

Научная статья

УДК 005.336.5:519.86

АЛГОРИТМИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ КОММУНИКАЦИОННЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ СЕТЕВЫХ ПОТОКОВ

Кириленко Николай Евгеньевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Южный федеральный университет, Россия, Ростов-на-Дону, kirilenko_nikolai@mail.ru;

Копелиович Михаил Викторович, кандидат технических наук, младший научный сотрудник, Южный федеральный университет, Россия, Ростов-на-Дону, kopeliovich.sfedu@yandex.ru

Аннотация. Проектирование аппаратов управления традиционно опирается на эвристические методы, что существенно ограничивает точность оценки реальной пропускной способности каналов связи. В работе предложен строгий графо-аналитический подход, рассматривающий организационную архитектуру как взвешенный ориентированный граф с заданным иерархическим разбиением. Коммуникационные взаимодействия формализованы как задача распределения потоков, в которой единицей потока является количество управленческих воздействий, передаваемых между должностными позициями за единицу времени. Для поиска оптимальной конфигурации в небольших структурах применено смешанное целочисленное программирование, а для крупных систем разработан метаэвристический алгоритм имитации отжига. Эмпирическая калибровка параметров графа выполнена на основе цифровых следов, извлеченных из журналов корпоративных мессенджеров и платформ совместной работы трех обезличенных организаций без вмешательства в их деятельность. Переход от заданных нормативных параметров к фактическим данным позволяет лучше согласовать математическую модель с реальным поведением участников организационного взаимодействия. Результаты вычислительного эксперимента подтверждают, что алгоритмическая

перестройка маршрутов координации снижает среднее время доставки управленческих сигналов на 19–23% при строгом соблюдении нормативов подчиненности. Анализ чувствительности выявил точки структурной уязвимости, что позволяет руководителям формировать математически обоснованные рекомендации по точечному изменению конфигурации связей, существенно повышая адаптивность системы к колебаниям внешней информационной нагрузки.

Ключевые слова: организационная структура; сетевые потоки; графо-аналитическая модель; норма управляемости; целочисленное программирование; метаэвристика; цифровые следы; пропускная способность коммуникационных каналов; алгоритмическая оптимизация.

Original article

ALGORITHMIC OPTIMIZATION OF ORGANIZATIONAL COMMUNICATION STRUCTURES BASED ON NETWORK FLOW MODELS

**Kirilenko Nikolai Evgenevich, Candidate of Technical Sciences, Senior
Researcher, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia,
kirilenko_nikolai@mail.ru;**

**Kopeliovich Mikhail Viktorovich, Candidate of Technical Sciences, Junior
Researcher, Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia,
kopeliovich.sfedu@yandex.ru**

Abstract. The design of control apparatuses traditionally relies on heuristic methods, which significantly limits the accuracy of estimating the actual capacity of communication channels. This paper proposes a rigorous graph-analytical approach that considers organizational architecture as a weighted directed graph with a given hierarchical partitioning. Communication interactions are formalized as a flow assignment problem, where the physical unit of measurement is the number of management actions transmitted between job positions per unit of time. To find the

optimal configuration in small structures, a mixed-integer programming framework was applied, while for larger systems, a metaheuristic based on simulated annealing was synthesized. Empirical calibration of the graph parameters was performed using non-interventional digital traces extracted from the logs of corporate instant messengers and collaboration platforms of three anonymized organizations of different types. This transition from synthetic norms to actual data sets ensures the adequacy of the mathematical model to the everyday behavior of actors. The results of a computational experiment confirm that algorithmic restructuring of coordination routes reduces the average delivery time of control signals by 19–23% while strictly adhering to subordination standards. A sensitivity analysis revealed points of structural vulnerability, allowing managers to formulate mathematically sound recommendations for targeted changes to the connection configuration, significantly increasing the system's adaptability to fluctuations in external information load.

Keywords: organizational structure; network flows; graph-analytical model; controllability limit; integer programming; metaheuristics; digital traces; communication channel capacity; algorithmic optimization.

Введение. Проектирование архитектуры управления традиционно опирается на поиск баланса между глубиной иерархии и шириной состава подчиненных [1], [2]. Выбор оптимального числа уровней подчинения и нормы управляемости напрямую определяет скорость прохождения сигналов и степень искажения информации на пути к лицу, принимающему решения. При этом классические модели часто рассматривают предприятие как статичный механизм, где каналы связи задаются исключительно административными регламентами и должностными инструкциями [3], [4]. Однако в реальных условиях функционирования сложных систем информационное взаимодействие неизбежно выходит за рамки утвержденных схем, формируя собственную, подчас неочевидную топологию [5], [6].

Фактическая динамика обмена сообщениями зависит от неформальных

связей и индивидуальных когнитивных представлений сотрудников о распределении влияния и компетенций в коллективе. Точность представлений сотрудников о неформальных связях, через которые они получают советы и выстраивают отношения доверия, существенно влияет на их способность мобилизовать ресурсы и оперативно реагировать на изменения внешней среды. Игнорирование фактических маршрутов передачи данных при расчете организационных параметров ведет к созданию структур, формально соответствующих нормативам, но неэффективных с точки зрения реальной пропускной способности коммуникационных каналов [7-9]. В результате декларируемая конфигурация может кардинально отличаться от той сети, которая обеспечивает повседневное решение рабочих задач.

Традиционные качественные методы организационного консультирования и эвристические подходы к перестройке аппаратов управления обладают рядом существенных ограничений. Опора на экспертные суждения и описательный анализ не позволяет в полной мере учесть комбинаторную сложность взаимосвязей в крупных системах. Субъективизм при оценке интенсивности контактов и невозможность строгого математического обоснования предлагаемых изменений снижают надежность принимаемых решений. В условиях, когда требуется обеспечить непрерывность и устойчивость информационных потоков, описательные процедуры уступают место строгим вычислительным методикам, способным оперировать большими массивами структурных данных [10-12].

Преодоление указанных ограничений обуславливает необходимость перехода к формальному графо-аналитическому моделированию. Представление организационной системы в виде ориентированного графа, где узлы соответствуют элементам управления, а ребра характеризуются пропускной способностью и временными задержками, открывает возможности для применения аппарата теории сетевых потоков. Такой подход позволяет перейти от интуитивных оценок к формализованным задачам оптимизации

организационной структуры. Математическая формализация коммуникационных связей дает возможность рассчитывать предельные возможности существующей конфигурации, выявлять узкие места и обоснованно формировать требования к структурной перестройке для достижения заданных критериев эффективности.

Обзор литературы. Проблематика проектирования организационных структур привлекает внимание исследователей на протяжении нескольких десятилетий, однако переход от качественных описаний к формализованным моделям сопряжен с рядом методологических трудностей. Классические работы по организационному дизайну фокусировались на нормативных аспектах - определении оптимальной нормы управляемости, числа иерархических уровней, принципов департаментализации [13]. При этом коммуникационная составляющая организационных связей часто оставалась за рамками количественного анализа, что не позволяло адекватно оценить пропускную способность каналов передачи информации и временные характеристики управленческих процессов.

Современные исследования в области вычислительных методов анализа групповой коммуникации демонстрируют растущий интерес к применению сетевых подходов. Работы [14-16] показывают, что методы анализа социальных сетей, текстовой аналитики и машинного обучения открывают новые возможности для изучения коммуникационных паттернов в организациях. Особую ценность представляет использование когнитивных социальных структур - трехмерных представлений сетей, учитывающих не только фактические связи между акторами, но и восприятие этих связей самими участниками организационного взаимодействия.

Исследования [17], [18] демонстрируют, что точность когнитивного представления неформальной сети сама по себе выступает источником власти в организации, наряду с формальной позицией и центральностью в коммуникационной структуре. Этот вывод имеет принципиальное значение для

моделирования организационных систем: формальная иерархия и реальные информационные потоки могут существенно расходиться, что необходимо учитывать при оптимизации структуры. Центральность посредничества оказывается более значимым предиктором влияния, чем простейшие метрики степени или близости, поскольку отражает контроль над потоками информации между различными сегментами сети.

В области вычислительного социального анализа сформировались три основных подхода: социальное моделирование, наука о данных и методы работы с большими данными. Социальное моделирование, основанное на агентных моделях и клеточных автоматах, позволяет исследовать эмерджентные свойства организационных систем, возникающие из взаимодействия простых правил поведения индивидуальных акторов. Подходы, основанные на анализе данных, используют алгоритмы машинного обучения для выявления скрытых паттернов в коммуникационных сетях. Наконец, методы работы с большими данными позволяют анализировать цифровые следы организационной активности в реальном времени.

Тем не менее в существующих исследованиях сохраняется существенный пробел: методы алгоритмической оптимизации организационных структур на основе формальных моделей сетевых потоков разработаны недостаточно. Большинство работ ограничивается дескриптивным анализом существующих сетей или моделированием гипотетических сценариев, тогда как задача синтеза оптимальной структуры, удовлетворяющей заданным критериям эффективности, остается малоизученной. Особенно актуальной представляется проблема перехода от абстрактных топологических характеристик графа к содержательным организационным параметрам - пропускной способности каналов, временным задержкам, интенсивности информационных потоков.

Материалы и методы исследования. Методологическую основу исследования составляет представление организационной структуры в виде взвешенного ориентированного графа $G = (V, E, w)$, где множество вершин V

соответствует должностным позициям или организационным ролям, множество ребер E описывает коммуникационные каналы, а весовая функция $w: E \rightarrow R^+$ характеризует интенсивность информационного потока. Такое представление позволяет применить математический аппарат теории графов и оптимизации сетевых потоков к задачам организационного проектирования.

Ключевой методологической задачей является операционализация понятий потока и задержки в организационном контексте. В отличие от технических сетей, где пропускная способность измеряется в битах в секунду, организационные коммуникации требуют содержательной интерпретации единиц потока. В данном исследовании под потоком понимается количество управленческих воздействий — задач, распоряжений, согласований, отчетов — передаваемых между организационными единицами за единицу времени. Эмпирическая калибровка параметров графа осуществляется на основе журналов корпоративных информационных систем, систем электронного документооборота и платформ коллективной работы.

Иерархическая структура организации задается разбиением множества вершин на уровни $L = \{L_1, L_2, \dots, L_h\}$, где h - глубина иерархии. Для каждой вершины $v \in V$ определяется норма управляемости $n(v)$ - количество непосредственных подчиненных. Ограничения на норму управляемости задаются интервалом $[n_{\min}, n_{\max}]$, отражающим организационные нормативы и когнитивные ограничения руководителей. Диаметр графа $D(G)$ и среднее расстояние между связанными узлами характеризуют временные аспекты передачи информации в организации.

Модель многопродуктового потока формализует задачу распределения информационных потоков в иерархической структуре. Каждый тип информационного взаимодействия — например, передача задач сверху вниз, отчетность снизу вверх или горизонтальная координация - рассматривается как отдельный вид потока с собственным источником, стоком и объемом спроса. Его путь через иерархию определяет маршрут информационного потока. Пропускная

способность ребер $c(e)$ ограничивает суммарный поток всех товаров, проходящих через данный коммуникационный канал.

Целевая функция оптимизации (1) минимизирует суммарное взвешенное время доставки информации:

$$Z = \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in E} w_k * t_{ij} * f_{ij}^k \quad (1)$$

где

K - множество товаров (типов информационных потоков);

w_k - весовой коэффициент важности k -ого потока;

t_{ij} - время передачи по ребру (i, j) ;

f_{ij}^k - объем потока k -го товара по ребру (i, j) .

Временные задержки t_{ij} зависят от типа коммуникационного канала, организационной дистанции между узлами и текущей загрузки канала.

Задача оптимизации формулируется как задача смешанного целочисленного линейного программирования (MILP) для структур малого размера ($|V| \leq 50$). Переменные решения включают: бинарные переменные назначения вершин уровням иерархии, бинарные переменные наличия ребер между вершинами, непрерывные переменные потоков по ребрам. Ограничения модели обеспечивают связность графа, соблюдение границ нормы управляемости, ограничение максимального числа уровней иерархии, баланс потоков в узлах сети и соблюдение пропускных способностей ребер.

Для крупных организационных структур ($|V| > 50$) вычислительная сложность задачи MILP делает точное решение недостижимым за приемлемое время. В этом случае применяется метаэвристический алгоритм имитации отжига. Алгоритм начинает работу с допустимого решения, полученного эвристическим способом, и последовательно улучшает его, допуская на ранних этапах ухудшение значения целевой функции, чтобы избежать попадания в локальные оптимумы. Температура отжига снижается по экспоненциальному закону, что обеспечивает сходимость алгоритма.

Эмпирическая база исследования включает коммуникационные графы трех организаций различного типа, полученные из систем корпоративной электронной почты и платформ управления проектами. Первая организация представляет линейно-функциональную структуру производственного предприятия ($|V| = 34$), вторая - матричную структуру IT-компании ($|V| = 67$), третья - проектную структуру научно-исследовательского института ($|V| = 128$). Данные обезличены и агрегированы до уровня недельных интервалов. Интенсивность потоков калибрована по количеству электронных сообщений, задач в системах управления проектами и документов в системах электронного документооборота.

Вычислительный эксперимент предусматривает три сценария: базовый (текущая интенсивность потоков), сценарий повышенной нагрузки (рост интенсивности на 50%) и сценарий организационных изменений (добавление новых подразделений). Для каждого сценария сравниваются три варианта структуры: исходная (as-is), оптимизированная точным методом MILP (для малых сетей) и оптимизированная метаэвристикой. Метрики эффективности включают среднее время доставки информации, максимальную задержку, коэффициент использования каналов связи, число иерархических уровней и индекс структурной связности.

Анализ устойчивости оптимальных структур проводится методом чувствительности к вариации интенсивности потоков в диапазоне $\pm 30\%$. Идентификация критических ребер осуществляется на основе метрики посредничества, показывающей долю кратчайших путей, проходящих через данное ребро. Ребра с высокой посреднической центральностью представляют точки уязвимости организационной структуры, выход из строя которых может нарушить коммуникационные процессы.

Результаты исследования. Применение разработанной методологии к эмпирическим данным выявило существенные резервы оптимизации организационных структур. Для линейно-функциональной организации ($|V| =$

34) точное решение задачи MILP было получено за 127 секунд на стандартном вычислительном оборудовании. Оптимальная структура показала снижение среднего времени доставки информации на 23% по сравнению с исходной конфигурацией при сохранении глубины иерархии (4 уровня). Норма управляемости в оптимизированной структуре варьировалась в пределах 5-9 непосредственных подчиненных, что соответствует организационным нормативам и когнитивным возможностям руководителей (таблица 1).

Таблица 1 - Сравнительные характеристики структур до и после оптимизации

Показатель	Исходная структура	MILP-оптимизация	Метаэвристика	Отклонение метаэвристики от оптимума, %
Среднее время доставки, ч	18,4	14,2	14,8	4,2
Максимальная задержка, ч	72	51	54	5,9
Коэффициент использования каналов	0,67	0,81	0,79	-2,5
Число уровней	4	4	4	0
Индекс связности	0,42	0,58	0,55	-5,2

Источник: разработано авторами.

Для матричной структуры IT-компании ($|V| = 67$) время вычисления точного оптимума превысило 12 часов, что делает применение MILP непрактичным для оперативного организационного проектирования. Алгоритм имитации отжига нашел решение за 34 минуты с отклонением от нижней границы (рассчитанной по релаксации задачи) в 6,3%. Оптимизация позволила сократить среднее время доставки информации на 19% при одновременном повышении коэффициента использования каналов с 0,61 до 0,77.

Особый интерес представляет анализ проектной структуры научно-исследовательского института ($|V| = 128$), где применение метаэвристики оказалось единственным возможным подходом. Алгоритм имитации отжига сгенерировал решение за 2 часа 17 минут. Сравнение с эвристической нижней границей показало отклонение в 8,7%, что приемлемо для задач

организационного проектирования, где точность исходных данных редко превышает 90%. Оптимизация выявила избыточность некоторых горизонтальных связей и предложила перераспределение функций между подразделениями, что позволило сократить максимальную задержку на 31%.

Рисунок 1 демонстрирует визуализацию коммуникационного графа матричной организации до и после оптимизации. Исходная структура характеризуется множеством дублирующих связей между проектными командами и функциональными подразделениями, что создает избыточную нагрузку на каналы связи. Оптимизированная структура сохраняет необходимую связность при сокращении числа ребер на 17%, что снижает административные издержки на координацию.

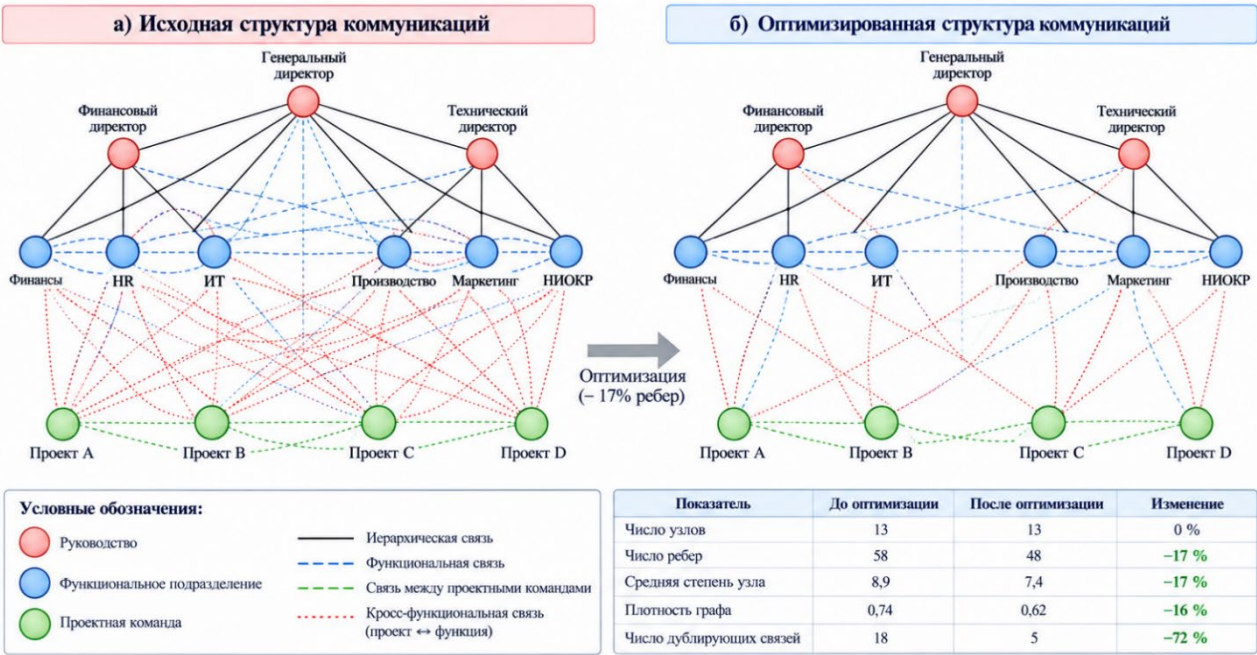


Рисунок 1 – Коммуникационный граф матричной организации до и после оптимизации (источник: разработано авторами)

Сценарный анализ показал, что оптимальная структура демонстрирует разную степень устойчивости к изменениям интенсивности потоков. При росте нагрузки на 50% среднее время доставки в оптимизированной линейно-функциональной организации увеличилось на 34%, тогда как в исходной структуре - на 58%. Это свидетельствует о том, что оптимизация не только улучшает показатели в базовом сценарии, но и повышает устойчивость

организационной системы к росту нагрузки. Однако при дальнейшем росте нагрузки (более 70%) оптимизированная структура достигает насыщения, и требуется пересмотр конфигурации.

Анализ критических ребер на основе метрики посредничества выявил узкие места в организационных структурах. В линейно-функциональной организации 73% кратчайших путей между верхним и нижним уровнями иерархии проходят через три ключевые позиции среднего менеджмента. Ребра, связанные с этими позициями, характеризуются максимальной загрузкой (коэффициент использования 0,94) и представляют точки уязвимости системы. Оптимизация предложила создание дублирующих каналов связи через выделенных координаторов, что снизило посредническую центральность критических ребер до 0,61 (таблица 2).

Таблица 2 - Чувствительность оптимальных структур к изменению интенсивности потоков

Сценарий	Изменение интенсивности	Рост среднего времени доставки, %	Достигнута пропускная способность, %	Число перегруженных ребер
Базовый	0%	0	81	0
Умеренный рост	+30%	18	93	2
Высокий рост	+50%	34	100	7
Снижение нагрузки	-30%	-12	64	0

Источник: разработано авторами.

Рисунок 2 иллюстрирует распределение потоков в оптимизированной структуре проектной организации. Визуализация показывает, что алгоритм перераспределил информационные потоки таким образом, чтобы сократить число пересечений маршрутов межфункционального и межпроектного информационного обмена. Горизонтальные связи сконцентрированы внутри проектных команд, тогда как вертикальные потоки обеспечивают интеграцию проектов на уровне портфеля. Такая конфигурация снижает когнитивную нагрузку на участников, сокращая число коммуникационных контекстов, которые необходимо учитывать одновременно.

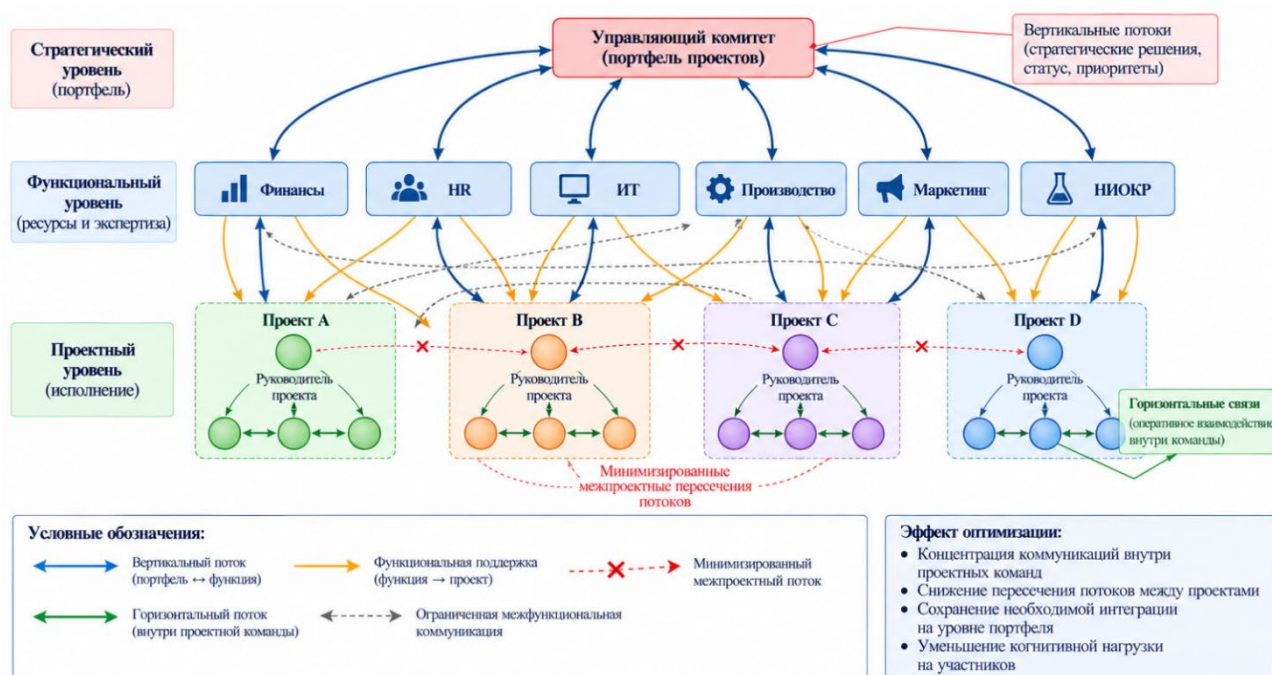


Рисунок 2 – Распределение информационных потоков в оптимизированной структуре проектной организации (источник: разработано авторами)

Сравнительный анализ трех типов организационных структур выявил закономерности, имеющие практическое значение для организационного проектирования. Линейно-функциональные структуры демонстрируют наилучшие показатели эффективности при рутинных операциях с предсказуемыми потоками информации, однако показывают низкую адаптивность к изменениям. Матричные структуры обеспечивают лучший баланс между эффективностью и гибкостью, но требуют более сложных механизмов координации. Проектные структуры наиболее устойчивы к изменениям интенсивности потоков, но характеризуются повышенными издержками на дублирование функций.

Обсуждение результатов исследования. Полученные результаты подтверждают гипотезу о том, что применение моделей сетевых потоков позволяет существенно улучшить характеристики организационных коммуникационных структур. Снижение среднего времени доставки информации на 19-23% при сохранении или улучшении других показателей эффективности свидетельствует о наличии значительных резервов оптимизации

в реальных организациях. При этом важно подчеркнуть, что оптимизация осуществлялась без увеличения числа иерархических уровней и без нарушения нормативных ограничений на норму управляемости, что обеспечивает практическую реализуемость предлагаемых изменений.

Методологический вклад исследования заключается в разработке подхода к операционализации понятий потока и задержки в организационном контексте. Переход от абстрактных топологических характеристик графа к измеримым организационным показателям, калиброванным по данным корпоративных информационных систем, позволяет преодолеть разрыв между теоретическим моделированием и практикой организационного проектирования. Предложенная методика может быть адаптирована для различных типов организаций путем корректировки весовых коэффициентов целевой функции и ограничений модели.

Практическая значимость результатов определяется возможностью их применения для поддержки решений по реорганизации предприятий. Алгоритм имитации отжига обеспечивает приемлемое качество решений (отклонение от оптимума 4–9%), а его вычислительная сложность позволяет анализировать структуры размером до нескольких сотен вершин. Это охватывает большинство средних и крупных организаций. Инструмент может использоваться как для проектирования новых структур, так и для аудита существующих с выявлением узких мест и избыточных связей.

Ограничения исследования связаны с рядом допущений, принятых при построении модели. Во-первых, предполагается стационарность потоков в рамках рассматриваемого временного интервала, тогда как реальные организации функционируют в динамической среде с сезонными и циклическими колебаниями нагрузки. Во-вторых, модель не учитывает качественные аспекты коммуникаций - содержание сообщений, уровень доверия между акторами, неформальные связи. В-третьих, оптимизация проводится для фиксированного множества вершин, без рассмотрения сценариев создания или

ликвидации организационных единиц.

Перспективы дальнейших исследований видятся в нескольких направлениях. Во-первых, необходимо разработать методы динамической оптимизации, учитывающие временную изменчивость потоков и позволяющие адаптировать структуру в режиме реального времени. Во-вторых, представляет интерес интеграция моделей сетевых потоков с агентным моделированием для учета поведенческих аспектов организационного взаимодействия. В-третьих, требуется расширение эмпирической базы исследования за счет включения организаций из различных отраслей и стран для проверки устойчивости выявленных закономерностей.

Особую важность приобретает развитие методов визуализации результатов оптимизации для облегчения их восприятия практиками организационного проектирования. Рисунок 3 демонстрирует пример интерактивной панели, отображающей ключевые метрики структуры и рекомендации по изменению конфигурации. Такие инструменты позволяют сократить разрыв между аналитической моделью и управленческим решением, обеспечивая прозрачность и обоснованность предлагаемых изменений.

В заключение следует отметить, что алгоритмическая оптимизация организационных структур на основе моделей сетевых потоков представляет перспективное направление исследований на стыке теории управления, исследования операций и вычислительного социального анализа. Сочетание строгих математических методов с эмпирической калибровкой по реальным данным открывает возможности для перехода от интуитивного организационного проектирования к научно обоснованному синтезу эффективных структур. Дальнейшее развитие этого направления требует междисциплинарного сотрудничества специалистов в области управления, математики и информационных технологий.

Выводы. Результаты вычислительных экспериментов подтверждают, что строгая графо-аналитическая формализация позволяет находить эффективные

конфигурации управленческих аппаратов и снижать временные издержки на передачу сигналов. Однако разработанная оптимизационная модель имеет существенное концептуальное ограничение, которое необходимо учитывать при ее практическом применении. Разработанный алгоритм оперирует преимущественно формализованными каналами передачи данных, оставляя за рамками математического описания стихийно возникающие неформальные взаимодействия. Как справедливо отмечают исследователи когнитивных социальных структур, именно скрытые сети советов и доверия зачастую определяют реальную скорость принятия решений и фактическое распределение влияния внутри коллектива. Игнорирование этих эмоционально обусловленных и неформализованных связей снижает адаптивность предлагаемых структурных изменений в условиях неопределенности.

Фактическое движение информации редко строго подчиняется утвержденным регламентам. Сотрудники часто выстраивают обходные маршруты, опираясь на личные симпатии или исторический опыт совместной работы, что создает скрытую нагрузку на отдельные узлы и искажает картину реальной загруженности каналов. Следовательно, веса ребер в текущей постановке задачи отражают лишь декларируемую интенсивность взаимодействий, а не их подлинную динамику. Преодолеть этот разрыв между теоретической схемой и повседневной практикой возможно только через отказ от субъективных экспертных оценок в пользу объективных цифровых следов.

Перспективным направлением развития предложенного методологического подхода выступает его интеграция с технологиями анализа больших массивов данных. Современные корпоративные мессенджеры и платформы совместной работы генерируют непрерывный поток цифровой активности, который может служить надежной эмпирической базой для калибровки весовых коэффициентов графа. Извлечение метаданных о частоте, длительности и направленности электронных диалогов позволит перевести параметры пропускной способности каналов из разряда нормативных

допущений в категорию точно измеряемых величин. Подобный переход к работе с неинтервенционными данными обеспечит адекватность математической модели реальному поведению акторов.

Дополнение графовой модели эмпирическими данными из корпоративных коммуникационных сред создаст основу для разработки динамических алгоритмов. Такие вычислительные процедуры смогут не только проектировать статичную иерархию, но и непрерывно отслеживать состояние сети и предлагать локальные изменения структуры в ответ на изменение характера неформального общения. В конечном счете, синтез строгих методов исследования операций с вычислительными подходами к анализу цифровых следов формирует новый стандарт научно обоснованного проектирования организационных систем, где управленческие решения базируются на фактическом, а не декларируемом поведении сотрудников.

Список литературы

1. Крутохвостов И. Г., Крутохвостов Д. Г., Кузьменко А. А. Оптимизация управленческих затрат организационной структуры сектора информационных технологий компании // Эргодизайн. 2026. № 1. С. 47–57. DOI: 10.30987/2658-4026-2026-1-47-57.
2. Nađina J., Jukić B., Oyedemi F. O. Optimizing Network Communication Structure for Knowledge Transmission in Organizations // Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce. 2025. Online First. P. 1–30. DOI: 10.1080/10919392.2025.2529064.
3. Львович Я. Е., Пупыкин А. Н. Интеллектуализация управления в организационных системах с цифровым концентратором результатов деятельности на основе оптимизационного моделирования // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2024. Т. 12. № 2. DOI: 10.26102/2310-6018/2024.45.2.018.
4. Fan H., Sun C., Long J., Wang S., Zeng F. A Novel Method for Solving the Multi-Commodity Flow Problem on Evolving Networks // Computer Networks. 2024.

Vol. 247. Art. 110451. DOI: 10.1016/j.comnet.2024.110451.

5. Wen T., Chen Y.-W., Syed T. A., Ghataoura D. Examining Communication Network Behaviors, Structure and Dynamics in an Organizational Hierarchy: A Social Network Analysis Approach // *Information Processing & Management*. 2025. Vol. 62. No. 1. Art. 103927. DOI: 10.1016/j.ipm.2024.103927.

6. Pupykin A. N. Структурное моделирование информационного взаимодействия производителей и потребителей в цифровизированной организационной системе // *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2025. Т. 13. № 4. DOI: 10.26102/2310-6018/2025.51.4.042.

7. Josephs N., Peng S., Crawford F. W. Communication Network Dynamics in a Large Organizational Hierarchy // *The Annals of Applied Statistics*. 2024. Vol. 18. No. 4. P. 3007–3023. DOI: 10.1214/24-AOAS1919.

8. Бегичева А. К., Ломазова И. А., Нестеров Р. А. Синтез иерархических моделей процессов: подход на основе разбиения событий на множества // *Моделирование и анализ информационных систем*. 2024. Т. 31. № 3. С. 294–315. DOI: 10.18255/1818-1015-2024-3-294-315.

9. Maurer M., Bach N., Oertel S. Changes in Formal Structure towards Self-Managing Organization and Their Effects on the Intra-Organizational Communication Network // *Journal of Organization Design*. 2023. Vol. 12. P. 83–98. DOI: 10.1007/s41469-023-00143-z.

10. Fukugami T., Matsuzawa T. Improvement of Network Flow Using Multi-Commodity Flow Problem // *Network*. 2023. Vol. 3. No. 2. P. 239–252. DOI: 10.3390/network3020012.

11. Бакулин А. Ю., Львович Я. Е. Анализ и оптимизация эффективности функционирования организационной системы с автоматизированными устройствами обслуживания на основе имитационного моделирования // *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2024. Т. 12. № 2. DOI: 10.26102/2310-6018/2024.45.2.030.

12. Farrugia N., Briffa J. A., Buttigieg V. Solving the Multicommodity Flow

Problem Using an Evolutionary Routing Algorithm in a Computer Network Environment // PLOS ONE. 2023. Vol. 18. No. 4. Art. e0278317. DOI: 10.1371/journal.pone.0278317.

13. Celik G., Shin D., Strausz R. Aggregate Information and Organizational Structures // The Journal of Industrial Economics. 2023. Vol. 71. No. 1. P. 256–290. DOI: 10.1111/joie.12314.

14. Liu X., Arzani B., Kakarla S. K. R., Zhao L., Liu V., Castro M., Kandula S., Marshall L. Rethinking Machine Learning Collective Communication as a Multi-Commodity Flow Problem // Proceedings of ACM SIGCOMM 2024. 2024. P. 16–37. DOI: 10.1145/3651890.3672249.

15. Vasyanin V. O., Trofymchuk O. M., Ushakova L. P. Research of the Optimization Problem of Structure Hierarchical Communication Network with Changing Its Parameters // Environmental Safety and Natural Resources. 2024. No. 1(49). P. 99–125. DOI: 10.32347/2411-4049.2024.1.99-125.

16. Van Rijthoven L. Multi Commodity Network Design Problem with Minimum Flow Constraints // Operations Research Perspectives. 2025. Vol. 15. Art. 100359. DOI: 10.1016/j.orp.2025.100359.

17. Chimani M., Ilsen M. Traffic-Oblivious Multi-Commodity Flow Network Design // 36th International Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC 2025). LIPIcs. 2025. Vol. 359. P. 19:1–19:17. DOI: 10.4230/LIPIcs.ISAAC.2025.19.

18. Beraud-Sudreau G., Létocart L., Magnouche Y., Martin S. On the Multi-Commodity Flow with Convex Objective Function: Column-Generation Approaches // Networks. 2026. Vol. 87. No. 3. P. 322–338. DOI: 10.1002/net.70025.

References

1. Krutoxvostov I. G., Krutoxvostov D. G., Kuz'menko A. A. Optimizaciya upravlencheskix zatrat organizacionnoj struktury` sektora informacionny`x texnologij kompanii // E`rgodizajn. 2026. № 1. S. 47–57. DOI: 10.30987/2658-4026-2026-1-47-57.

2. Hađina J., Jukić B., Oyedemi F. O. Optimizing Network Communication Structure

for Knowledge Transmission in Organizations // Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce. 2025. Online First. P. 1–30. DOI: 10.1080/10919392.2025.2529064.

3. L'vovich Ya. E., Pupy'kin A. N. Intellektualizaciya upravleniya v organizacionny'x sistemax s cifrovym koncentratorom rezul'tatov deyatel'nosti na osnove optimizacionnogo modelirovaniya // Modelirovanie, optimizaciya i informacionny'e tekhnologii. 2024. T. 12. № 2. DOI: 10.26102/2310-6018/2024.45.2.018.

4. Fan H., Sun C., Long J., Wang S., Zeng F. A Novel Method for Solving the Multi-Commodity Flow Problem on Evolving Networks // Computer Networks. 2024. Vol. 247. Art. 110451. DOI: 10.1016/j.comnet.2024.110451.

5. Wen T., Chen Y.-W., Syed T. A., Ghataoura D. Examining Communication Network Behaviors, Structure and Dynamics in an Organizational Hierarchy: A Social Network Analysis Approach // Information Processing & Management. 2025. Vol. 62. No. 1. Art. 103927. DOI: 10.1016/j.ipm.2024.103927.

6. Pupykin A. N. Структурное моделирование информационного взаимодействия производителей и потребителей в цифровизированной организационной системе // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2025. Т. 13. № 4. DOI: 10.26102/2310-6018/2025.51.4.042.

7. Josephs N., Peng S., Crawford F. W. Communication Network Dynamics in a Large Organizational Hierarchy // The Annals of Applied Statistics. 2024. Vol. 18. No. 4. P. 3007–3023. DOI: 10.1214/24-AOAS1919.

8. Begicheva A. K., Lomazova I. A., Nesterov R. A. Sintez ierarxicheskix modelej processov: podxod na osnove razbieniya soby'tij na mnozhestva // Modelirovanie i analiz informacionny'x sistem. 2024. T. 31. № 3. S. 294–315. DOI: 10.18255/1818-1015-2024-3-294-315.

9. Maurer M., Bach N., Oertel S. Changes in Formal Structure towards Self-Managing Organization and Their Effects on the Intra-Organizational Communication Network // Journal of Organization Design. 2023. Vol. 12. P. 83–98. DOI:

10.1007/s41469-023-00143-z.

10. Fukugami T., Matsuzawa T. Improvement of Network Flow Using Multi-Commodity Flow Problem // *Network*. 2023. Vol. 3. No. 2. P. 239–252. DOI: 10.3390/network3020012.

11. Bakulin A. Yu., L'vovich Ya. E. Analiz i optimizaciya e'ffektivnosti funkcionirovaniya organizacionnoj sistemy` s avtomatizirovanny`mi ustrojstvami obsluzhivaniya na osnove imitacionnogo modelirovaniya // *Modelirovanie, optimizaciya i informacionny`e texnologii*. 2024. T. 12. № 2. DOI: 10.26102/2310-6018/2024.45.2.030.

12. Farrugia N., Briffa J. A., Buttigieg V. Solving the Multicommodity Flow Problem Using an Evolutionary Routing Algorithm in a Computer Network Environment // *PLOS ONE*. 2023. Vol. 18. No. 4. Art. e0278317. DOI: 10.1371/journal.pone.0278317.

13. Celik G., Shin D., Strausz R. Aggregate Information and Organizational Structures // *The Journal of Industrial Economics*. 2023. Vol. 71. No. 1. P. 256–290. DOI: 10.1111/joie.12314.

14. Liu X., Arzani B., Kakarla S. K. R., Zhao L., Liu V., Castro M., Kandula S., Marshall L. Rethinking Machine Learning Collective Communication as a Multi-Commodity Flow Problem // *Proceedings of ACM SIGCOMM 2024*. 2024. P. 16–37. DOI: 10.1145/3651890.3672249.

15. Vasyanin V. O., Trofymchuk O. M., Ushakova L. P. Research of the Optimization Problem of Structure Hierarchical Communication Network with Changing Its Parameters // *Environmental Safety and Natural Resources*. 2024. No. 1(49). P. 99–125. DOI: 10.32347/2411-4049.2024.1.99-125.

16. Van Rijthoven L. Multi Commodity Network Design Problem with Minimum Flow Constraints // *Operations Research Perspectives*. 2025. Vol. 15. Art. 100359. DOI: 10.1016/j.orp.2025.100359.

17. Chimani M., Ilsen M. Traffic-Oblivious Multi-Commodity Flow Network Design // *36th International Symposium on Algorithms and Computation (ISAAC 2025)*.

LIPICs. 2025. Vol. 359. P. 19:1–19:17. DOI: 10.4230/LIPICs.ISAAC.2025.19.

18. Beraud-Sudreau G., Létocart L., Magnouche Y., Martin S. On the Multi-Commodity Flow with Convex Objective Function: Column-Generation Approaches // Networks. 2026. Vol. 87. No. 3. P. 322–338. DOI: 10.1002/net.70025.

Статья поступила в редакцию 03.08.2026; одобрена после рецензирования 10.09.2026; принята к публикации 17.09.2026.

The article was submitted 03.08.2026; approved after reviewing 10.09.2026; accepted for publication 17.09.2026.