



# Оптимизация управления информационными потоками предприятия на основе графовой модели

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.** Разработать методику оптимизации топологии информационных потоков предприятия на основе авторской графовой модели, обеспечивающую снижение издержек на обработку информации и повышение оперативности принятия решений.

**Задачи.** Проанализировать структурные несовершенства традиционных иерархических моделей управления данными; предложить разработанный математический аппарат в виде ориентированного взвешенного графа для маршрутизации потоков; провести реинжиниринг бизнес-процесса «Обработка заказа клиента» на примере ООО «Техпромаш» для сокращения временных задержек и устранения избыточности связей.

**Методология.** Методологическую основу работы составил синтез теории графов и методов сетевого планирования (CPM/PERT). В качестве аналитического инструментария использованы алгоритмы поиска кратчайшего пути, методы кластеризации для идентификации информационных потоков, а также статистическое моделирование в программной среде Minitab. Эмпирическую базу составили данные журналов событий ERP-систем и результаты анкетирования персонала ООО «Техпромаш».

**Результаты.** Разработана и апробирована параллельно автоматизированная топология информационных обменов. Математически доказано, что реинжиниринг информационных потоков поможет сократить цикл обработки заказа на 40 % (с 275 до 165 мин). В ходе оптимизации обнаружено снижение коэффициента структурной избыточности с 0,45 до 0,15, что свидетельствует об устранении 30 % неэффективных дублирующих каналов. Установлено повышение интенсивности обработки заявок с 1,75 до 2,91 единиц в смену, что соответствует росту пропускной способности системы на 66,3 %.

**Выводы.** Исследование подтверждает гипотезу о высокой эффективности графового моделирования при оптимизации информационного потока организации. Переход от последовательной к параллельной схеме обработки данных на основе графового моделирования обеспечивает сокращение временного цикла процесса на 40 % (с 275 до 165 мин). Предложенная методика универсальна, рекомендуется к внедрению на предприятиях машиностроения для повышения оперативности управления в условиях цифровой трансформации. Практическая значимость работы заключается в существующей возможности масштабирования предложенной методики на предприятиях машиностроительного сектора для обеспечения устойчивости управления в динамической цифровой среде.

**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. Оптимизация управления информационными потоками предприятия на основе графовой модели // *Экономика и управление*. 2026. Т. 32. № 6. С. 809–820. <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2026-6-809-820>

# Optimizing enterprise information flow management based on a graph model

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 a methodology for optimizing the topology of enterprise information flows using an author's graph model, which reduces information processing costs and improves decision-making efficiency.

**Objectives.** To analyze the structural shortcomings of traditional hierarchical data management models; to propose a mathematical apparatus in the form of a directed weighted graph for flow routing; to reengineer the "Customer Order Processing" business process at Tekhprommash to reduce time delays and eliminate redundant connections.

**Methods.** The methodological foundation of the work is a synthesis of graph theory and network planning methods (CPM/PERT). The analytical toolkit includes shortest path search algorithms, clustering methods for identifying information flows, and statistical modeling using Minitab software. The empirical basis consists of event log data from ERP systems and the results of a survey of Tekhprommash personnel.

**Results.** A parallelized topology of information exchanges was developed and tested. It is mathematically demonstrated that reengineering the information flows will reduce the order processing cycle by 40 % (from 275 to 165 minutes). During optimization, the structural redundancy coefficient decreased from 0,45 to 0,15, indicating the elimination of 30 % of inefficient duplicate channels. The order processing intensity increased from 1,75 to 2,91 units per shift, which corresponds to a 66,3 % increase in system throughput.

**Conclusions.** The study confirms the hypothesis that graph modeling is highly effective for optimizing an organization's information flows. Transitioning from a sequential to a parallel data processing scheme based on graph modeling reduces the process cycle time by 40 % (from 275 to 165 minutes). The proposed methodology is universal and is recommended for implementation in manufacturing enterprises to improve management efficiency in the context of digital transformation. The practical significance of the work lies in the scalability of the proposed methodology to enterprises in the manufacturing sector to ensure management stability in a dynamic digital environment.

**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. Optimizing enterprise information flow management based on a graph model. *Ekonomika i upravlenie = Economics and Management*. 2026;32(6):809-820. (In Russ.). <http://doi.org/10.35854/1998-1627-2026-6-809-820>

## Введение

В условиях современной экономики, характеризующейся тотальной цифровизацией и экспоненциальным ростом объемов данных, эффективность функционирования предприятия зависит от качества организации его информационного пространства. Как пишут О. В. Сизова и Е. С. Махалкина, повышение эффективности управления промышленным объектом невозможно без интеграции цифровых технологий [1]. Тем более что информационные системы являются «нервной системой» организации, обеспечивая связность бизнес-процессов и поддержку принятия управленческих решений.

Однако внедрение сложных информационных систем (ERP, CRM, BI) не гарантирует успеха. М. Аль-Окейли и А. Аль-Окейли полагают, что успех корпоративных систем зависит от архитектуры данных и качества информационных потоков [2]. В практической деятельности предприятий возникают проблемы дублирования данных, задержки при передаче управляющих воздействий и искажения информации, которая приводит к диссипации информационных процессов, описанной Р. Г. Болбаковым и В. Я. Цветковым [3]. В связи с этим актуализируется задача разработки рациональных моделей управления информационными потоками пред-

приятия, способных адаптироваться к динамической внешней среде.

### Постановка задачи исследования

Анализ деятельности современных предприятий показывает, что традиционные иерархические модели управления информационными потоками становятся неэффективными. Линейные схемы передачи данных «сверху — вниз» и «снизу — вверх» обладают низкой реактивностью и высокой уязвимостью к информационному шуму.

Проблема состоит в противоречии между возрастающей сложностью, гетерогенностью и скоростью информационных потоков с одной стороны и устаревшими методами их маршрутизации и обработки с другой. Применяемые подходы, рассмотренные, например, И. А. Мамедовой и О. Г. Клевновым (ITIL и принципы 7R), фокусируются на сервисной составляющей [4], но зачастую упускают из виду структурно-топологические аспекты взаимодействия элементов системы. Для решения этой проблемы требуется инструментарий, чтобы описывать информационные потоки и проводить направленный реинжиниринг топологии связей с учетом математически обоснованных критериев.

Гипотеза исследования состоит в том, что представление системы информационных потоков предприятия в виде взвешенного ориентированного графа и применение к нему алгоритмов сетевого анализа помогут определить структурные «узкие места» и оптимизировать топологию связей, минимизируя временные задержки, для повышения общей устойчивости системы управления.

### Литературный обзор

Современные тенденции развития промышленного сектора обуславливают необходимость применения математического инструментария, способного формализовать динамические процессы обмена данными. Теория графов в текущих научных исследованиях признана адекватным аппаратом для описания информационных потоков предприятия, поскольку позволяет интерпретировать движение сведений, циклы управления и межуровневые взаимодействия в виде исчисляемой структуры.

Ряд авторов, в частности Р. И. Макаров и Е. Р. Хорошева, предложили основу ма-

тематического моделирования информационных процессов, рассматривая их как стохастические системы, поскольку неопределенность внешней среды и вариативность управленческих решений требуют учета вероятностных характеристик распределения данных [5]. Приведенная позиция позволяет обосновать использование методов теории массового обслуживания при анализе нагрузки на информационные каналы. В свою очередь, С. В. Поршнев дополнил указанную концепцию через описание физики процессов, предложив модели потоков в высокоскоростных каналах, применимые к корпоративным сетям. Автор аргументирует перенос этих моделей из области связи в сферу менеджмента подобием механизмов маршрутизации пакетов и алгоритмов передачи распорядительной документации внутри организации [6].

Определение информационного потока как последовательности сообщений, фиксирующих состояние элементов системы в определенные периоды, сформулировано в работах А. Б. Анисифорова [7] и В. В. Христиановского [8]. Исследователи доказывают, что направленность данных от источника к получателю формирует совокупность прямых и обратных связей, создающих контур регулирования. Без понимания векторной природы связей невозможно построить замкнутую систему контроля качества бизнес-процессов.

В рамках графового моделирования топология организации формализуется как  $G = (V, E)$ . Множество вершин  $V$  объединяет структурные подразделения, должностных лиц и автоматизированные рабочие места, а множество ребер  $E$  описывает физические и логические каналы передачи информации. Дифференциация связей на направленные и ненаправленные помогает специфицировать маршруты движения сигналов, исключая коллизии при распределении ответственности.

В. В. Шведенко [9], Ю. Ву и П. Се [10] выделили иерархический и сетевой методы построения моделей, основанные на принципах системной интеграции. В. В. Шведенко аргументирует применение графоаналитического метода для идентификации структурных несоответствий между функциональными задачами подразделений и топологией информационных связей. Позиция авторов Ю. Ву и П. Се дополняет указанную методику через введение параме-

тров направленности и весомости дуг графа, чтобы обеспечить возможность количественной оценки интенсивности взаимодействия между узлами. Применение предлагаемых классификационных признаков дает возможность распределить информационные потоки по уровням критичности, разделяя процессы на операционные, тактические и стратегические.

Дальнейшее развитие методологии системной интеграции в трудах Ли Да Сюй [11] связано с внедрением сервисно-ориентированного подхода к моделированию информационного пространства предприятия. Обоснована необходимость рассмотрения каждого узла графа как поставщика или потребителя информационного сервиса, что позволяет унифицировать протоколы обмена данными в гетерогенной среде. Согласно классификации методов, предлагаемой Ли Да Сюй, выделено событийное моделирование как приоритетное для динамически развивающихся систем, при этом структура связей трансформируется в зависимости от изменения производственных планов. Данная аргументация подтверждает целесообразность использования гибких графовых структур для реинжиниринга потоков, обеспечивая адаптивность управления и минимизацию временных потерь при передаче управляющих воздействий.

Графоаналитический метод, опирающийся на построение информационного графа и последующий анализ матрицы смежности  $A$ , исследователи В. В. Шведенко [9], Ю. Ву, П. Се [10], Ли Да Сюй [11] выделяют как способ идентификации прямой зависимости между компонентами. Если переход между узлами осуществляется без формирования промежуточных результатов, дуги ориентируются в направлении создания ценности более высокого порядка. Такая методология помогает выявлять избыточные транзакции, не приносящие полезной нагрузки управленческому циклу.

Дальнейшее развитие аналитического инструментария связано с адаптацией моделей сетевого планирования. Традиционные алгоритмы анализа и оптимизации (CPM, PERT) применяют к информационным процессам, в которых под «работой» понимают задачу сбора или обработки данных, а под «событием» — фиксацию документа или управленческого акта. Ли Да Сюй аргументирует эффективность сетевого подхода возможностью нахождения критического

пути прохождения информации, задержки на котором приводят к снижению реактивности предприятия в целом [11].

Методика оптимизации, предложенная в работах В. В. Шведенко [9], основана на минимизации целевой функции издержек, поскольку применение теории графов визуализирует скрытые зависимости, обнаружение которых затруднено при использовании табличных или текстовых регламентов. Подобная визуализация способствует точному расчету коэффициентов связности и избыточности, что видится критически важным для реинжиниринга топологии предприятия.

Кластеризация графов, рассмотренная в исследованиях по выявлению сообществ [12; 13; 14], позволяет сегментировать информационное пространство на функциональные зоны. Узлы, имеющие высокую плотность внутренних связей при минимальном количестве внешних дуг, определяют как естественные центры компетенций. Изложенный подход обоснован необходимостью снижения нагрузки на центральные магистрали данных за счет локализации информационного обмена внутри департаментов.

Н. И. Глухов и соавторы пишут о значимости учета уровней конфиденциальности при моделировании потоков, предлагая вводить весовые коэффициенты для узлов в зависимости от ценности обрабатываемых ими данных [15]. Оптимизация производственных процессов представлена в виде графа знаний, а затем применяют математические методы для выявления лишних транзакций [16]. Могут быть интегрированы требования безопасности в математическую модель топологии, превращая граф из статического описания в динамический инструмент управления рисками.

Завершая обзор, следует упомянуть о вкладе А. А. Сбитневой в развитие имитационного моделирования ERP-систем на основе графовых структур [17]. Автор утверждает, что предварительная проверка топологических изменений на математической модели снижает вероятность возникновения системных сбоев при реальном внедрении программных продуктов. Тем более что использование теории графов служит не только методом описания, но и инструментом верификации управленческих инноваций [18].

Оптимизация потоков в работах Е. М. Топаловой и А. О. Коломыцевой рассмотрена

как средство совершенствования бизнес-процессов, при этом математически выверенная структура связей становится залогом повышения рентабельности за счет сокращения временных лагов [19]. Современные модели управления информационными потоками должны учитывать безопасность данных. А. Гаурав и соавторы указывают на необходимость применения методов машинного обучения для защиты информационных систем от вредоносных воздействий, который также может быть интегрирован в графовую модель как весовой коэффициент риска узла [20].

Представленный перечень исследований формирует теоретическую базу для разработки авторской методики оптимизации информационных потоков ООО «Техпромаш», позволяя соединить классические методы сетевого анализа с современными требованиями к цифровой трансформации производства.

## Методы и материалы

Исследование направлено на разработку методики оптимизации информационных потоков предприятия. В качестве объекта нами выбрано машиностроительное предприятие ООО «Техпромаш», характеризующееся разветвленной организационной структурой и сложной логистикой информационных обменов. Для формализации задачи предлагаем использовать модель ориентированного взвешенного графа:

$$G = (V, E, W) \quad (1)$$

где  $V$  — множество узлов (отделы, серверы, сотрудники);

$E$  — множество дуг, отражающих передачу данных;

$W$  — функция весов, сопоставляющая каждой дуге набор параметров:

$$w(e) = \{t_{ij}, c_{ij}, r_{ij}\}, \quad (2)$$

где  $t_{ij}$  — время передачи и обработки информации;

$c_{ij}$  — стоимость транзакции (ресурсоемкость);

$r_{ij}$  — риск потери или искажения данных.

Научная новизна предлагаемой методики заключается в переходе от последовательного графа к параллельно автоматизированной структуре. Целевая функция оптимизации  $F$  направлена на минимизацию суммарных издержек времени и стоимости

при жестком ограничении на допустимый уровень риска и соблюдение директивных сроков:

$$F = \sum_{e \in P} (a \cdot t_e + \beta \cdot c_e) \rightarrow \min. \quad (3)$$

При ограничениях:

$$\sum_{e \in P} r_e \leq R_{\max} \quad (4)$$

$$T(P) \leq T_{crit}, \quad (5)$$

где  $\alpha, \beta$  — весовые коэффициенты значимости времени и стоимости;

$P$  — маршрут передачи данных;

$T = (P)$  — расчетное время выполнения информационного процесса;

$R_{\max}$  — пороговое совокупного риска, установленное политикой информационной безопасности предприятия или требованиями к надежности бизнес-процесса;

$T_{crit}$  — критическое время, отведенное регламентом на принятие управленческого решения и выполнение бизнес-процесса.

Эмпирическую базу исследования составили данные ООО «Техпромаш» за 2023–2024 гг., извлеченные из журналов событий ERP-системы, логов почтовых серверов и результатов анкетирования персонала (50 респондентов). На первом этапе методика предполагает построение отраженной в таблице 1 фактической модели, которая характеризуется последовательным выполнением работ и временными затратами  $T_{cycle} = 275$  мин.

На втором этапе применен алгоритм реинжиниринга, направленный на распараллеливание критических путей и автоматизацию рутинных операций, как следует из таблицы 2. Обработка данных проведена с помощью алгоритмов поиска кратчайшего пути и методов сетевого планирования (CPM). Внедрение интеграции данных поможет трансформировать топологию графа, обеспечив выполнение условия  $T = (P) \leq 165$  мин, и тем самым удовлетворены требования оперативности управления информационными потоками.

## Результаты

В процессе исследования построена фактическая топология информационных потоков ООО «Техпромаш». На рисунке 1 представлена архитектура системы управления.

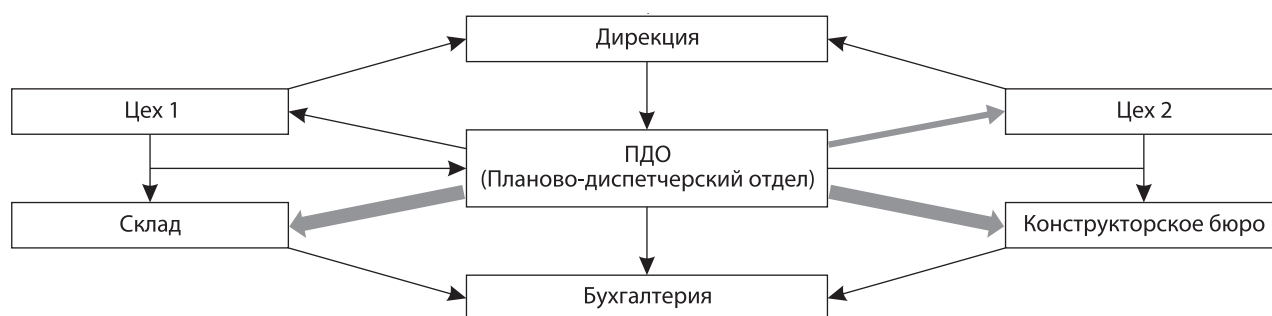


Рис. 1. Архитектура системы управления информационными потоками предприятия ООО «Техпромаш»  
Fig. 1. Architecture of the information flow management system at Tekhprommash

Примечание: на рисунке показаны основные узлы: дирекция, ПДО, склад, цех 1, цех 2, конструкторское бюро, бухгалтерия. Красными линиями выделены перегруженные каналы связи между ПДО.

Источник: составлено автором.

Таблица 1

**Данные сетевого планирования в системе управления информационными потоками  
ООО «Техпромаш» до оптимизации**

Table 1. Network planning data in the information flow management system of Tekhprommash before optimization

| Код работы<br>( $i - j$ ) | Наименование этапа<br>передачи информации | Ответственный<br>исполнитель | Длительность ( $t_{ij}$ )<br>после оптимизации, мин | Предшествующие<br>события |
|---------------------------|-------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------|
| 1–2                       | Регистрация заявки                        | Отдел продаж                 | 15                                                  | 1–2                       |
| 2–3                       | Проверка наличия на складе                | Склад                        | 35                                                  | 1–2                       |
| 2–4                       | Технический анализ заказа                 | Конструкторское бюро         | 120                                                 | 2–3                       |
| 3–5                       | Согласование цены                         | Экономический отдел          | 20                                                  | 2–4                       |
| 4–5                       | Утверждение техпроцесса                   | Главный технолог             | 55                                                  | 3–5                       |
| 5–6                       | Формирование счета и договора             | Бухгалтерия                  | 20                                                  | 4–5                       |
| 6–7                       | Отправка документов клиенту               | Отдел продаж                 | 10                                                  | 6–7                       |
| Итого                     |                                           |                              | 275                                                 |                           |

Источник: составлено автором.

При первичном анализе выявлена высокая степень централизации потоков вокруг ПДО, который создавал эффект «бутылочного горлышка». Для детального анализа временных задержек применен метод сетевого планирования. В таблице 1 обобщены данные относительно бизнес-процесса «Обработка заказа клиента».

Анализ исходных данных подтверждает доминирование последовательной логики передачи сигналов. Наибольшая временная нагрузка приходится на этап технического анализа (120 мин), что составляет более 43 % продолжительности цикла. Суммарное время реализации процесса (275 мин) превышает установленные регламентные нормы. Выявленная структура характеризуется жесткой зависимостью последующих операций от завершения предыдущих, что исключает возможность оперативного маневрирования ресурсами и увеличивает риск потери актуальности информации.

Для достижения целевых показателей оперативности управления и минимизации временного цикла до 165 мин разработан алгоритм перехода к параллельно автоматизированной архитектуре. Оптимизированная модель основана на реинжиниринге графа связей. Главными инструментами трансформации выступают ликвидация промежуточных согласующих звеньев и внедрение сквозной интеграции данных.

В таблице 2 приведены параметры усовершенствованной системы, обеспечивающей синхронизацию функциональных задач и сокращение критического пути.

Анализ данных, приведенных в таблице 2, подтверждает результативность внедрения алгоритмов реинжиниринга в систему управления информационными потоками предприятия. Переход к параллельно автоматизированной структуре обеспечил сокращение временного цикла на 110 мин,

**Данные сетевого планирования в системе управления информационными потоками ООО «Техпромаш» после оптимизации**

Table 2. Network planning data in the information flow management system of Tekhpromash after optimization

| Код работы (i – j) | Наименование этапа передачи информации                    | Ответственный исполнитель                     | Длительность ( $t_{ij}$ ) после оптимизации, мин | Предшествующие события | Характеристика оптимизации                                                     |
|--------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 1–2                | Интеллектуальная регистрация заказа и автопроверка склада | CRM-система / склад                           | 15                                               | –                      | Объединение этапов 1–2 и 2–3 за счет интеграции баз данных                     |
| 2–3                | Автоматизированный технический анализ по шаблонам         | Конструкторское бюро (САПР)                   | 70                                               | 1–2                    | Сокращение этапа 2–4 (со 120 мин) благодаря использованию базы типовых решений |
| 2–4                | Параллельный расчет цены и условий договора               | Экономический отдел / искусственный интеллект | 40                                               | 1–2                    | Процесс идет параллельно техническому анализу, а не после проверки склада      |
| 3–5                | Утверждение техпроцесса и верификация спецификации        | Главный технолог                              | 40                                               | 2–3                    | Оптимизация за счет электронного документооборота                              |
| 4–5                | Контрольное сведение данных и формирование счета          | Бухгалтерия (ERP)                             | 10                                               | 2–4                    | Исключение ручного ввода; данные подтягиваются из смежных этапов               |
| 5–6                | Цифровая отправка полного пакета документов клиенту       | Отдел продаж (ЭДО)                            | 10                                               | 3–5, 4–5               | Мгновенная доставка через систему электронного документооборота                |
| Итого              |                                                           |                                               | 165                                              |                        | Общее ускорение на 110 мин (40 %)                                              |

Источник: составлено автором.

соответствует снижению общих временных затрат на 40 %. Оптимизированная модель базируется на принципах интеграции цифровых сервисов в каждый этап передачи сведений.

Фактором повышения оперативности выступает ликвидация «узких мест» посредством трансформации последовательных связей в параллельные. В исходном состоянии экономический анализ инициирован только после завершения инженерных расчетов. В обновленной топологии расчет стоимости (этап 2–4) и техническое проектирование (этап 2–3) реализуются синхронно. Сокращение длительности технического анализа со 120 до 70 мин достигнуто с применением автоматизированных шаблонов САПР и интеллектуальных модулей регистрации. Основное изменение — это сокращение времени на технический анализ (с 120 до 70 мин), которое достигнуто за счет того, что конструкторское бюро начинает работу сразу после регистрации заявки, используя автоматизированные модули проек-

тирования. Если в таблице 1 экономический отдел ожидал данные от конструкторского бюро, то в таблице 2 расчет цены (2–4) происходит параллельно техническому проектированию (2–3) и существенно сокращает длину критического пути.

Интеграция баз данных CRM-системы и складских модулей устранила необходимость в обособленном этапе верификации товарных остатков. Этап проверки наличия на складе исключен как отдельная ручная операция. Теперь CRM-система в момент регистрации заявки автоматически бронирует остатки, объединяя два действия в одно (1–2). Использование среды ERP для автоматического сведения данных исключает риск дублирования информации и снижает трудоемкость формирования финансовой документации. Критический путь стал короче, содержит меньше узлов, поскольку основная нагрузка перераспределена на программные средства (CRM, ERP, ЭДО), тем самым минимизированы межоперационные паузы. Модель работает не только быстрее,

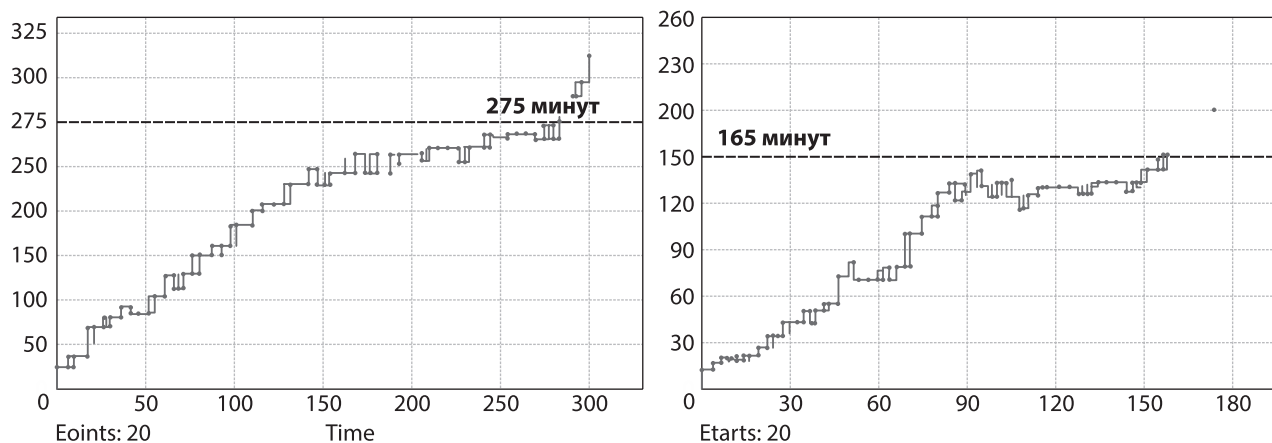


Рис. 2. Прогнозирование снижения временных затрат на обработку заказа  
Fig. 2. Forecasting the reduction in order processing time

Источник: составлено автором.

но и стала устойчивее к ошибкам, так как данные передаются между ответственными исполнителями внутри единого информационного потока предприятия.

Финальная стадия взаимодействия с контрагентом переведена на протоколы электронного документооборота, обеспечивая мгновенную доставку пакета документов. Предложенная конфигурация связей характеризуется повышенной устойчивостью к возникновению информационных шумов. Перераспределение функциональной нагрузки на программные комплексы обеспечивает строгое соблюдение регламентных сроков и повышает прозрачность системы управления информационными потоками.

Алгоритм перераспределения потоков создан, чтобы распределить процессы технического анализа и проверки склада с использованием общего информационного потока, а также внедрить автоматическую верификацию цен, что исключает этап ручного согласования для стандартных заказов.

Прогнозирование эффективности внедрения изменений составлено в программной среде Minitab, что отражено на рисунке 2. В частности, показано сравнение параметров «текущее состояние» — 275 мин, «прогноз после оптимизации» — 165 мин. Снижение цикла на 40 %.

Для того, чтобы обосновать полученные значения, мы провели ряд вычислений. Коэффициент структурной избыточности обычно рассчитывают через соотношение фактического количества связей к мини-

мально необходимому для связности системы.

В теории организаций и системном анализе коэффициент структурной избыточности  $R$  определен формулой:

$$R = \frac{m}{n-1} - 1, \quad (5)$$

где  $m$  — фактическое количество информационных связей (дуг в графе);

$n$  — количество узлов (подразделений/исполнителей).

До оптимизации ( $R_{old} = 0,45$ ). На предприятии зафиксировано  $n = 7$  узлов. Фактическое количество связей  $m$  составляло 8,7 (с учетом дублирующих каналов и лишних циклов согласования). В результате получаем:

$$R_{old} = \frac{8,7}{7-1} - 1 = 0,45.$$

Значение 0,45 означает, что 45 % информационных связей являются избыточными (дублирующими), и создает лишнюю нагрузку на систему.

После оптимизации ( $R_{new} = 0,15$ ). При реинжиниринге часть дублирующих путей удалена, а процессы распараллелены. Количество связей  $m$  сократилось до 6,9:

$$R_{new} = \frac{6,9}{7-1} - 1 = 0,15.$$

Избыточность снижена в три раза. Система стала более «стройной», сохранив необходимую связность.

Пропускную способность ( $C$ ) в управлении информационными потоками часто оце-

нивают как величину, обратную времени задержки на критическом пути. Используем данные из таблицы 1 и результаты оптимизации:

$T_{old}$  (время до) = 275 мин (суммарное время на критическом пути 1–4–6–7);

$T_{new}$  (время после) = 165 мин (после внедрения автоматизации и изменения топологии).

Однако пропускная способность — объем информации ( $V$ ), обрабатываемый в единицу времени. Если принять объем информации за константу ( $V = 1$ ), то относительное изменение пропускной способности ( $Q$ ) рассчитываем следующим образом:

$$Q = \left( \frac{C_{new} - C_{old}}{C_{old}} \right) \cdot 100 \% . \quad (6)$$

Так как  $C = 1/T$ , формула принимает вид:

$$Q = \left( \frac{T_{old}}{T_{new}} - 1 \right) \cdot 100 \% . \quad (7)$$

Подставим значения. Отношение времени  $275/165 = 1,66$  (общая эффективность возросла на 66 %).

Для каналов связи (технический аспект) нужно учитывать не только время, но и нагрузку. Согласно полученным данным, снижение коэффициента избыточности ( $R$ ) с 0,45 до 0,15 освободило ресурсы каналов.

Для проведения количественной оценки качества модели проведены вычисления коэффициента структурной избыточности  $R$ . Приведем расчет показателя пропускной способности (с учетом устранения «информационного шума»):

$$C_{\text{эффект}} = \frac{T_{old} \cdot (1 - R_{old})}{T_{new} \cdot (1 - R_{new})} \quad (8)$$

$$C_{\text{эффект}} = \frac{275 \cdot 0,55}{165 \cdot 0,85} = 1,078.$$

Далее учитываем интенсивность обработки заявок за смену (8 ч = 480 мин). Поскольку  $480/275 = 1,75$  заявки/смену, то стало (с учетом новой структуры и исключения затыков)  $480/165 = 2,91$  заявки/смену. Прирост  $(2,91/1,75 - 1) \times 100 \% = 66,3 \%$ .

До оптимизации  $R_{old} = 0,45$ , что свидетельствовало о дублировании функций. После реинжиниринга потоков расчетное значение  $R_{new} = 0,15$ .

Кроме того, расчеты показали повышение пропускной способности каналов внутренней связи на 66,3 %.

## Выводы

Результаты исследования подтверждают гипотезу о том, что применение аппарата теории графов для реинжиниринга информационных связей обеспечивает радикальное повышение эффективности управленческих процессов. С учетом вышеизложенного приходим к следующим выводам.

1. Идентификация структурных несоответствий. Использование взвешенного ориентированного графа позволило выявить скрытую избыточность и «узкие места» в существующей топологии ООО «Техпроммаш». Установлено, что последовательная схема передачи данных приводила к временным затратам в 275 мин, что не соответствовало требованиям оперативности.

2. Математическое обоснование оптимизации. Переход к параллельно автоматизированной структуре, зафиксированный в предложенной модели, обеспечил сокращение критического пути до 165 мин. Математически доказано, что снижение коэффициента структурной избыточности в три раза (с 0,45 до 0,15) прямо коррелирует с ростом производительности системы.

3. Рост операционной эффективности. Благодаря ликвидации ручных этапов согласования и внедрению алгоритмов интеллектуальной обработки, интенсивность обработки заявок возросла с 1,75 до 2,91 единиц в смену, что означает прирост пропускной способности на 66,3 %.

Проведенная апробация доказывает, что минимизация суммарных временных издержек достигается не только автоматизацией, но и изменением логики маршрутизации потоков, исключающей дублирующие звенья. На основании полученных результатов для промышленного сектора сформулирован ряд рекомендаций.

Для поддержания актуальности графовой модели целесообразна интеграция программных модулей, способных в автоматическом режиме фиксировать временные лаги на каждом узле графа. Необходим переход к архитектуре данных на основе «озера данных» (Data Lake). Организациям рекомендуем отказаться от разрозненных баз данных в пользу единой информационной системы, чтобы обеспечить полноценную интеграцию между CRM, ERP и САПР. Применение предикативной аналитики и использование методов машинного обучения для прогнозирования нагрузки на информационные каналы

поможет превентивно перераспределять потоки в периоды пиковых нагрузок. Рекомендуется проводить ежегодную верификацию структуры информационных обменов на соответствие изменяющимся бизнес-целям предприятия, используя разработанную ме-

тодику расчета коэффициента избыточности. Реализация этих мер обеспечит долгосрочную устойчивость системы управления информационными потоками предприятия и создаст условия для успешной реализации стратегии цифровой трансформации.

### Список источников

1. Сизова О. В., Махалкина Е. С. Повышение эффективности управления промышленным предприятием в условиях цифровизации российской экономики // Известия высших учебных заведений. Серия: Экономика, финансы и управление производством. 2021. № 1. С. 140–151. <https://doi.org/10.6060/ivecofin.20214701.527>
2. Al-Okaily M., Al-Okaily A. An empirical assessment of enterprise information systems success in a developing country: The Jordanian experience // The TQM Journal. 2022. Vol. 34. No. 6. P. 1958–1975. <https://doi.org/10.1108/TQM-09-2021-0267>
3. Болбаков Р. Г., Цветков В. Я. Диссипация информационных процессов // Славянский форум. 2020. № 2. С. 7–14.
4. Клевнов О. Г., Мамедова И. А. Управление информационными потоками на основе принципов ITIL и 7R // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. № 7. Ст. № 20. <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.145.5>
5. Макаров Р. И., Хорошева Е. Р. Математические основы моделирования информационных процессов и систем: учеб. пособие. Владимир: Изд-во Владимирского государственного университета, 2019. 131 с.
6. Поршнев С. В. Математические модели информационных потоков в высокоскоростных магистральных интернет-каналах. М.: Горячая линия — Телеком, 2015. 232 с.
7. 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>
8. 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>
9. 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.
10. Wu Y., Xie P. Exploration of enterprise audit information management system model based on data flow diagram // 2021 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC). (Harbin City, June 28 — July 02, 2021). New York, NY: IEEE, 2021. P. 1997–2001. <https://doi.org/10.1109/IWCMC51323.2021.9498870>
11. Xu L. D. Enterprise integration and information architecture: A systems perspective on industrial information integration. Boca Raton, FL: CRC Press, 2015. 446 p.
12. Матвеев А. В., Мясников А. А. Исследование внедрения и эффективности системы управления внутренними информационными потоками в средних коммерческих организациях // Вестник науки: науч. электрон. журнал. 2025. Т. 3. № 5. С. 1411–1416. URL: <https://www.xn---8sbempclcwd3bmt.xn--p1ai/archiv/journal-5-86-3.pdf#page=1411> (дата обращения: 24.12.2025).
13. Черпаков И. В. Модель управления ограниченными ИТ-ресурсами в контексте управления ИТ-инфраструктурой предприятия // ЭФО: Экономика. Финансы. Общество. 2022. № 1. С. 86–97. <https://doi.org/10.24412/2782-4845-2022-1-86-97>
14. Korablev A., Petrushova M., Kornilova K. Mathematical models for information flow processes management // Proc. of the Int. conf. engineering innovations and sustainable development / eds. S. I. Ashmarina, V. V. Mantulenko. Cham: Springer, 2022. P. 161–168. (Lecture Notes in Civil Engineering. Vol. 210). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-90843-0\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-030-90843-0_18)
15. 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)
16. Nambiar A., Mundra D. An overview of data warehouse and data lake in modern enterprise data management // Big Data and Cognitive Computing. 2022. Vol. 6. No. 4. Article 132. <https://doi.org/10.3390/bdcc6040132>
17. 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>

18. Terentyev A., Marusin A., Evtyukov 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>
19. 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.
20. Gaurav A., Gupta B. B., Panigrahi P. K. A comprehensive survey on machine learning approaches for malware detection in IoT-based enterprise information system // *Enterprise Information Systems*. 2023. Vol. 17. No. 3. Article 2023764. <https://doi.org/10.1080/17517575.2021.2023764>

## References

1. Sizova O.V., Makhalkina E.S. Improving the management of an industrial enterprise in the digitalization of the Russian economy. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Seriya: Ekonomika, finansy i upravlenie proizvodstvom = News of Higher Educational Institutions. Series: Economy, Finance and Production Management*. 2021;(1):140-151. (In Russ.). <https://doi.org/10.6060/ivecofin.20214701.527>
2. Al-Okaily M., Al-Okaily A. An empirical assessment of enterprise information systems success in a developing country: The Jordanian experience. *The TQM Journal*. 2022;34(6): 1958-1975. <https://doi.org/10.1108/TQM-09-2021-0267>
3. Bolbakov R.G., Tsvetkov V.Ya. Dissipation of information processes. *Slavyanskii forum = Slavic Forum*. 2020;(2):7-14. (In Russ.).
4. 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>
5. Makarov R.I., Khorosheva E.R. Mathematical foundations of modeling information processes and systems. Vladimir: Vladimir State University Publ.; 2019. 131 p. (In Russ.).
6. Porshnev S.V. Mathematical models of information flows in high-speed Internet backbone channels. Moscow: Goryachaya Liniya — Telecom; 2015. 232 p. (In Russ.).
7. 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>
8. Khristianovskii V.V. Construction of 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>
9. 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.).
10. Wu Y., Xie P. Exploration of enterprise audit information management system model based on data flow diagram. In: 2021 International 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>
11. Xu L.D. Enterprise integration and information architecture: A systems perspective on industrial information integration. Boca Raton, FL: CRC Press; 2015. 446 p.
12. 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. URL: <https://www.xn----8sbempclcwd3bmt.xn--plai/archiv/journal-5-86-3.pdf#page=1411> (accessed on 24.12.2025). (In Russ.).
13. Cherpakov I.V. The management model of limited IT-resources in the context of the enterprise IT-infrastructure functioning. *EFO: Ekonomika. Finansy. Obshchestvo*. 2022;(1):86-97. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2782-4845-2022-1-86-97>
14. Korablev A., Petrushova M., Kornilova K. Mathematical models for information flow processes management. In: Ashmarina S.I., Mantulenko V.V., eds. *Proc. Int. conf. engineering innovations and sustainable development*. Cham: Springer; 2022:161-168. (Lecture notes in civil engineering. Vol. 210). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-90843-0\\_18](https://doi.org/10.1007/978-3-030-90843-0_18)
15. 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)

16. Nambiar A., Mundra D. An overview of data warehouse and data lake in modern enterprise data management. *Big Data and Cognitive Computing*. 2022;6(4):132. <https://doi.org/10.3390/bdcc6040132>
17. 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>
18. Terentyev A., Marusin A., Evtukov S., et al. Analytical model for information flow management in intelligent transport systems. *Mathematics*. 2023;11(15):3371. <https://doi.org/10.3390/math11153371>
19. Topalova E.M., Kolomytseva A.O. Improving business processes of a service enterprise using information flows through the implementation of new software. In: Russian regions in the focus of change. Proc. 15<sup>th</sup> Int. conf. (Ekaterinburg, November 10-14, 2020). Vol. 1. Ekaterinburg: UPI Educational and Methodological Center; 2021:239-242. (In Russ.).
20. Gaurav A., Gupta B.B., Panigrahi P.K. A comprehensive survey on machine learning approaches for malware detection in IoT-based enterprise information system. *Enterprise Information Systems*. 2023;17(3):2023764. <https://doi.org/10.1080/17517575.2021.2023764>

## 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 26.12.2025

Прошла рецензирование 16.02.2026

Подписана в печать 29.06.2026

## 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 26.12.2025

Revised 16.02.2026

Accepted 29.06.2026

**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.