переход к концепции «Индустрия 4.0» предусматривает дополнительные требования к информационному обеспечению промышленного сектора. Мониторинг технологического оборудования сегодня опирается на непрерывный сбор данных от сотен датчиков, требует разработки сложных экономико-математических моделей для обработки потоков в режиме реального времени. И. С. Щедров и Д. Н. Шурыгин [14] обращают внимание на то, что именно математическая интерпретация телеметрических данных может контролировать текущее состояние активов и прогнозировать их деградацию, формируя предиктивные информационные сигналы для систем технического обслуживания.

Процесс интеллектуализации систем управления выступает необходимым условием для реализации адаптивного управления информационными потоками. Согласно исследованиям, проведенным Р. И. Кафлановым и В. В. Оркиным [15], внедрение интеллектуальных алгоритмов в системе помогает самостоятельно перестраивать приоритеты и маршруты передачи данных,

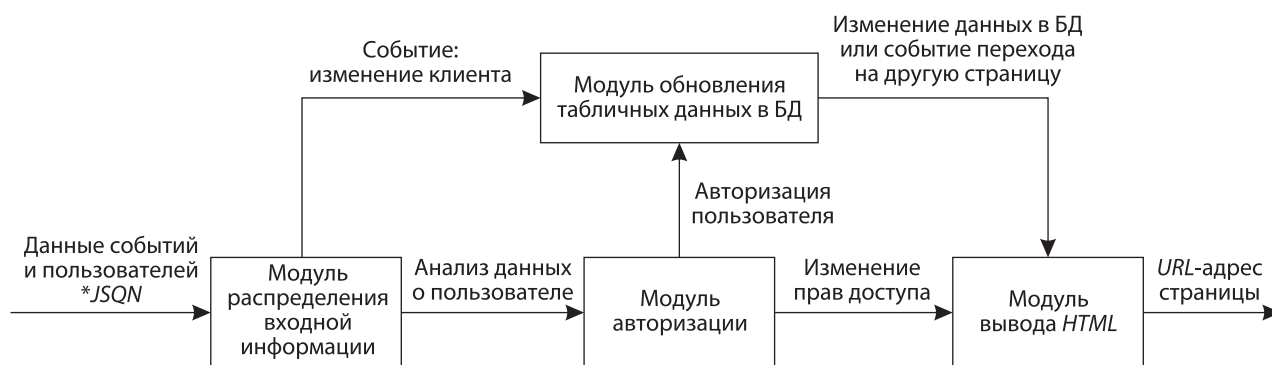


Рис. 1. Общая схема обслуживания информационного потока предприятия
 Fig. 1. General service scheme for an enterprise's information flow

Источник: составлено автором.

а также существенно минимизирует время отклика организационной системы на возникающие отклонения. Такая адаптивность становится основой для эффективного функционирования предприятия при высокой неопределенности.

Особое место в архитектуре современных информационных потоков занимает работа с массивами Big Data. Накопление критических объемов информации само по себе не гарантирует повышения качества управления, а напротив, может привести к информационной перегрузке. Н. В. Городнова [16] детально исследовала вопрос оценки качества данных на этапе их формирования, утверждая, что верификация и очистка потоков Big Data являются обязательными этапами подготовки базы для принятия стратегических решений. Недостаточная достоверность входных данных в цифровой экономике обесценивает любые аналитические выводы.

Наконец, в условиях экстремальной плотности информационного обмена более острыми становятся вопросы кибербезопасности и стабильности системы. Для предотвращения отказов в обслуживании и защиты критически важных сегментов сети А. И. Тарасенко [17] предлагает использовать механизм динамических приоритетов при обслуживании заявок внутри потока. Данная модель учитывает стратегические направления цифровой трансформации (И. В. Тарасов [18]) и общую динамику развития организаций в Российской Федерации (П. Э. Прохоров [19]).

Изложенный подход гарантирует доставку важных управляющих команд даже при дефиците ресурсов или целенаправленных информационных воздействиях. Адаптация

информационных потоков к условиям цифровой трансформации направлена на отраслевое развитие программного обеспечения, математического моделирования сенсорных данных, интеллектуального управления и контроля качества информационных активов.

Методы и материалы

В рамках исследования динамичность для объекта управления рассмотрена нами как статическая структура в фиксированные моменты времени, которая представлена функцией состояния S (рис. 1), характеризующей интенсивность и объем передаваемой информации:

$$F(I, t) = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i(t) \cdot V_i}{\mu_i(t) - \lambda_i(t)}, \quad (1)$$

где $F(I, t)$ — целевая функция состояния системы, характеризующая суммарную временную задержку (информационный отклик) или общую нагрузку на узлы сети в момент времени t . Она отражает общую эффективность прохождения информационных потоков через инфраструктуру предприятия;

I — индекс структуры или идентификатор конфигурации информационных потоков (множество типов трафика, в том числе телеметрия, управляющие сигналы, административные данные);

t — параметр времени, указывающий на динамический характер системы, при которой интенсивность запросов и возможности оборудования могут изменяться в рамках производственного цикла;

$\lambda_i(t)$ — интенсивность входного потока i -го типа;

V_i — объем сообщения;

$\mu_i(t)$ — интенсивность обработки в узле.

Для технической реализации системы управления важно учитывать поведение компьютерных узлов при вариативных входных потоках.

Исследования К. С. Ткаченко [20; 21] свидетельствуют о том, что однородные информационные потоки промышленных предприятий и предприятий АПК требуют параметрической корректировки узлов для предотвращения перегрузок. Согласно исследованиям Г. Н. Федоровой [22], интеграция факторов безопасности опиралась на требования конфиденциальности, сформулированные Н. И. Глуховым и соавторами [10], а также особенности информационного обмена при проектном взаимодействии, рассмотренные П. В. Белоновским и И. Г. Белоновской [23]. По методике Д. Э. Долгих, уменьшение времени задержки на 100 мс в авиационной промышленности коррелирует с ростом маржинальности обслуживания на 2 % [24].

С учетом результатов имитационного моделирования нами сформирована матрица полного трехфакторного эксперимента в программной среде Minitab. В качестве данных для моделирования использованы параметры работы серверного узла предприятия при обработке транзакций. В течение 72-часового цикла непрерывной фиксации параметров сформирована выборка из 12 500 транзакций, включающая в себя передачу управляющих сигналов, телеметрию производственных линий и административные запросы. Процесс моделирования реализован методом дискретно-событийного анализа. Каждый информационный пакет в модели наделен атрибутами размера и приоритета. Временные задержки (отклик системы Y) рассчитаны как сумма времени ожидания в очереди и времени непосредственной обработки пакета процессором узла:

X_1 — интенсивность входящих запросов (ед./час);

X_2 — уровень сложности обработки данных (условные единицы вычислительной нагрузки);

X_3 — пропускная способность коммуникационного канала (Мбит/с).

При определении диапазонов варьирования факторов учтена специфика внешних потоков, характерная для отделов технического контроля машиностроительных предприятий. При оценке влияния отклика системы на доходность предприятия использован коэффициент корреляции между

скоростью прохождения сигнала и удельными потерями от простоя оборудования. В высокотехнологичных отраслях, таких как авиастроение, задержка передачи данных ведет к рассинхронизации производственных циклов:

$$M = M_{\max} \cdot e^{-k\Delta Y}, \quad (2)$$

где M — текущая маржинальность; M_{\max} — максимально возможная прибыль при мгновенном отклике; k — коэффициент чувствительности отрасли к задержкам; ΔY — отклонение времени отклика от нормативного.

Для условий эксперимента расчет показал, что уменьшение времени задержки на 100 мс обеспечивает рост маржинальности обслуживания на 2 % за счет оптимизации логистических операций.

Результаты и обсуждение

Апробация теоретических положений проведена путем численного эксперимента. Результаты имитационного моделирования позволили сформировать массив данных, на основе которого построена матрица полного трехфакторного эксперимента в программной среде Minitab. Процесс планирования и интерпретации результатов эксперимента также учитывал технические ограничения. Кроме того, при оценке отклика системы учтено прямое влияние качества и скорости информационных потоков на доходность предприятия, что служит стратегически значимым параметром для промышленных отраслей.

При выявлении закономерностей взаимодействия указанных параметров и определении оптимальных режимов функционирования системы составлена матрица опытов, представленная в таблице 2.

Данные, представленные в таблице 2, отражают первичные результаты имитационного моделирования в восьми контрольных точках. Анализ вариации отклика Y показывает существенную чувствительность системы к изменению входных параметров. Минимальное значение времени задержки (10,1 с) прослеживается в опыте № 5, в котором интенсивность и сложность находились на нижнем уровне при максимальной пропускной способности канала. Напротив, опыт № 4 показал критическую точку нагрузки (22,8 с), при которой высокие значения X_1 и X_2 накладываются на ограниченный ресурс связи.

Матрица полного трехфакторного эксперимента

Table 2. Matrix of the full three-factor experiment

№ опыта	X_1	X_2	3	Отклик $Y(c)$
1	-1	-1	-1	12,4
2	1	-1	-1	18,2
3	-1	1	-1	15,6
4	1	1	-1	22,8
5	-1	-1	1	10,1
6	1	-1	1	14,7
7	-1	1	1	13,5
8	1	1	1	19,4

Источник: составлено автором.

Таблица 3

План эксперимента с описанием уровней варьирования

Table 3. Experiment plan with description of variation levels

Фактор	Нижний уровень (-1)	Верхний уровень (+1)	Интервал варьирования
Интенсивность входящих запросов (X_1)	100 ед./час	500 ед./час	200 ед./час
Уровень сложности обработки (X_2)	0,2 усл. ед.	0,8 усл. ед.	0,3 усл. ед.
Пропускная способность канала (X_3)	50 Мбит/с	150 Мбит/с	50 Мбит/с

Источник: составлено автором.

Сравнение результатов опытов № 1 и № 2, а также № 5 и № 6 позволяет заключить, что рост интенсивности информационного обмена при прочих равных условиях стабильно увеличивает задержку в среднем на 4–6 с. Выявленная закономерность подтверждает гипотезу о прямой зависимости быстродействия системы от плотности входящих сообщений. При этом разрыв в значениях между опытами № 4 и № 8 указывает на роль технической инфраструктуры: увеличение пропускной способности канала помогает компенсировать высокую вычислительную сложность, снижая время ожидания на 3,4 с. Таким образом, первичный анализ матрицы подтверждает необходимость поиска математического баланса между нагрузкой и ресурсами сети.

Для обеспечения статистической достоверности полученной модели реализован план полного факторного эксперимента. В таблице 3 показаны границы варьирования факторов, которые определяют область факторного пространства исследования. Выбор интервалов обусловлен техническими характеристиками современных организационных систем и типовыми нагрузками на их информационные потоки.

В таблице 3 обоснована выборка факторного пространства, которая послужила осно-

вой экспериментов из таблицы 2. Границы варьирования (± 1) установлены исходя из реальных эксплуатационных характеристик серверного оборудования. Интервал варьирования для интенсивности (X_1) в 200 ед./час позволяет учитывать и штатные режимы работы предприятия, и пиковые нагрузки, возникающие в моменты синхронизации баз данных.

Выбор уровней сложности (X_2) от 0,2 до 0,8 усл. ед. соотносится с различными типами управленческих задач, от простой передачи сигналов до выполнения процедур глубокой аналитики Big Data. Пропускная способность (X_3) ограничена лимитами в 50 и 150 Мбит/с, что соответствует стандартным промышленным протоколам передачи данных. Установление этих границ позволяет гарантировать статистическую значимость модели, поскольку область эксперимента предусматривает наиболее вероятные сценарии функционирования организационных систем. Связь таблицы 3 с последующими результатами заключается в том, что именно указанные интервалы определили точность полученных коэффициентов регрессии и помогли минимизировать стандартную ошибку.

Для минимизации случайных погрешностей каждый из восьми опытов матрицы

Результаты регрессионного анализа в среде Minitab
Table 4. Results of regression analysis in the Minitab Environment

Терм (эффект)	Коэффициент	Стандартная ошибка	T-значение	Значимость (p-value)
Константа	15,625	0,124	126,01	0,001
Интенсивность (X_1)	2,450	0,082	29,88	0,004
Сложность (X_2)	1,125	0,082	13,72	0,008
Канал (X_3)	-1,875	0,082	-22,87	0,006
Взаимодействие $X_1 \cdot X_2$	0,890	0,082	10,85	0,015
Взаимодействие $X_1 \cdot X_3$	-0,325	0,082	-3,96	0,042
Взаимодействие $X_2 \cdot X_3$	0,150	0,082	1,83	0,095
Взаимодействие $X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$	0,075	0,082	0,91	0,380

Источник: составлено автором.

проведен с тремя репликациями. Статистическая обработка данных в программной среде Minitab определила коэффициенты уравнения регрессии, а также оценена их значимость по критерию Стьюдента.

Итоговый регрессионный анализ, представленный в таблице 4, математически закрепляет выявленные ранее зависимости. Константа уравнения (15,625) определяет средний уровень задержки в центре плана эксперимента. Наибольший весовой коэффициент при факторе интенсивности ($X_1 = 2,450$) подтверждает, что плотность потока данных служит определяющим параметром, влияющим на стабильность системы. Отрицательный знак коэффициента при факторе канала ($X_3 = -1,875$) указывает на обратную зависимость, при которой инвестиции в инфраструктуру связи линейно сокращают время отклика.

Особое значение имеет анализ взаимодействия ($X_1 \cdot X_2 = 0,890$). Положительное значение этого эффекта свидетельствует о нелинейном характере накопления задержек. При одновременном повышении количества запросов и их сложности система переходит в режим прогрессирующей очереди. Значимость полученных результатов подтверждается *p-value* для основных факторов, значения которых находятся существенно ниже критического порога 0,05.

Значимое влияние на время отклика системы (Y) оказывает интенсивность входящих информационных потоков и пропускной способности каналов связи. Отрицательное значение коэффициента при X_3 подтверждает, что расширение канала слу-

жит наиболее действенным способом снижения задержек. При этом положительный знак коэффициента при взаимодействии $X_1 \cdot X_2$ указывает на синергетический эффект, поскольку при одновременном росте интенсивности и сложности обработки время задержки в системе увеличивается нелинейно.

Интерпретация полученных зависимостей представлена на рисунке 2 в виде поверхности отклика. Предлагаемая визуализация показывает оптимальные зоны функционирования информационных потоков предприятия, в которых обеспечено минимальное время обработки потоков при заданных ресурсных ограничениях.

Указанные методы анализа могут быть применимы в разных секторах экономики, в которых специфика потоков регулируется регламентами. Для промышленных предприятий рекомендуется переход к модели, при которой информационные потоки связывают ERP-системы и физический уровень производства (MES, датчики реального времени). При проектировании систем управления необходимо использовать методы имитационного моделирования для предиктивной оценки рисков возникновения очередей в информационных каналах и оценки вероятности утечек информации. Техническую реализацию систем управления следует осуществлять на основе микросервисной архитектуры, которая обеспечит масштабируемость и гибкость информационного потока предприятия при изменении векторов цифрового развития.

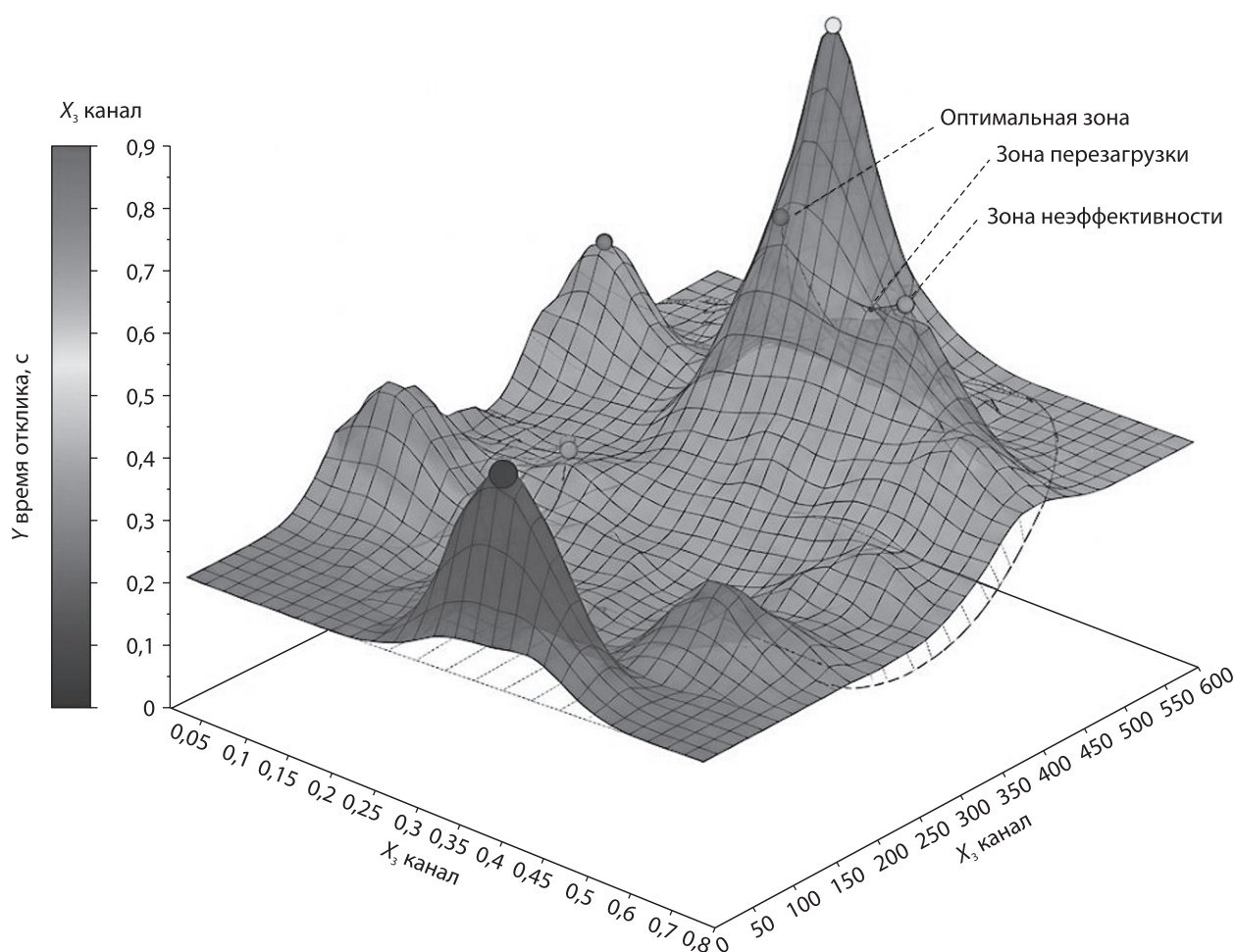


Рис. 2. График зависимости целевой функции от факторов X_1, X_2, X_3
 Fig. 2. Graph of the dependence of the objective function on factors X_1, X_2, X_3

Источник: составлено автором.

Выводы

В результате проведенного анализа специфики информационных потоков предприятия с учетом цифровой трансформации установлено, что переход от иерархических к динамическим сетевым моделям требует пересмотра подходов к классификации информационных потоков. Использование многомерной систематизации эффективно выявляет «узкие места» и зоны информационной избыточности, служит неотъемлемым условием для оптимизации современных организационных систем.

Подтверждена эффективность применения методологии потоков данных (DFD) для декомпозиции информационной архитектуры, которая обеспечивает прозрачность процессов трансформации данных от первичных источников (датчиков и внешних контрагентов) до конечных потребителей управленческих решений. При цифровизации защищенность

информационных потоков напрямую связана с качеством управления. Внедрение онтологических моделей и механизмов динамических приоритетов может обеспечить конфиденциальность данных, повысить устойчивость системы к внешним возмущениям и информационным перегрузкам (Big Data).

На основе выполненного трехфакторного эксперимента в среде Minitab получена модель времени отклика системы. Анализ коэффициентов модели выявил синергетический эффект взаимодействия интенсивности информационного потока и сложности его обработки. Построенная поверхность отклика обеспечивает минимизацию временных задержек при заданных ресурсных ограничениях. Разработанная модель может быть масштабирована для различных отраслей, от АПК до аэрокосмической техники, способна обеспечивать научную базу для принятия обоснованных управленческих решений в условиях неопределенности.

Список источников

1. Клевнов О. Г., Мамедова И. А. Управление информационными потоками на основе принципов ITIL и 7R // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. № 7. С. 20. <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.145.5>
2. Макаров Р. И., Хорошева Е. Р. Математические основы моделирования информационных процессов и систем: учеб. пособие. Владимир: Изд-во Владимирского государственного университета, 2019. 132 с.
3. Поршнев С. В. Математические модели информационных потоков в высокоскоростных магистральных интернет-каналах: учеб. пособие. М.: Горячая линия-Телеком, 2016. 232 с.
4. Анисифоров А. Б. Модель информационно-сервисной поддержки корпоративных логистических процессов в архитектуре предприятия // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2023. № 1. С. 54–63. <https://doi.org/10.17586/2310-1172-2023-16-1-54-63>
5. Христиановский В. В. Построение моделей оптимизации информационных потоков в системах управления (концептуальный подход) // Grail of Science. 2021. № 4. С. 290–296. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.07.05.2021.052>
6. Шведенко В. В. Методология организации информационных потоков в процессно-функциональной модели управления предприятием и инструментальные средства для их реализации // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2019. № 5-1. С. 128–132.
7. Wu Y., Xie P. B. Exploration of enterprise audit information management system model based on data flow diagram // 2021 Int. wireless communications and mobile computing (IWCMC). (Harbin City, June 28 — July 02, 2021). New York, NY: IEEE; 2021:1997-2001. <https://doi.org/10.1109/IWCMC51323.2021.9498870>
8. Xu L. D. Enterprise integration and information architecture: A systems perspective on industrial information integration. Boca Raton, FL: CRC Press, 2015. 446 p.
9. Матвеев А. В., Мясников А. А. Исследование внедрения и эффективности системы управления внутренними информационными потоками в средних коммерческих организациях // Вестник науки. 2025. Т. 3. № 5. С. 1411–1416.
10. Глухов Н. И., Наседкин П. Н., Милько Д. С. Онтологическая модель управления информационными потоками на предприятии с учетом уровней конфиденциальности // Информационные технологии и математическое моделирование в управлении сложными системами. 2021. № 3. С. 59–66. [https://doi.org/10.26731/2658-3704.2021.3\(11\).59-66](https://doi.org/10.26731/2658-3704.2021.3(11).59-66)
11. Сбитнева А. А. Решение задачи оптимизации информационных потоков на предприятии посредством имитационного моделирования ERP-системы // Colloquium-Journal. 2019. № 27-1. С. 35–40. <https://doi.org/10.24411/2520-6990-2019-11017>
12. Terentyev A., Marusin A., Evtjukov S., et al. Analytical model for information flow management in intelligent transport systems // Mathematics. 2023. Vol. 11. No. 15. Article 3371. <https://doi.org/10.3390/math11153371>
13. Топалова Е. М., Коломыцева А. О. Совершенствование бизнес-процессов предприятия сферы услуг информационными потоками посредством внедрения нового программного обеспечения // Российские регионы в фокусе перемен: сб. докладов XV Междунар. конф. (Екатеринбург, 10–14 ноября 2020 г.). Т. 1. Екатеринбург: Учебно-методический центр УПИ, 2021. С. 239–242.
14. Щедров И. С., Шурыгин Д. Н. Экономико-математическое моделирование информационных потоков в системах мониторинга оборудования и персонала при цифровизации машиностроительного предприятия // Друкеровский вестник. 2024. № 1. С. 178–191. <http://dx.doi.org/10.17213/2312-6469-2024-1-178-191>
15. Кафланов Р. И., Оркин В. В. Использование интеллектуальной системы при адаптивном управлении информационными потоками // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 9. № 6. С. 73–79.
16. Городнова Н. В. Метод оценки качества информационных потоков при формировании Big Data в цифровой экономике // Вопросы инновационной экономики. 2022. Т. 12. № 1. С. 607–624. <https://doi.org/10.18334/vines.12.1.114142>
17. Тарасенко А. И. Критерии оценки эффективности обеспечения информационной безопасности при управлении информационными потоками на основе динамических приоритетов // Science Time. 2016. № 4. С. 816–825.
18. Тарасов И. В. Подходы к формированию стратегической программы цифровой трансформации предприятия // Стратегические решения и риск-менеджмент. 2019. Т. 10. № 2. С. 182–191. <https://doi.org/10.17747/2618-947X-2019-2-182-191>
19. Прохоров П. Э. Динамика цифровой трансформации организаций в Российской Федерации // Статистика и Экономика. 2021. Т. 18. № 4. С. 61–70. <https://doi.org/10.21686/2500-3925-2021-4-61-70>

20. Ткаченко К. С. Моделирование компьютерного узла системы управления гомогенного информационного контура промышленного предприятия при вариативных входных потоках // Оптимизация и моделирование в автоматизированных системах: сб. тр. Междунар. молодежной науч. школы (Воронеж, 16–18 сентября 2020 г.) / отв. ред. Я. Е. Львович. Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2021. С. 128–132.
21. Ткаченко К. С. Обеспечение параметрической корректировки компьютерных узлов информационного контура предприятий агропромышленного комплекса при изменениях входного потока заявок // Интеллектуальные информационные системы: сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. (Воронеж, 8–10 февраля 2022 г.) / отв. ред. Я. Е. Львович. Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2022. С. 125–127.
22. Федорова Г. Н. Внешние информационные потоки отдела технического контроля машиностроительного предприятия // Виртуальное моделирование, прототипирование и промышленный дизайн: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. (Тамбов, 12–14 октября 2021 г.). Т. 7. Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2021. С. 291–293.
23. Белоносовский П. В., Белоносовская И. Г. Проектное взаимодействие в информационных потоках современного предприятия // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии: сб. ст. X Всерос. конф. (Оренбург, 18–19 ноября 2021 г.). Оренбург: Оренбургский государственный университет. 2021. С. 471–475.
24. Долгих Д. Э. Управление информационным потоком как средство влияния на доходы предприятия авиационной промышленности // Вопросы науки. 2023. № 1. С. 17–20.

References

1. Klevnov O.G., Mamedova I.A. Information flow management based on ITIL and 7R principles. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal = International Research Journal*. 2024;(7):20. (In Russ.). <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.145.5>
2. Makarov R.I., Khorosheva E.R. Mathematical foundations of modeling information processes and systems. Vladimir: Vladimir State University Publ.; 2019. 132 p. (In Russ.).
3. Porshnev S.V. Mathematical models of information flows in high-speed Internet backbone channels. Moscow: Goryachaya Liniya-Telecom; 2016. 232p. (In Russ.).
4. Anisiforov A.B. A model of information and service support of corporate logistical process in an enterprise architecture. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Ekonomika i ekologicheskii menedzhment = Scientific Journal NRU ITMO. Series: Economics and Environmental Management*. 2023;(1):54-63. (In Russ.). <https://doi.org/10.17586/2310-1172-2023-16-1-54-63>
5. Khristianovskii V.V. Building models for optimizing information flows in control systems (conceptual approach). *Grail of Science*. 2021;(4):290-296. (In Russ.). <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.07.05.2021.052>
6. Shvedenko V.V. Methodology of the organization of information flows in the process-functional model of management of the enterprise and tools for their implementation. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta*. 2019;(5-1):128-132. (In Russ.).
7. Wu Y., Xie P.B. Exploration of enterprise audit information management system model based on data flow diagram. In: 2021 Int. wireless communications and mobile computing (IWCMC). (Harbin City, June 28-July 02, 2021). New York, NY: IEEE; 2021:1997-2001. <https://doi.org/10.1109/IWCMC51323.2021.9498870>
8. Xu L.D. Enterprise integration and information architecture: A systems perspective on industrial information integration. Boca Raton, FL: CRC Press; 2015. 446 p.
9. Matveev A.V., Myasnikov A.A. Research on the implementation and effectiveness of system management of internal information systems flows in medium-sized commercial organizations. *Vestnik nauki*. 2025;3(5):1411-1416. (In Russ.).
10. Glukhov N.I., Nasedkin P.N., Milko D.S. Ontological model of information flow management at the enterprise, taking into account confidentiality levels. *Informatsionnye tekhnologii i matematicheskoe modelirovanie v upravlenii slozhnymi sistemami = Information Technology and Mathematical Modeling in the Management of Complex Systems*. 2021;(3):59-66. (In Russ.). [https://doi.org/10.26731/2658-3704.2021.3\(11\).59-66](https://doi.org/10.26731/2658-3704.2021.3(11).59-66)
11. Sbitneva A.A. Solution of the problem of optimization of information flows at the enterprise through modelling simulation of ERP-system. *Colloquium-Journal*. 2019;(27-1):35-40. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/2520-6990-2019-11017>
12. Terentyev A., Marusin A., Evtyukov S., et al. Analytical model for information flow management in intelligent transport systems. *Mathematics*. 2023;11(15):3371. <https://doi.org/10.3390/math11153371>
13. Topalova E.M., Kolomytseva A.O. Improving business processes of a service enterprise through information flows by implementing new software. In: Russian regions in the focus

- of change. Proc. 15th Int. conf. (Ekaterinburg, November 10-14, 2020). Vol. 1. Ekaterinburg: Educational and Methodological Center of UPI; 2021:239-242. (In Russ.).
14. Shchedrov I.S., Shurygin D.N. Economic and mathematical modeling of information flows in equipment and personnel monitoring systems during digitalization of a machine-building enterprise. *Drukerovskii vestnik*. 2024;1(178-191). (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.17213/2312-6469-2024-1-178-191>
 15. Kaflanov R.I., Orkin V.V. Intelligent system using in adaptive control of information flows. *Naukoemkie tekhnologii v kosmicheskikh issledovaniyakh Zemli = High Tech in Earth Space Research*. 2017;9(6):73-79. (In Russ.).
 16. Gorodnova N.V. A method for assessing the information flows quality in Big Data amidst the digital economy. *Voprosy innovatsionnoi ekonomiki = Russian Journal of Innovation Economics*. 2022;12(1):607-624. (In Russ.). <https://doi.org/10.18334/vinec.12.1.114142>
 17. Tarasenko A.I. Criteria for assessing the effectiveness of information security in managing information flows based on dynamic priorities. *Science Time*. 2016;(4):816-825. (In Russ.).
 18. Tarasov I.V. Approaches to developing a strategic program of company's digital transformation. *Strategicheskie resheniya i risk-menedzhment = Strategic Decisions and Risk Management*. 2019;10(2):182-191. (In Russ.). <https://doi.org/10.17747/2618-947X-2019-2-182-191>
 19. Prokhorov P.E. Dynamics of digital transformation of organizations in the Russian Federation. *Statistika i Ekonomika = Statistics and Economics*. 2021;18(4):61-70. (In Russ.). <https://doi.org/10.21686/2500-3925-2021-4-61-70>
 20. Trachenko K.S. Modeling of a computer node of a control system of a homogeneous information circuit of an industrial enterprise with variable input flows. In: L'vovich Ya.E., ed. Optimization and modeling in automated systems. Proc. International Youth Scientific School (Voronezh, September 16-18, 2020). Voronezh: Voronezh State Technical University; 2021:128-132. (In Russ.).
 21. Trachenko K.S. Providing parametric adjustment of computer nodes of the information circuit of enterprises in the agro-industrial complex when the incoming flow of applications changes. In: L'vovich Ya.E., ed. Intelligent information systems. Proc. Int. sci.-pract. conf. (Voronezh, February 8-10, 2022). Voronezh: Voronezh State Technical University; 2022: 125-127. (In Russ.).
 22. Fedorova G.N. External information flows of the technical control department of a mechanical engineering enterprise. In: Virtual modeling, prototyping and industrial design. Proc. 7th Int. sci.-pract. conf. (Tambov, October 12-14, 2021.). Tambov: Tambov State Technical University; 2021:291-293. (In Russ.).
 23. Belonovskii P.V., Belonovskaya I.G. Project interaction in information flows of a modern enterprise. In: Computer integration of production and IPI technologies. Proc. 10th All-Russ. conf. (Orenburg, November 18-19, 2021). Orenburg: Orenburg State University; 2021: 471-475. (In Russ.).
 24. Dolgikh D.E. Information flow management as a means of influencing the revenues of the aviation industry. *Voprosy nauki*. 2023;(1):17-20. (In Russ.).

Информация об авторе

Владислав Сергеевич Михеев

аспирант

Российский университет дружбы народов
имени Патриса Лумумбы (РУДН)

117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6

Поступила в редакцию 29.12.2025
Прошла рецензирование 19.02.2026
Подписана в печать 27.05.2026

Information about the author

Vladislav S. Mikheev

postgraduate student

Patrice Lumumba Peoples' Friendship University
of Russia (RUDN University)

6 Miklukho-Maklaya St., Moscow 117198, Russia

Received 29.12.2025
Revised 19.02.2026
Accepted 27.05.2026

Конфликт интересов: автор декларирует отсутствие конфликта интересов,
связанных с публикацией данной статьи.

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest
related to the publication of this article.