
**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ
И СОВРЕМЕННЫЕ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ**

ОБОБЩЕННАЯ МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ КОНСТРУКЦИОННОГО ИСПОЛНЕНИЯ БПЛА FPV-ТИПА СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

А. В. Ананьев¹, Н. Ф. Кузьяров², Д. В. Евстафьев³

¹Воронежский филиал Российского экономического университета им. Г. В. Плеханова

²Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж

³АО «Кронштадт», г. Москва

Аннотация. В работе представлена методика рационального конструирования беспилотных летательных аппаратов FPV-типа, которая комплексно обобщает варианты анализа готовых решений и сборки аппаратуры с «нуля», а также их модернизацию для оптимального достижения, или как минимум максимизации (минимизации), необходимых целевых характеристик. В отличие от существующих методических подходов, предложенный метод принципиально учитывает специфику конструирования беспилотных летательных аппаратов FPV-типа.

Ключевые слова: БПЛА, конструирование, проектирование, сборка, оптимизация, модернизация, эволюция, прототип, морфологический анализ, латентные переменные.

Введение

На сегодняшний день, с одной стороны, рынок готовых решений (коммерческих сборок) БПЛА FPV-типа, предлагает множество вариантов с различными комплектациями, характеристиками и стоимостью. С другой стороны, на известных открытых площадках осуществляется продажа отдельных компонентов в розницу, что позволяет осуществлять сборку самостоятельно. Самостоятельная сборка позволяет избежать недостатки готовых комплектов за счет выбора отдельных устройств с максимально достижимыми характеристиками. Соответственно пользователь при поиске БПЛА FPV-типа для определенных задач сталкивается со сложностями выбора подходящего аппарата или же сборки своего. Разработанная авторами методика позволяет решить данную проблему.

В ходе работы был проведен анализ исследований, касающихся разработки БПЛА. Анализ источников [1–4] показывает, что разработка мультироторных БПЛА включает проектирование конструкции, полунатурное моделирование, формирование технического облика с учетом оборудования и выбор оптимального элемента питания. В других работах для решения компоновочных задач применяется морфологический анализ, который позволяет выбирать оптимальные решения через экспертные оценки при недостатке данных [5, 6], а также используется структурно-параметрический анализ для автоматизации проектирования [7, 8]. Исследования [9–18] охватывают широкий спектр подходов к проектированию БПЛА: от использования аддитивных технологий и анализа аэродинамики до оптимизации состава оборудования.

Проведенный анализ показал, что в существующих исследованиях, отсутствуют методики проектирования БПЛА FPV-типа. В отличие от рассмотренных подходов, методика, рассматриваемая в данной работе, комплексно учитывает не только разработку с «нуля», но и адаптацию готовых решений с их последующей модернизацией для достижения целевых характеристик аппарата.

Актуальность данного исследования обусловлена наличием системного противоречия: с одной стороны, наблюдается повсеместное усиление средств противодействия пилотируемой авиации, что закономерно снижает эффективность её применения, а с другой — сохраняет-

ся недостаточная реализация потенциала беспилотных систем для парирования этих угроз. Разрешение данного противоречия требует разработки специализированных БПЛА для дистанционного противодействия средствам угрозы авиации. Однако отсутствие адекватных моделей и методик для их тактико-техничко-экономического обоснования формирует ключевую научную проблему, решению которой и посвящена настоящая работа.

Целью данной работы является разработка комплексной методики проектирования и выбора БПЛА FPV-типа, направленной на достижение заданных тактико-технических характеристик путем системного анализа как процессов сборки из отдельных компонентов, так и оценки готовых коммерческих решений.

Общий алгоритм исследования

Представленная схема исследований позволяет системно подойти к конструированию БПЛА: сначала анализируется тактическая обстановка, определяющая требования к характеристикам БПЛА FPV-типа, затем разрабатывается методика их формирования, сочетающая многокритериальный минимакс и формирование базы данных. В итоге получается адаптивный алгоритм разработки БПЛА, максимально соответствующий реальным задачам (рис. 1).

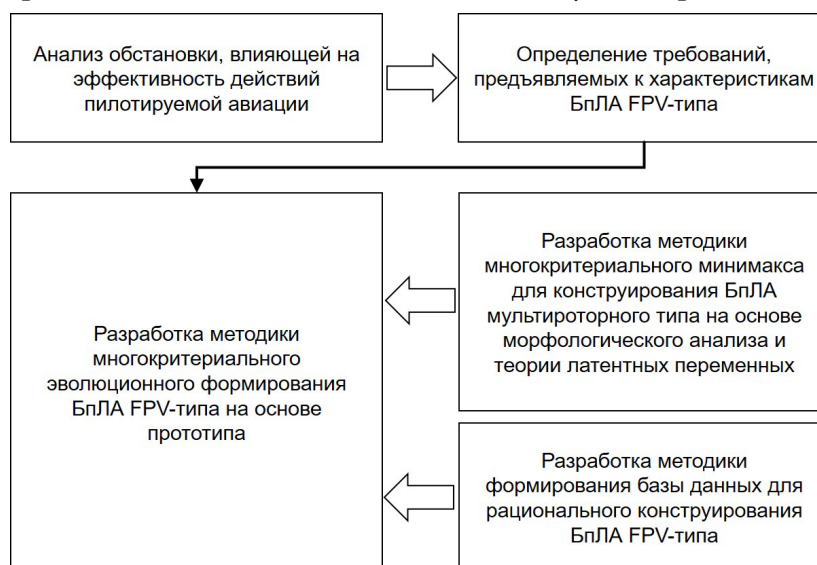


Рис. 1. Общий алгоритм исследования

Методика многокритериального эволюционного формирования конфигурации БПЛА FPV-типа на основе прототипа

Данная методика представлена в работе [19] и применяется для модернизации существующих моделей путем эволюции от некоторого прототипа с использованием методов многокритериальной оптимизации.

Данная методика описывает способ решения задачи проектирования БПЛА, когда необходимо одновременно учесть множество противоречивых требований. Ее суть заключается в преобразовании многокритериальной задачи в однокритериальную, выбором одного главного параметра для оптимизации (максимальная дальность полета), в то время как все остальные ключевые параметры (грузоподъемность, стоимость и др.) переводятся в разряд жестких ограничений с заданными допустимыми значениями. Это позволяет применять стандартные и эффективные математические методы поиска оптимального решения. Данная методика представлена в виде алгоритма на рис. 2, 3. Подробное описание переменных и функций, фигурирующих в формулах на рис. 2 и 3 приводится в работе [19].

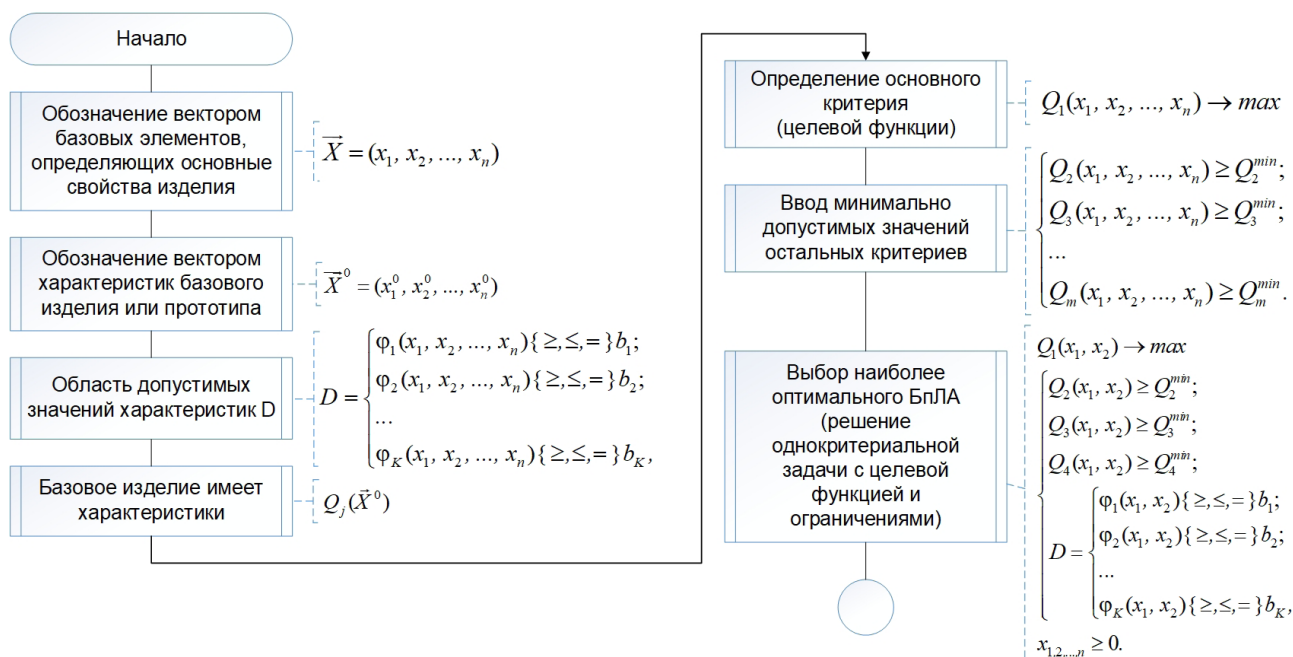


Рис. 2. Алгоритм методики многокритериального эволюционного формирования конфигурации БПЛА FPV-типа на основе прототипа

Для пояснения данного метода последовательных уступок на рис. 3 приведена графическая интерпретация решения для двух характеристик (X_1 и X_2), что позволило использовать графическое решение на плоскости. В качестве примера взято четыре критерия, первый будет оптимизироваться, а остальные представлены в виде линейных ограничений.

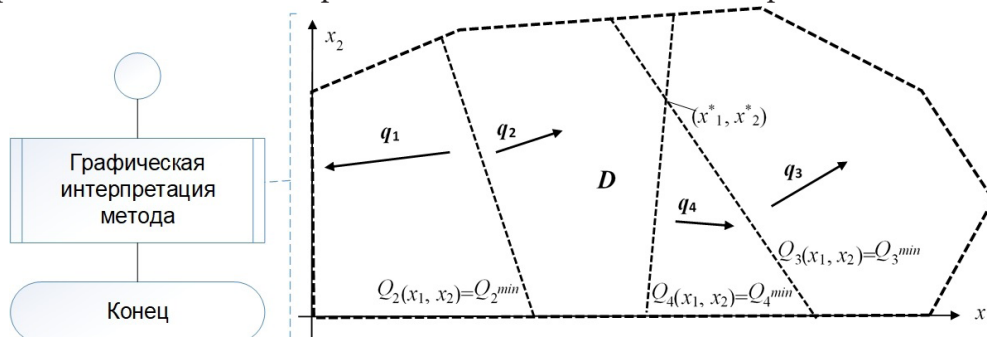


Рис. 3. Продолжение алгоритма методики многокритериального эволюционного формирования конфигурации БПЛА FPV-типа на основе прототипа

Ключевыми достоинствами этого подхода являются высокая устойчивость к внешним воздействиям и низкая сложность организации численных расчетов. Основным же недостатком является то, что модель не всегда находит абсолютно оптимальное решение, а лишь его приближение, поскольку оптимизация ведется только по одному критерию. Однако этот недостаток может быть устранен путем выделения нескольких критериев и проведения последовательной оптимизации по каждому из них, что позволяет приблизить итоговые характеристики к требуемым значениям.

Результатом применения первой методики является либо выбор готового коммерческого изделия, полностью соответствующего предъявляемым требованиям, либо идентификация оптимальной базовой платформы для её последующей модернизации, когда серийный образец обладает максимальным потенциалом для целенаправленной эволюции и достижения целевых характеристик путём замены ключевых компонентов.

Методика многокритериального минимакса для конструирования БпЛА мультиторного типа на основе морфологического анализа и теории латентных переменных

Данная методика представлена в работе [20]. На рис. 4 представлен алгоритм выбора рациональной конфигурации БпЛА. Этот алгоритм предназначен для системного подбора компонентов БпЛА, сочетающего многокритериальную оптимизацию и учёт латентных переменных. Его основная цель — найти баланс между базовыми и дополнительными элементами, максимизируя общую эффективность конструкции. Пояснения к обозначениям переменных, а также вывод и описание формул, изображенных на рис. 4, приведены в исходной работе [20].

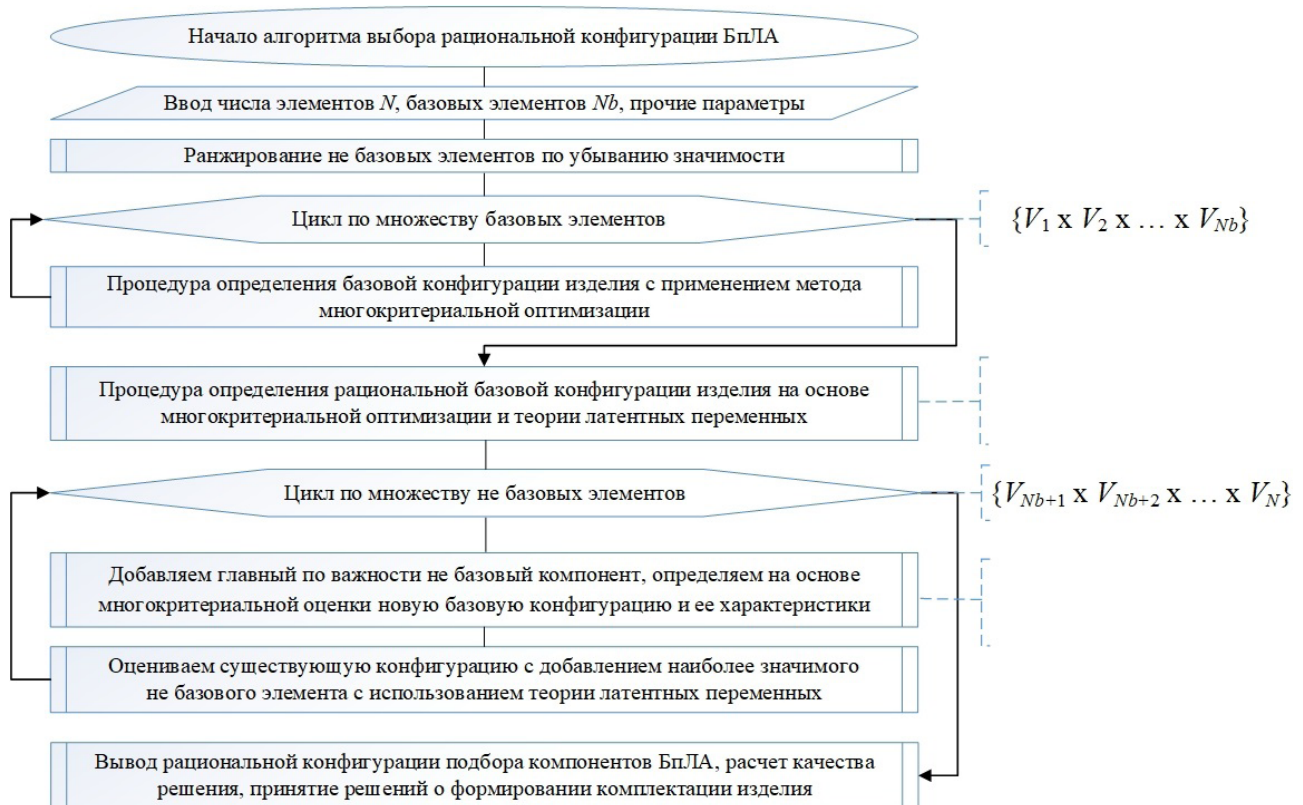


Рис. 4. Алгоритм выбора рациональной конфигурации БпЛА

Данная методика предлагает подход к проектированию БпЛА через процедуру «многокритериального минимакса». Сначала формируется базовая часть конструкции, обеспечивающая минимально необходимые показатели по одному параметру (например, масса полезной нагрузки) с использованием морфологического анализа и теории латентных переменных. Затем выполняется максимизация остальных параметров при сохранении достигнутых минимальных характеристик. Это позволяет получить оптимальный форм-фактор БпЛА при разумных ограничениях требований.

Морфологическая таблица (табл. 1) в рамках методики многокритериального минимакса служит системообразующим инструментом, обеспечивающим полную формализацию пространства проектных решений за счет структурированного представления множества альтернатив по всем ключевым компонентам БпЛА (рама, силовая установка, система управления и т. д.). Она позволяет синтезировать все возможные конфигурации аппарата, количественно описать каждую из них через набор параметров, являющихся входными данными для расчета латентных переменных — интегральных показателей (таких как надежность, летная эффективность), и на этой основе применить минимаксный критерий для выбора оптимальной и

устойчивой конфигурации, минимизирующей максимальные потери по всем ключевым критериям в условиях многокритериальности и неопределенности.

Таблица 1

Морфологическая таблица компонентов БПЛА FPV-типа

№	Компонент (Класс)	Альтернатива 1	Альтернатива 2	Альтернатива 3	Альтернатива 4
1	Рама	Apex 3	TBS Source One	Catalyst Machineworks	Tarot Iron Man
2	Двигатель	2207, 1750 кВ Xing2 2207	2306, 1950 кВ- Motor F40 PRO	2806,5, 1300 кВ SunnySky X2806	4110, 700 кВ T-Motor U11
3	Тяга	1300 г	1500 г	1800 г	3500 г
4	Пропеллер	Gemfan 3016	HQProp J37	Ethix S7	APC 15x4
5	Регулятор оборотов (ESC)	ESC 4 в 1, 35А Holybro Tekko32	ESC 4 в 1, 55А T-Motor Velox	Geprc Taker E55 96K BL32 4 в 1 55А	Mamba F45 128K BL32 4 в 1 45А 6S
6	АКБ	LiPo 4S, 850 мА (вес: 120г)	LiPo 6S, 1300 мА (вес: 220г)	LiPo 6S, 5000 мА (вес: 650г)	Li-Ion 4S2P, 3000 мА (вес: 280г)
7	Контроллер полета (FC)	FC F4, 20x20 мм Mateksys F405	FC F7, 30x30 мм Holybro Kakute F7	FC F722, 30x30 мм Diatone Mamba	Mateksys F405-WMN 30x30 мм
8	Видео-передатчик (VTX)	Аналоговая, TBS Unify Pro32	Цифровая, DJI DJI O3 Air Unit	Цифровая, HDZero HDZero VTX	Цифровая, Walksnail Avatar
9	Приемник (RX)	Crossfire TBS Crossfire Nano	ExpressLRS 2.4 ГГц HappyModel EP2	ExpressLRS 900 МГц Radiomaster RP1	BETA FPV ELRS Nano 2.4 ГГц
10	Антенна	Всенаправленная Monopole	Патч-антенна TBS Patch	Всенаправленная Lollipop 4 Plus	Патч-антенна iFlight Crystal

Результатом практической реализации данной методики является разработанный авторами БПЛА FPV-типа, который представлен на рис. 5.



Рис. 5. Разработанный авторами БПЛА FPV-типа

Методика рационального выбора винтомоторной группы для БпЛА FPV-типа на основе теории латентных переменных

При самостоятельной сборке БпЛА существует проблема объективного выбора компонентов из множества вариантов на рынке. Для решения этой задачи предлагается использовать метод латентных переменных как более точную альтернативу классическому методу анализа иерархий [21].

Данная методика характеризуется проведенным экспертным сравнением альтернатив по каждому критерию с использованием двух методов: традиционного метода анализа иерархий и альтернативного метода латентных переменных, который использует вероятностную шкалу сравнений, которая менее субъективна и дает линейные и более точные оценки. Результаты показали высокую согласованность (коэффициент корреляции 0,965), но метод латентных переменных позволил получить уточненные оценки.

База данных (БД) для рационального конструирования БпЛА FPV-типа

Эффективное создание БпЛА требует автоматизированной системы управления данными. БД позволяет оперативно собирать, хранить и обрабатывать информацию о компонентах и их характеристиках, может обеспечить качественное проектирование.

Графическое представление этапов разработки БД функциональных узлов БпЛА

FPV-типа иллюстрируется диаграммой классов (рис. 6), которая служит инструментом визуализации и структурирования процесса проектирования.

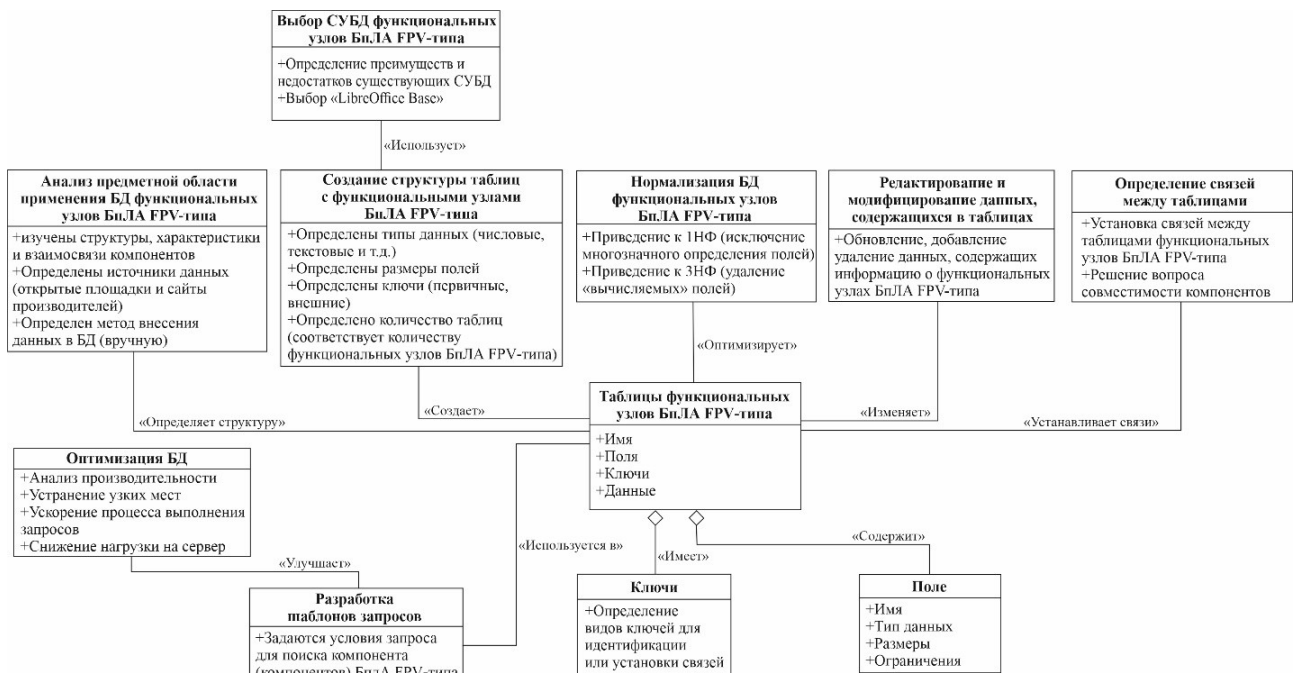


Рис. 6. Диаграмма этапов разработки БД функциональных узлов БпЛА FPV-типа

Организация данных о функциональных узлах БпЛА FPV-типа в виде таблиц БД позволяет систематизировать информацию о компонентах БпЛА, обновлять ее и дополнять. Это делает БД ключевым инструментом, который обеспечивает эффективное, быстрое и качественное проектирование и конструирование БпЛА.

БД решает ключевую проблему несовместимости компонентов. Её использование позволяет сократить время проектирования за счёт автоматизированного подбора совместимых узлов, а также минимизировать количество ошибок.

Комплексная методика

Для практической реализации всех предложенных методик разработана комплексная методика, которая представлена в виде алгоритма и обеспечивает их системное применение в процессе проектирования и сборки БпЛА FPV-типа для разведывательно-ударного комплекса поддержки действий экипажей вертолетов армейской авиации. Алгоритм представляет собой пошаговую систему разработки и подбора БпЛА на основе анализа условий, требований и доступных решений (рис. 7).

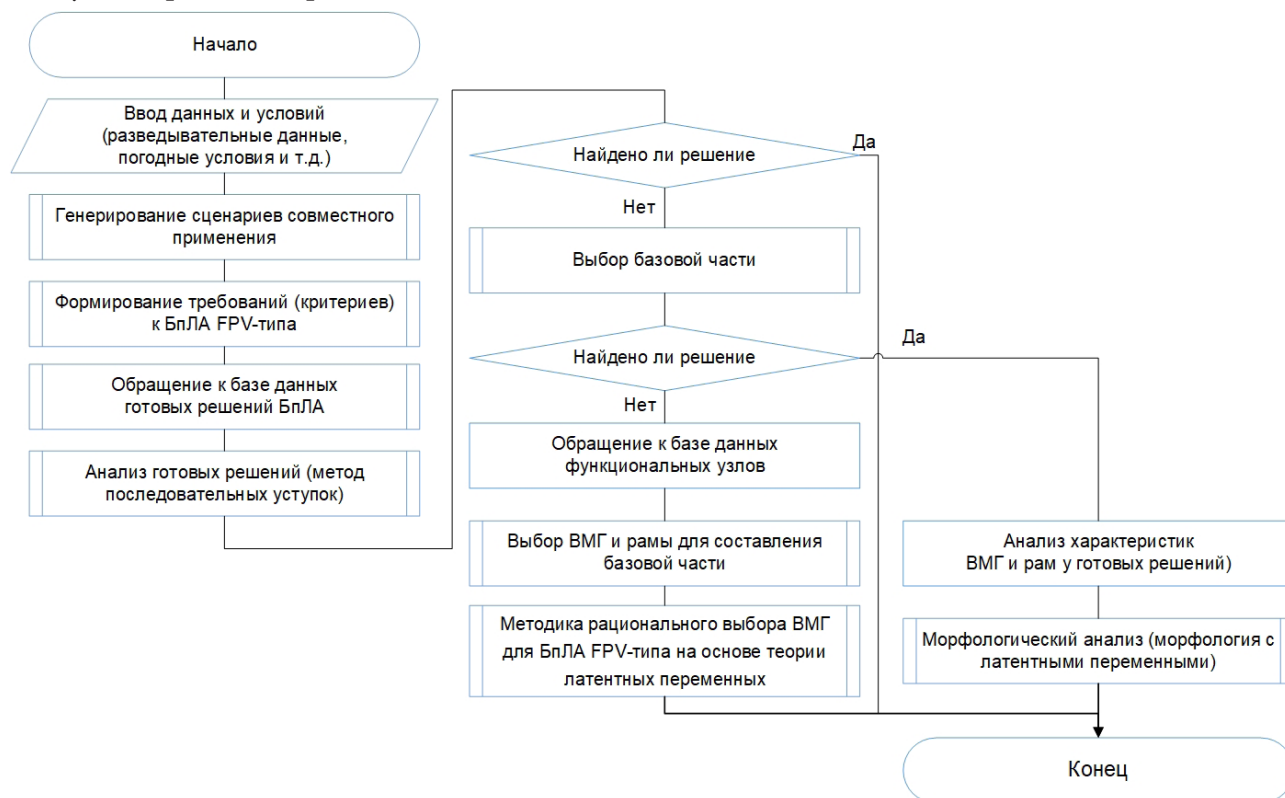


Рис. 7. Алгоритм конструирования БпЛА FPV-типа

Этапы:

1. Начало — процесс запускается с анализа исходных данных: разведывательной информации, погодных условий, тактических задач и других параметров;
2. Генерирование сценариев и форм совместного применения — на основе анализа исходных данных формируются возможные сценарии применения БпЛА;
3. Формирование требований – определяются критерии к БпЛА FPV-типа (дальность, скорость, грузоподъёмность, помехозащищённость и т. д.);
4. Поиск готовых решений — алгоритм обращается к БД уже существующих БпЛА и проверяет, есть ли среди них подходящие аппараты под заданные требования.
5. Используется метод последовательных уступок (постепенное ослабление критериев, если идеального решения нет);
6. Проверка результата. Если готовое решение найдено — переход к завершению. Если нет — переход к сборке БпЛА из компонентов;
7. Сборка БпЛА из компонентов включает в себя выбор базовой части (рама и винтомоторная группа) и добавление не базовых компонентов.
8. Обращение к БД функциональных узлов (двигатели, рамы, пропеллеры и т. д.).
9. Методика рационального выбора ВМГ на основе теории латентных переменных:

Латентные переменные — это скрытые или неявные параметры, которые не измеряются напрямую, но влияют на эффективность (виброустойчивость двигателя, жесткость рамы).

Анализ проводится через статистические модели (например, факторный анализ), выявляя зависимости между наблюдаемыми характеристиками (тяга, вес) и скрытыми свойствами.

Морфологический анализ — системный перебор комбинаций компонентов с учётом их совместимости и влияния латентных переменных.

10. Процесс завершается либо выбором готового БПЛА, либо формированием нового решения из совместимых компонентов.

Алгоритм позволяет адаптировать конструктивные решения под изменяющиеся условия боевого применения, оперативно корректировать параметры БПЛА и оптимизировать их характеристики в соответствии с текущими тактическими задачами.

Заключение

В представленной работе разработана и обоснована комплексная методика конструирования БПЛА FPV-типа, устраняющая пробел в существующих подходах. Основное преимущество предложенного метода заключается в его системности, он объединяет классическое проектирование «с нуля» с выбором и модернизацией готовых коммерческих решений.

Предложенный алгоритм, основанный на анализе задач, использовании БД функциональных узлов и применении методов многокритериальной оптимизации (таких как метод последовательных уступок и теория латентных переменных), позволяет перевести процесс конструирования на новый уровень. Это обеспечивает не только сокращение времени проектирования и минимизацию ошибок, но и гибкую адаптацию характеристик БПЛА к изменяющимся условиям применения.

Литература

1. Ефремов И. С., Страхова А. О., Рыжкова Е. А. К вопросу о разработке конструкции беспилотного летательного аппарата мультироторного типа // Сборник научных трудов кафедры автоматики и промышленной электроники Российского государственного университета им. А. Н. Косыгина. – Москва, 2024. – С. 179–186.

2. Гоголев А. А. Полунатурное моделирование беспилотных летательных аппаратов типа мультикоптер // Труды МАИ. – 2017. – № 92. URL: www.mai.ru/science/trudy/ (дата обращения: 02.10.2025).

3. Трохов Д. А., Туркин И. К. К вопросу проектирования беспилотного летательного аппарата для решения разведывательных задач на море // Труды МАИ. – 2014. – № 78. URL: www.mai.ru/science/trudy/ (дата обращения: 03.10.2025).

4. Гусейнова Р. О., Гумбатов Д. А. Оптимизация концептуальной разработки беспилотных летательных аппаратов // Труды МАИ. – 2024. – № 136. URL: www.mai.ru/science/trudy/ (дата обращения: 03.10.2025).

5. Зайцева Н. И., Погарская Т. А. Разработка программного комплекса для анализа и оптимизации сборочного процесса в авиастроении // Труды МАИ. – 2011. – № 47. URL: www.mai.ru/science/trudy/ (дата обращения: 01.10.2025).

6. Бодрышев А. В., Куприков М. Ю. Выбор компоновочного решения при отсутствии явного прототипа с применением коэффициента конкордации // Труды МАИ. – 2011. – № 47. URL: www.mai.ru/science/trudy/ (дата обращения: 01.10.2025).

7. Гусейнов А. Б. Методика структурно-параметрического синтеза конструктивно-компоновочного облика беспилотного летательного аппарата // Труды МАИ. – 2011. – № 49. URL: www.mai.ru/science/trudy/ (дата обращения: 01.10.2025).

8. Ильин В. Н., Лепехин А. В. Технология автоматизации структурно-параметрического синтеза на основе метода морфологического ящика // Труды МАИ. – 2011. – № 46. URL: www.mai.ru/science/trudy/ (дата обращения: 01.10.2025).
9. Годунов В. Ю. Аддитивные технологии в проектировании конструктивных элементов БПЛА // Научно-технологическое развитие 2025. сборник статей Международной научно-практической конференции. Петрозаводск. – 2025. – С. 73–76.
10. Ярцева А. А., Лубенцов А. В. Аэродинамические аспекты при проектировании БПЛА // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению. Материалы III Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. Комсомольск-на-Амуре. – 2025. – С. 390–394.
11. Фролов А. А., Никоненко А. В., Комиссаров А. И. Методика определения оптимального состава оборудования БПЛА, действующего в условиях сложной помеховой обстановки // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов., 2025. – Т. 16. – № 4. – С. 4–9.
12. Ежов М. Ю., Рахматуллин Э. Р. Проектирование демонстрационной модели БПЛА-долголета // Мавлютовские чтения. материалы XVI Всероссийской молодежной научной конференции: в 6 томах. Уфа. – 2022. – С. 61–63.
13. Титов Д. Е., Матыцина Н. П., Ендовицкая А. В. Проектирование инновационной конструкции беспилотного летательного аппарата вертикального взлета и посадки // Символ науки: международный научный журнал. – 2022. – № 5-2. – С. 13–17.
14. Ежов М. Ю., Гизатуллин Ф. Р. Проектирование модели БПЛА «Аэрогибрид» В сборнике: достижения и перспективы научных исследований молодежи // материалы XIX студенческой научно-практической конференции. Уфа. – 2021. – С. 112–114.
15. Гарин Е. О., Нуруллаев И. А. Разработка и постройка БПЛА мультироторного типа для рисования граффити // Инновации. Наука. Образование. – 2021. – № 26. – С. 1718–1723.
16. Шишканова Э. А. Разработка методики выбора рациональных параметров композитной конструкции БПЛА // В книге: Студенческая научная весна. Сборник тезисов докладов Всероссийской студенческой конференции, посвященной 110-летию со дня рождения академика В. Н. Челомея. Москва. – 2024. – С. 570–571.
17. Бобков Н. А. Разработка методики выбора типа привода для перспективного тяжелого БПЛА // Контенант, 2019. – Т. 18, № 2-1. – С. 11–24.
18. Шаранов А. А., Лепень А. Ю. Разработка многофункционального БПЛА // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2017. – Т. 10. – С. 69–73.
19. Ананьев А. В., Акимов А. В., Кузьяров Н. Ф., Моисеев С. И. Методика многокритериального эволюционного формирования конфигурации БпЛА FPV-типа на основе прототипа // Труды МАИ. – 2025. – № 142. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=185121> (дата обращения: 02.10.2025).
20. Ананьев А. В., Кузьяров Н. Ф., Моисеев С. И. Методика многокритериального минимакса для конструирования беспилотного летательного аппарата FPV-типа на основе морфологического анализа и теории латентных переменных // Труды МАИ. – 2025. – № 140. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=184069> (дата обращения: 03.10.2025).
21. Ананьев А. В., Кузьяров Н. Ф., Моисеев С. И., Пилкин С. П. Методика рационального выбора винтомоторной группы для БпЛА FPV-типа на основе теории латентных переменных // Труды МАИ. – 2025. – № 144. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=184069> (дата обращения: 03.10.2025).

ПРИМЕНЕНИЕ БАЙЕСОВСКИХ ИЕРАРХИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕДИКО-ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Н. Г. Аснина¹, А. К. Ушакова^{1,2}

¹Воронежский государственный технический университет

²МБОУ СОШ № 38

Аннотация. В условиях цифровой трансформации здравоохранения актуальной задачей становится прогнозирование медико-демографических показателей на основе интеграции разнородных данных. Такие данные существенно различаются по своей природе, качеству и достоверности. В статье рассматривается применение байесовских иерархических моделей для решения указанной задачи. Предложена трёхуровневая вероятностная модель, явным образом учитывающая априорные знания о надёжности различных источников информации. Разработанный подход расширяет возможности комплексного анализа разнородных данных и может быть интегрирован в системы поддержки принятия управленческих решений в здравоохранении. Целью статьи является исследование методологии байесовских иерархических моделей для интеграции разнородных данных с учётом их достоверности в задачах прогнозирования медико-демографических показателей.

Ключевые слова: Байесовские иерархические модели, прогнозирование, медико-демографические показатели, разнородные данные, достоверность данных, интеграция данных.

Введение

Современное здравоохранение требует прогнозирования показателей на основе данных разного типа и качества. Необходимо объединять информацию из медицинской статистики, экологических данных, социально-экономических показателей и поведенческих факторов. Разнородность данных по природе и достоверности создаёт методологические сложности. Традиционные методы не учитывают разную надёжность источников информации.

Методологическая сложность заключается в необходимости совместного анализа данных, существенно различающихся по своей природе и достоверности. Если официальные данные органов здравоохранения характеризуются высокой степенью верифицируемости, то социально-экономические и поведенческие индикаторы отличаются высокой зашумленностью, косвенным характером влияния и субъективностью оценок.

Целью статьи является исследование методологии байесовских иерархических моделей для интеграции разнородных данных с учётом их достоверности в задачах прогнозирования медико-демографических показателей.

1. Концепция байесовского подхода

Байесовский подход представляет собой фундаментальную парадигму в статистике, основанную на теореме Томаса Байеса. В отличие от частотного подхода, байесовские методы рассматривают параметры модели как случайные величины, что позволяет естественным образом учитывать априорные знания и неопределенность [1]. Основная формула байесовского вывода может быть представлена как:

$$P(\theta|y) = \frac{P(y|\theta) \cdot P(\theta)}{P(y)}. \quad (1)$$

В контексте прогнозирования медико-демографических показателей байесовский подход позволяет интегрировать экспертные знания (через априорные распределения) с объективными данными наблюдений (через функцию правдоподобия) [2].

Иерархические байесовские модели представляют собой многоуровневую вероятностную структуру, где параметры верхнего уровня управляют распределением параметров нижнего уровня. Такая организация особенно полезна при работе с разнородными данными, так как позволяет явным образом учитывать различные источники вариативности.

Как отмечают Schmid и Brown (2000), байесовские иерархические модели соответствуют различным типам данных и априорным представлениям об их надёжности [3]. На первом уровне определяются распределения для наблюдаемых данных, на втором — латентные переменные, отражающие совместную динамику факторов, на нижнем — параметры, оценивающие степень доверия к различным источникам информации. Интересным представляется направление современных исследований, где Wang и соавторы (2018) предложили методологию диагностики неисправностей на основе байесовских сетей [4], а Meng и соавторы (2019) применили метод под названием «семейная передаточная энтропия» к хранилищу аварийных сигналов и предложили метод обучения байесовских сетей на основе оценок [5].

Современные данные для прогнозирования здоровья населения отличаются сложной структурой, объединяя разнообразные по своей природе источники информации [6]. Как показывают исследования, данные одновременно характеризуют различные аспекты, влияющие на здоровье, включая клинические показатели, экологические параметры, социально-экономические детерминанты и поведенческие факторы [7].

В условиях глобальной цифровой трансформации здравоохранения, которая охватывает все уровни медицинской помощи, обеспечение точности и надёжности прогнозов медико-демографических показателей приобретает критически важное значение [8]. Традиционные статистические методы демонстрируют снижающуюся эффективность в условиях наблюдаемого роста не только объёма, но и сложности данных, которая выражается в многомерности и разнородности [9].

В основе методологии предложенной в статье лежит представление системы здравоохранения, как многомерного пространства с комплексной метрикой. Пространство организуется вдоль направлений, заданных структурой взаимовлияния факторов здоровья, что отражает реальные причинно-следственные связи между детерминантами здоровья и медико-демографических показателей.

Метрика пространства формируется через систему взаимосвязанных параметров, зависящих от интенсивности воздействия факторов риска, временных характеристик и пространственного распределения. Особенность подхода заключается в том, что учёт различной природы и достоверности данных осуществляется через специальные процедуры нормализации и взвешивания [10].

Для анализа медико-демографических показателей строится комплексная модель, где базовые координаты соответствуют временным параметрам, дополнительные измерения отражают пространственное распределение, а различные типы данных задают внутреннюю структуру пространства анализа, модель представлена на рис. 1.

2. Методология байесовских иерархических моделей

Для интеграции разнородных данных была разработана трёхуровневая байесовская иерархическая модель, состоящая из уровней наблюдений, латентных переменных и априорных распределений.

Первый уровень определяет вероятностные распределения для наблюдаемых медико-демографических показателей, где наблюдаемые данные моделируются через систематическую

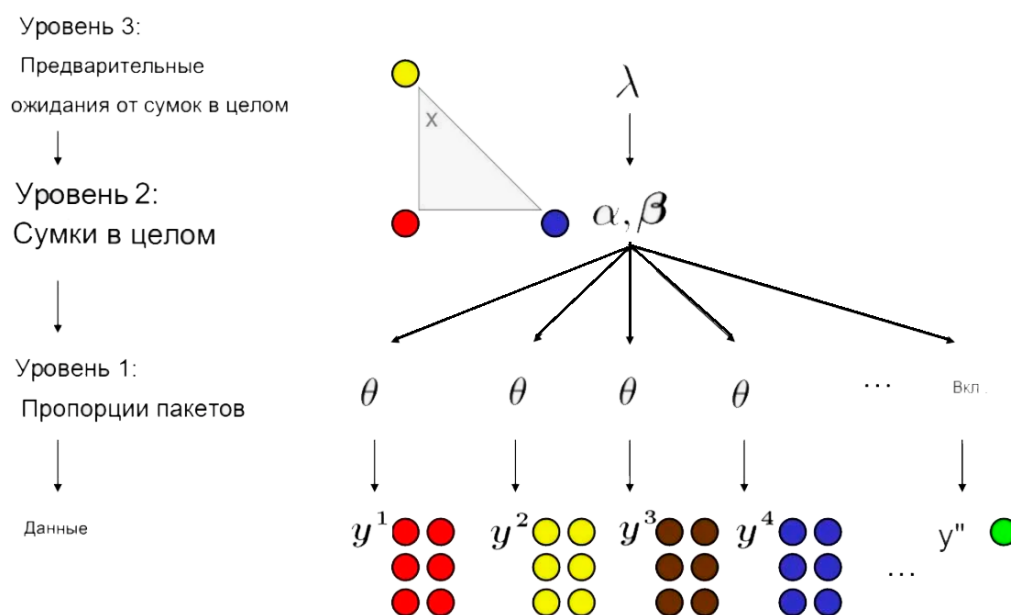


Рис. 1. Байесовская иерархическая модель

компоненту и случайную ошибку. Второй уровень описывает совместную динамику факторов через систему скрытых переменных, где латентные переменные отражают устойчивые паттерны взаимодействия между разнородными факторами риска. Третий уровень кодирует априорные знания о достоверности различных источников информации, где гиперпараметры определяют степень доверия к данным из различных источников через спецификацию параметров априорных распределений.

Для объединения информации из данных с априорными знаниями о параметрах применяется совместное апостериорное распределение:

$$P(\beta, \theta, \sigma^2 | y) \propto p(y | \beta, \theta, \sigma^2) \cdot p(\beta) \cdot p(\theta) \cdot p(\sigma^2). \quad (2)$$

Здесь априорные дисперсии, заданные на третьем уровне иерархии, количественно характеризуют степень доверия к данным из i -го источника информации. Меньшие значения соответствуют более высокой уверенности в качестве данных, что выражается в более узких апостериорных распределениях соответствующих параметров.

Для валидации предложенного подхода был проведён сравнительный анализ эффективности байесовских иерархических моделей и традиционных методов регрессионного анализа на реальных данных медико-демографической статистики Воронежской области. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительные показатели эффективности методов прогнозирования

Метрика	Байесовская иерархическая модель	Множественная регрессия	Улучшение, п.п.
Точность	89,5 %	72 %	+23,8
Полнота	88,7 %	65 %	+36,5
Ложные срабатывания	2,1 %	9,2 %	-65

Исследуемый набор данных включал статистические показатели со следующими характеристиками, представленными в табл. 2.

Полученные результаты демонстрируют, что предложенный подход существенно превосходит традиционные методы прогнозирования по ключевым метрикам точности. Интеграция

Структура входных данных

Обозначение	Параметр	Характеристики
N	Количество районов	34 муниципальных района
T	Период наблюдения	2015–2024 гг
D	Демографические показатели	Рождаемость, смертности, естественный прирост
S	Социально-экономические показатели	ВРП на душу населения, уровень безработицы, среднемесячная заработная плата
H	Данные здравоохранения	Заболеваемость ОРВИ, обеспеченность врачами, обеспеченность больниц современным оборудованием
I	Данные интернет-активности	Агрегированные и анонимизированные данные интернет-запросов

разнородных данных в единую вероятностную модель позволила не только повысить точность прогнозов, но и выявить скрытые причинно-следственные связи между социально-экономическими факторами и медико-демографическими показателями.

Однако метод имеет ряд ограничений:

- вычислительная сложность: время построения модели составляет от 6 до 8 часов;
- экспертная верификация: интерпретация апостериорных распределений требует привлечения специалистов в области эпидемиологии;
- качество исходных данных: отсутствие своевременной статистики снижает точность прогнозов.

Заключение

Проведённое исследование подтвердило эффективность применения байесовских иерархических моделей для интеграции разнородных данных и прогнозирования медико-демографических показателей. Разработанный подход продемонстрировал существенное превосходство над традиционными методами статистического анализа. Ключевым достижением работы является создание интегрированной прогностической модели, учитывающей пространственную неоднородность влияния социально-экономических, экологических и медицинских факторов на здоровье населения.

Особую ценность представляет способность модели к адаптивному обучению и учёту региональной специфики, что обеспечивает её релевантность в условиях меняющейся демографической и эпидемиологической ситуации.

Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением набора предикторов за счёт включения экологических показателей и данных о качестве жизни, оптимизацией вычислительной сложности алгоритма, а также разработкой автоматизированной системы поддержки принятия решения для органов управления системой здравоохранения.

Литература

1. Хамчичев Г. А. Алгоритмы обучения нейро-нечетких сетей и их адаптация для сети на основе байесовской логико-вероятностной модели / Г. А. Хамчичев // Вестник Воронежского

государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2025. – № 1. – С. 143–157. – DOI 10.17308/sait/1995-5499/2025/1/143-157. – EDN IHCNHS.

2. *Bartoš F. [et al.]* Robust Bayesian meta-analysis: Model-averaging across complementary publication bias adjustment methods // *Research Synthesis Methods*. – 2023. – V. 14, No 1. – P. 99–116.

3. *Schmid C. H., Brown E. N.* Bayesian hierarchical models // *Methods in enzymology*. – 2000. – V. 321. – P. 305–330.

4. *Wang Y. [et al.]* An improved Bayesian network method for fault diagnosis // *IFAC-PapersOn-Line*. – 2018. – V. 51, No 21. – P. 341–346.

5. *Meng Q. Q. [et al.]* A novel scoring function based on family transfer entropy for Bayesian networks learning and its application to industrial alarm systems // *Journal of Process Control*. – 2019. – V. 76. – P. 122–132.

6. *Фролова М. С.* Оценка степени открытости пользователя социальной сети с применением экспертной модели на основе байесовской сети доверия / М. С. Фролова, А. А. Корепанова, М. В. Абрамов // *Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям*. – 2021. – Т. 1. – С. 69–73. – EDN XILFCT.

7. *Филимонова Ю. С.* Моделирование прогнозных оценок взаимосвязи качества жизни людей и уровня здоровья населения, как основы демографических процессов / Ю. С. Филимонова, С. Г. Давыдова // *Наука молодых: вызовы и перспективы : Сборник материалов XI Всероссийской с международным участием научно-практической конференции, Великий Новгород, 17 апреля 2024 года*. – Великий Новгород: Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте РФ, 2024. – С. 208–213. – EDN YLCAYT.

8. Качественный и достоверный статистический учет в медицинской организации / З. С. Маркосян, В. В. Кожевников, Е. А. Черных, Н. А. Щетинина // *International Journal of Professional Science*. – 2022. – № 5. – С. 51–54. – DOI 10.54092/25421085_2022_5_51. – EDN HQWMFK.

9. *Картошкина К. Д.* Анализ текущего состояния и перспектив развития цифрового здравоохранения / К. Д. Картошкина, Ю. Г. Герцик // *Четырнадцатые чарновские чтения : Сборник трудов XIV Всероссийской научной конференции по организации производства, Москва, 06 декабря 2024 года*. – Москва: Некоммерческое партнерство «Объединение контроллеров», 2024. – С. 94–99. – EDN JTG YVC.

10. *Abdullayeva F. J.* Internet of Things-based healthcare system on patient demographic data in Health 4.0 // *CAAI Transactions on Intelligence Technology*. – 2022. – V. 7, No 4. – P. 644–657.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАРКОВСКИХ МАТРИЦ КАК ИНСТРУМЕНТ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А. Г. Баскаков, И. Н. Булгакова, Т. Л. Джонга

Воронежский государственный университет

Аннотация. В работе исследуется спектральное разложение марковских матриц, которое позволяет получить матрицы перехода n -й степени без использования операций умножения матриц или жордановой формы. Рассматривается практическое приложение к экономическим системам. Приводится условие, при котором последовательность степеней марковских матриц медленно меняется на бесконечности.

Ключевые слова: марковская матрица, спектр матрицы, проектор, медленно меняющиеся на бесконечности последовательности.

Введение

Марковские процессы пользуются огромной популярностью в различных приложениях, поскольку они являются, пожалуй, самым хорошо изученным математическим инструментом для аппроксимации и исследования сложных процессов с неясной структурой. Хотя и были предприняты успешные попытки расширить этот класс случайных процессов, включив в него стационарные, гауссовские процессы, мартингалы и другие, марковские процессы по-прежнему остаются основным и наиболее важным классом. Это связано с разносторонними теоретическими аспектами, позволяющими проводить глубокий анализ, а также с тем, что фундаментальное предположение марковских процессов (будущее зависит только от настоящего) является интуитивно понятным и часто хорошо выполняется в реальных задачах.

1. Некоторые обозначения

Будем обозначать символом $Matr(\mathbb{R}^n)$ алгебру матриц порядка n .

Определение 1. Матрица $M = (m_{ij})_{i,j=1}^n \in Matr(\mathbb{R}^n)$ называется марковской, если ее столбцы являются вероятностными векторами, т. е.

$$\begin{cases} 0 \leq m_{ij} \leq 1; & 1 \leq j \leq n \\ \sum_{i=1}^n m_{ij} = 1. \end{cases} \quad (1)$$

Отметим, что $\lambda_0 = 1$ всегда является собственным значением любой марковской матрицы.

Теорема 1. Спектр $\sigma(M)$ марковской матрицы M лежит на единичной окружности $T = \{\lambda \in \mathbb{C} : |\lambda| = 1\}$ и для того, чтобы все ее собственные значения были корнями n -й степени из единицы, необходимо и достаточно, чтобы

$$M^n = E,$$

где E — единичная матрица.

Теорема 1 является решением проблемы Р. Беллмана [4, с. 202] об общем виде спектра марковской матрицы M порядка n в виде $\sigma(M) = \sqrt[n]{1}$.

2. Спектральные свойства марковских матриц

В приложении теории марковских матриц очень важную роль играет изучение асимптотического поведения степеней $M^m, m \geq 1$ марковской матрицы M . Такое представление наиболее просто выписывается для случая, если все собственные значения из $\sigma(M)$ полупросты [1].

Теорема 2 ([1]). Собственные значения $\lambda_0 = 1, \dots, \lambda_n$ любой марковской матрицы M полупросты и имеет место спектральное разложение

$$M = \sum_{k=0}^n \lambda_k P_k, \quad (2)$$

где $P_k, 1 \leq k \leq n$ — идемпотентные матрицы (проекторы), т. е. $P_k^2 = P_k, 0 \leq k \leq n$, причем $\sum_{k=0}^n P_k = 0, P_i P_j = 0$ для $i \neq j$ легко доказывается, что при $m > 1$ имеет место

$$M^m = \sum_{k=0}^n \lambda_k^m P_k. \quad (3)$$

Проекторы $P_k, 1 \leq k \leq n$ допускают представление вида:

- $\sum_{k=0}^n P_k = E$ — единичная матрица;
- $P_k = \frac{1}{\prod_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^m (\lambda_k - \lambda_j)} (M - \lambda_1 E) \dots (M - \lambda_{k-1} E) (M - \lambda_{k+1} E) \dots (M - \lambda_m E)$ (используется интерпо-

ляционная формула Сильвестра [1]).

Определение 2. Будем говорить, что степени $M^m, m \geq 1$ матрицы M медленно меняются на бесконечности, если:

$$\lim_{m \rightarrow \infty} \|M^{m+1} - M^m\| = 0,$$

причем $\|M^m\| \leq 1, m \geq 1$.

Теорема 3. Степени $M^m, m \geq 1$ марковской матрицы равномерно ограничены и $M \geq 0$ медленно меняется на бесконечности, т. е. $\lim_{m \rightarrow \infty} \|M^{m+1} - M^m\| = 0$.

Пример 1. Рассмотрим пример из [4] для случая $n = 2$, т. е. если $M \in \text{Matr}(\mathbb{R}^n)$, то она имеет вид

$$M = \begin{pmatrix} a & b \\ 1-a & 1-b \end{pmatrix},$$

где $0 \leq a, b \leq 1$, то

$$\sigma(M) = \{1, a-b\}.$$

В этом случае $\lambda_0 = 1, \lambda_1 = a-b$.

$$M^m = \begin{pmatrix} a & b \\ 1-a & 1-b \end{pmatrix}^m = P_0 + (a-b)^m P_1, \quad (4)$$

где

$$P_0 = \frac{1}{\lambda_0 - \lambda_1} (M - \lambda_1 E) = \frac{1}{1-a+b} \begin{pmatrix} a & b \\ 1-a & 1-b \end{pmatrix},$$

$$P_1 = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_0} (M - \lambda_0 E) = \frac{1}{a-b-1} \begin{pmatrix} -(1-a) & b \\ 1-a & -b \end{pmatrix}.$$

Очевидно, что $P_i^k = P_i, i \leq k \leq 2$ и $P_0 P_1 = P_1 P_0 = 0$.

Отметим, что большинство приведенных результатов верны и для операторов в банаховом пространстве $l^\infty = l^\infty(\mathbb{N})$, а также пространствах с мерой. В этом случае используем результат из [3].

Теорема 4. Для марковской матрицы M следующие два условия эквивалентны:

1. существует $\lim_{m \rightarrow \infty} \left(\frac{1}{m+1} \sum_{k=0}^m M^k \right) x = \bar{x}$ для $x \in C$;
2. существует $\lim_{m \rightarrow \infty} M^m x = P_0 x = \bar{x}$, $M \bar{x} = \bar{x}$,

и данные пределы совпадают. Оператор P_0 является проектором на собственное подпространство $E(1, M) = \{x \in \mathbb{R}^n : Mx = x\}$ матрицы M .

Теорема 5. При выполнении любого из условий теоремы 4 проектор P_0 на подпространство $E(1, M)$ определен формулой

$$P_0 = \prod_{k=1}^n (M - \lambda_k E). \quad (5)$$

Теорема 6 ([4]). Если $M > 0$ ($m_{ij} > 0$ для всех $i, j \geq 1$), то существует предел

$$\lim_{m \rightarrow \infty} M^m x = y,$$

где y — собственный вектор матрицы M , соответствующий собственному значению 1, т. е. $My = y$.

Теорема 7. Если для марковской матрицы M выполнено условие

$$\sum_{m=1}^{\infty} \|M^{m+1} - M^m\| < \infty,$$

то существует $\lim_{m \rightarrow \infty} M^m = P_0$ — проектор на подпространство $E(1, M)$, причем $MP_0 = P_0M = P_0$, $P_0^2 = P_0$.

3. Использование спектральных свойств марковских матриц при исследовании экономических систем

В целом, задача описания поведения степеней M^m , $m \geq 1$ марковской матрицы чрезвычайно сложна и интересна и сопровождается многочисленными аналитическими, алгебраическими, топологическими и физическими «обертонами» [4].

Учитывая, что большинство экономических и социальных процессов развиваются под действием случайных факторов, аппарат марковских случайных процессов удобен для моделирования устойчивости экономической системы. Функционирование простейшей системы может быть представлена моделью, граф которой приведен на рис. 1, где S_1 — состояние нормального функционирования, S_2 — состояние диагностики и восстановления системы с явно выраженным нарушением, исключающем функционирование системы в допустимом режиме.

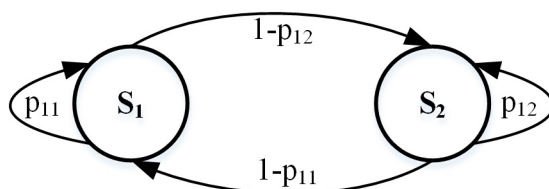


Рис. 1. Матрица переходных состояний

Для экономических систем восстановление чаще всего подразумевает обеспечение требуемых показателей финансовой устойчивости, ликвидности и платежеспособности. Исходя из этих предположений, матрица из примера 1 может, например, иметь вид $M = \begin{pmatrix} 0,8 & 0,3 \\ 0,2 & 0,7 \end{pmatrix}$, т. е. предположительно с большой долей вероятности система может пребывать как в состоянии нормального функционирования, так и в состоянии нарушения данного режима. Если при-

нять за m число периодов, за которое система перейдет в устойчивое состояние (m дискретных шагов времени), то в соответствии с (4):

при $m = 1$ состояние системы остается неизменным, $M = \begin{pmatrix} 0,8 & 0,3 \\ 0,2 & 0,7 \end{pmatrix}$;

при $m = 2$ система начинает претерпевать определенные изменения, относительно сложившихся состояний, $M^2 = \begin{pmatrix} 0,7 & 0,45 \\ 0,3 & 0,55 \end{pmatrix}$;

при $m \geq 24$ система переходит в устойчивое состояние. При этом $M^{24} = \begin{pmatrix} 0,6 & 0,6 \\ 0,4 & 0,4 \end{pmatrix}$. Оче-

видно, что вероятность пребывания системы в состоянии нарушений стабильного функционирования уменьшается и возрастает вероятность возвращений в нормальное состояние, но при этом получаем сигнал о том, что под воздействием ряда факторов рассматриваемая экономическая система не может обладать высокой степенью финансовой стабильности.

В случае $M = \begin{pmatrix} 0,2 & 0,7 \\ 0,8 & 0,3 \end{pmatrix}$ рассматриваемая система находится постоянно в процессе перехода от одного состояния в другое. Тогда в соответствии с (4):

при $m = 1$ состояние системы остается неизменным, $M = \begin{pmatrix} 0,2 & 0,7 \\ 0,8 & 0,3 \end{pmatrix}$;

при $m = 2$ система начинает претерпевать резкие структурные изменения, $M^2 = \begin{pmatrix} 0,6 & 0,35 \\ 0,4 & 0,65 \end{pmatrix}$;

при $m = 3$ $M^3 = \begin{pmatrix} 0,4 & 0,53 \\ 0,6 & 0,47 \end{pmatrix}$; при $m = 4$ $M^4 = \begin{pmatrix} 0,5 & 0,44 \\ 0,5 & 0,56 \end{pmatrix}$;

при $m \geq 11$ система переходит в устойчивое состояние, аналогичное первому случаю: $M^{11} = \begin{pmatrix} 0,47 & 0,47 \\ 0,53 & 0,53 \end{pmatrix}$. В данном случае налицо хроническое нарушение финансовой стабильности, платежеспособности и финансовой устойчивости и отсутствие полноценной возможности выйти из сложившейся ситуации.

Заключение

Таким образом, результатом работы является обоснование практического подхода к вычислению матриц перехода n -й степени для марковских матриц, основанный на их спектральном разложении. Преимущество данного метода заключается в отсутствии необходимости выполнения матричного умножения или построения жордановой формы. Исследование включает рассмотрение практических аспектов применения к экономическим процессам и определение условий, при которых последовательность степеней марковских матриц демонстрирует асимптотическую стабильность.

Литература

1. Баскаков А. Г. Лекции по алгебре / А. Г. Баскаков. – Воронеж : Воронежский государственный университет, 2017. – 155 с.
2. Турин В. Я. Основы линейной алгебры и некоторые ее приложения / В. Я. Турин, Э. Л. Блох, Л. И. Лошинский. – М. : Высшая школа, 1971. – 256 с.
3. Баскаков А. Г. Гармонический и спектральный анализ операторов с ограниченными степенями и ограниченных полугрупп операторов на банаховом пространстве / А. Г. Баскаков // Математические заметки. – 2015. – Т. 97, № 2. – С. 174–190. – DOI 10.4213/mzm10285.
4. Беллман Р. Введение в теорию матриц: монография: пер. с англ. / Р. Беллман; под ред. В. Б. Лидского. – Москва : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1969. – 368 с.

ОЦЕНКА РИСКА НЕДОСТИЖЕНИЯ НЕЧЕТКИМ ПОКАЗАТЕЛЕМ ТРЕБУЕМОГО ЗНАЧЕНИЯ

Ю. В. Бондаренко¹, О. В. Бондаренко², Е. В. Васильчикова²

¹Воронежский государственный университет

²Воронежский государственный технический университет

Аннотация. Статья посвящена разработке математического и программного инструментария оценки риска недостижения требуемых значений показателями, заданными экспертами в форме нечетких чисел. Для универсальности предлагаемого подхода выбрано представление чисел в виде α -срезов. В работе введены требуемые понятия, в том числе формально описана функция оценки риска недостижения нечеткими показателями требуемых значений, рассмотрены ее свойства и предложена формула расчета. Вычисления оценки риска предлагается осуществлять на основе итерационного алгоритма. Для практической реализации алгоритма разработан программный продукт.

Ключевые слова: неопределенность, нечеткое число, оценка риска, недостижение требуемого значения, алгоритм, α -срез, сравнение нечетких чисел.

Введение

В современных условиях принятие управленческих решений, как правило, осуществляется в условиях неопределенности и риска. Результатом неопределенности является невозможность получения на этапе планирования точной количественной оценки параметров, характеризующих состояние управляемой системы (объекта управления). Такими показателями могут служить, например, длительности работ уникального или ИТ-проекта, планируемые потребности в ресурсах и т. д. [1–3]. Одной из часто используемых форм представления данных в условиях неопределенности являются нечеткие множества и, соответственно, нечеткие числа [1–6]. Вместе с тем, достижение системой целевого состояния означает достижение каждым из выбранных показателей определенных субъектом управления плановых значений. При этом для принятия эффективных решений уже на этапе планирования должна быть осуществлена оценка риска недостижения таких значений целевых показателей. Таким образом, разработка математических подходов к количественной оценке риска недостижения нечеткими показателями состояния системы требуемых значений, является актуальной проблемой управления современными сложными системами.

Целью настоящего исследования является разработка математического, алгоритмического и программного инструментария оценки риска недостижения требуемых значений показателями, заданными нечеткими числами.

Достижение поставленной цели потребовало разработки математического подхода к определению функции оценки риска, исследования ее свойств и математического представления, описания алгоритма ее численных расчетов и создание программного продукта для практической реализации. Отметим, что предлагаемый подход основывается на основных положениях теории нечетких множеств, а для его универсальности выбран метод представления нечетких чисел совокупностью α -срезов [5].

Перейдем к описанию предлагаемого подхода.

1. Теоретические основы подхода

Рассмотрим объект (систему или процесс) и некоторый показатель d , представляющий собой его характеристику (локальную или интегральную). В качестве такого показателя в управлении проектами, например, может выступать длительность работы или длительность проекта.

Предположим, что значение показателя d является нечетким числом, например — трапецевидным LR-интервалом. Трапецевидное нечеткое число (LR-интервал) d задается следующим набором параметров $d = (r_1, R_1, R_2, r_2)$, а его функция принадлежности $\mu_d(x)$ имеет следующую аналитическую форму:

$$\mu_d(x) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \leq r_1 \text{ или } x \geq r_2, \\ \frac{R_1 - x}{R_1 - r_1}, & \text{если } r_1 \leq x \leq R_1, \\ 1, & \text{если } R_1 \leq x \leq R_2, \\ \frac{x - R_2}{r_2 - R_2}, & \text{если } R_2 \leq x \leq r_2. \end{cases}$$

В терминах возможностей параметры функции имеют следующую интерпретацию: $[r_1, r_2]$ — диапазон возможных значений числа, $[R_1, R_2]$ — диапазон наиболее вероятных значений.

Например, работа проекта возможно будет выполнена за r_1 дней, а возможно и дольше, не больше, чем за r_2 дней. При этом, скорее всего, она будет выполнена в течении $[R_1, R_2]$ дней. Или же, если нечеткое число задается термом «Объем заказов», что r_1 представляет гарантированный объем заказа, r_2 — потенциально возможный, диапазон $[R_1, R_2]$ содержит значения объемов заказа, которые скорее всего, удастся обеспечить.

Будем считать, что для приемлемого функционирования объекта необходимо, чтобы параметр удовлетворял некоторому требуемому диапазону значений \tilde{D} , задаваемому четким числом или интервалом. В управлении проектами таким значением может быть директивный срок реализации проекта.

Требования к показателю может быть представлены в виде одного из интервалов:

- 1) $\tilde{D} = [\underline{D}, +\infty)$;
- 2) $\tilde{D} = (-\infty, \bar{D}]$;
- 3) $\tilde{D} = [\underline{D}, \bar{D}]$.

В первом случае требование к показателю будем называть **нижним**, во втором — **верхним**, а в третьем — **двусторонним**.

В основу определения соответствия нечеткого показателя требованию к нему положим подход к сравнению пары нечетких чисел (нечетких множеств) [4, 6]. Среди подходов к сравнению выберем α -уровневое сравнение, основанное на сравнении α -срезов [4–6].

Обозначим α -срез показателя d через d^α , где $d^\alpha = \mu_d^\alpha = \{x \mid \mu_d(x) \geq \alpha\} = [x_L^\alpha, x_R^\alpha]$.

Считая диапазон требуемых значений задаваемым четким интервалом, введем в рассмотрение следующие определения.

Определение 1. Нечеткий показатель d полностью удовлетворяет верхнему требованию \tilde{D} , если для любого α -среза d^α , где $\alpha \in (0, 1]$, выполняется неравенство:

$$\sup d^\alpha \leq \bar{D}.$$

Аналогично определение формулируется и для нижнего требования.

Определение 2. Нечеткий показатель d полностью удовлетворяет нижнему требованию \tilde{D} , если для любого α -среза, где $\alpha \in (0, 1]$, выполняется неравенство:

$$\inf d^\alpha \geq \underline{D}.$$

Определение 3. Под оценкой риска недостижения нечетким показателем d верхнего требования \tilde{D} будем понимать функцию $\lambda^d(\tilde{D})$, обладающую следующими свойствами:

- 1) $0 \leq \lambda^d(\tilde{D}) \leq 1$;
- 2) $\lambda^d(\tilde{D})$ — монотонно убывающая функция;
- 3) риск минимален (т. е. $\lambda^d(\tilde{D}) = 0$) тогда и только тогда, когда d полностью удовлетворяет верхнему требованию \tilde{D} ;
- 4) риск недостижения верхнего требования принимает наибольшее значение (т. е. $\lambda^d(\tilde{D}) = 1$) тогда и только тогда, для любого α -среза, где $\alpha \in (0, 1]$, выполняется неравенство:

$$\inf d^\alpha > \bar{D}.$$

Аналогично вводится понятие оценки риска и для нижнего требования.

Определение 4. Под оценкой риска недостижения нечетким показателем d нижнего требования \tilde{D} будем понимать функцию $\lambda^d(\tilde{D})$, обладающую следующими свойствами:

- 1) $0 \leq \lambda^d(\tilde{D}) \leq 1$;
- 2) $\lambda^d(\tilde{D})$ — монотонно возрастающая функция;
- 3) риск минимален (т. е. $\lambda^d(\tilde{D}) = 0$) тогда и только тогда, когда d полностью удовлетворяет нижнему требованию \tilde{D} ;
- 4) риск недостижения нижнего требования принимает наибольшее значение (т. е. $\lambda^d(\tilde{D}) = 1$) тогда и только тогда, для любого α -среза, где $\alpha \in (0, 1]$, выполняется неравенство:

$$\sup d^\alpha < \underline{D}.$$

Для практического построения оценки риска достижения требования при нечеткой информации сформирован итерационный алгоритм, основанный на вычислении частных оценок риска недостижения показателем требования. Алгоритм основан на построении семейства α -срезов нечеткой величины d .

Рассмотрим некоторое H — число α -срезов. При каждом таком H получается семейство (профиль) α -срезов нечеткого показателя d следующего вида:

$$F_H = \left\{ d_k^{\alpha_h} = \left[(d_k^{\alpha_h})_L, (d_k^{\alpha_h})_R \right], \alpha_h = \frac{h}{H}, h = \overline{1, H} \right\},$$

где $(d^{\alpha_h})_L = \inf d^{\alpha_h}$, $(d^{\alpha_h})_R = \sup d^{\alpha_h}$.

Под частной оценкой (H -оценкой) риска недостижения нечетким показателем d верхнего (нижнего) требования \tilde{D} при H α -срезах, будем понимать количественный показатель $\lambda_H^d(\tilde{D})$, рассчитываемый по следующей формуле:

$$\lambda_H^d(\tilde{D}_k) = \frac{1}{\sum_{h=1}^H \alpha_h} \sum_{h=1}^H \alpha_h \lambda_h^d(\tilde{D}), \quad (1)$$

где $\lambda_h^d(\tilde{D}_k)$ — оценка риска недостижения требования для среза α_h .

Каждый показатель $\lambda_h^d(\tilde{D})$ предлагается рассчитывать по следующей формуле:

а) для расчета риска недостижения нечетким показателем верхнего требования:

$$\lambda_h^d(\tilde{D}) = \begin{cases} 1, & \text{при } (d^{\alpha_h})_L > \bar{D}, \\ 0, & \text{при } (d^{\alpha_h})_R \leq \bar{D}, \\ \frac{(d^{\alpha_h})_R - \bar{D}}{(d^{\alpha_h})_R - (d^{\alpha_h})_L}, & \text{при } (d^{\alpha_h})_L \leq \bar{D} < (d^{\alpha_h})_R. \end{cases} \quad (2)$$

б) для расчета риска недостижения нечетким показателем нижнего требования:

$$\lambda_h^d(\tilde{D}_k) = \begin{cases} 1, & \text{при } (d^{\alpha_h})_R < \underline{D}, \\ 0, & \text{при } (d^{\alpha_h})_L \geq \underline{D}, \\ \frac{\underline{D} - (d^{\alpha_h})_L}{(d^{\alpha_h})_R - (d^{\alpha_h})_L}, & \text{при } (d^{\alpha_h})_L \leq \underline{D} < (d^{\alpha_h})_R. \end{cases} \quad (3)$$

Построенная таким образом частная оценка риска (1) обладает всеми свойствами оценки риска недостижения требования. Оценка (1) обладает таким важным качеством, как учет субъективной «уверенности» эксперта о величине недостижении на определенном интервале в виде весового показателя α_h .

Для вычисления недостижения нечетким показателем нижнего или верхнего требования $\lambda^d(\tilde{D})$ предлагается алгоритм.

2. Алгоритм оценки риска недостижения нечетким показателем требуемого значения

На основе приведенного выше подхода сформирован алгоритм оценки риска недостижения нечетким показателем требуемого значения, состоящий из следующих шагов:

Шаг 1. Полагаем $H = H_0$ — начальное количество α -срезов, задаем $\varepsilon > 0$ — критерий останова.

Шаг 2. По формулам (1)–(3) рассчитывается частная оценка риска недостижения нечетким показателем требования $\lambda_H(\tilde{D}_k^\alpha)$ при H срезах.

Шаг 3. По формулам (1)–(3) рассчитывается частная оценка риска нечетким показателем $\lambda_H^d(\tilde{D}^\alpha)$ требования при $2H$ срезах.

Шаг 4. Если $|\lambda_H^d(\tilde{D}) - \lambda_{2H}^d(\tilde{D})| < \varepsilon$, то останов, полагаем $\lambda^d(\tilde{D}) = \lambda_{2H}^d(\tilde{D})$. Иначе — полагаем $H = 2H$, переход к Шагу 3.

Заметим, что требование к показателю может быть двусторонним, т. е. выражаться в виде интервала $\tilde{D} = [\underline{D}, \bar{D}]$. В этом случае оценку риска недостижения нечетким показателем требуемого интервала значений можно рассматривать как максимум из оценок:

$$\lambda^d(\tilde{D}) = \max \left\{ \lambda^d(\underline{D}), \lambda^d(\bar{D}) \right\},$$

где $\lambda^d(\underline{D})$, $\lambda^d(\bar{D})$ — оценки риска недостижения нижнего и верхнего требований.

Для практической реализации алгоритма разработан программный продукт «Оценка риска недостижения нечетким показателем требуемого значения». Реализация выполнена на языке C++ в среде Visual Studio 2024 с применением платформы .NET Framework версии 4.7.2 для создания графического пользовательского интерфейса.

Программный продукт является компонентой программного комплекса оценки риска недостижения временем выполнения проекта с нечеткой длительностью работ директивных сроков. На рис. 1 показано нечеткое число — длина критического пути и директивный срок.

Оценка риска недостижения временем выполнения проекта директивных сроков составила 0,11, что отражено в окне вывода результатов на рис. 2.

Заключение

В настоящей работе предлагается подход к оценке риска недостижения нечетким показателем требуемого значения. Для универсальности предлагаемого подхода используется представление нечеткого числа в виде совокупности α -срезов. В работе введены необходимые те-

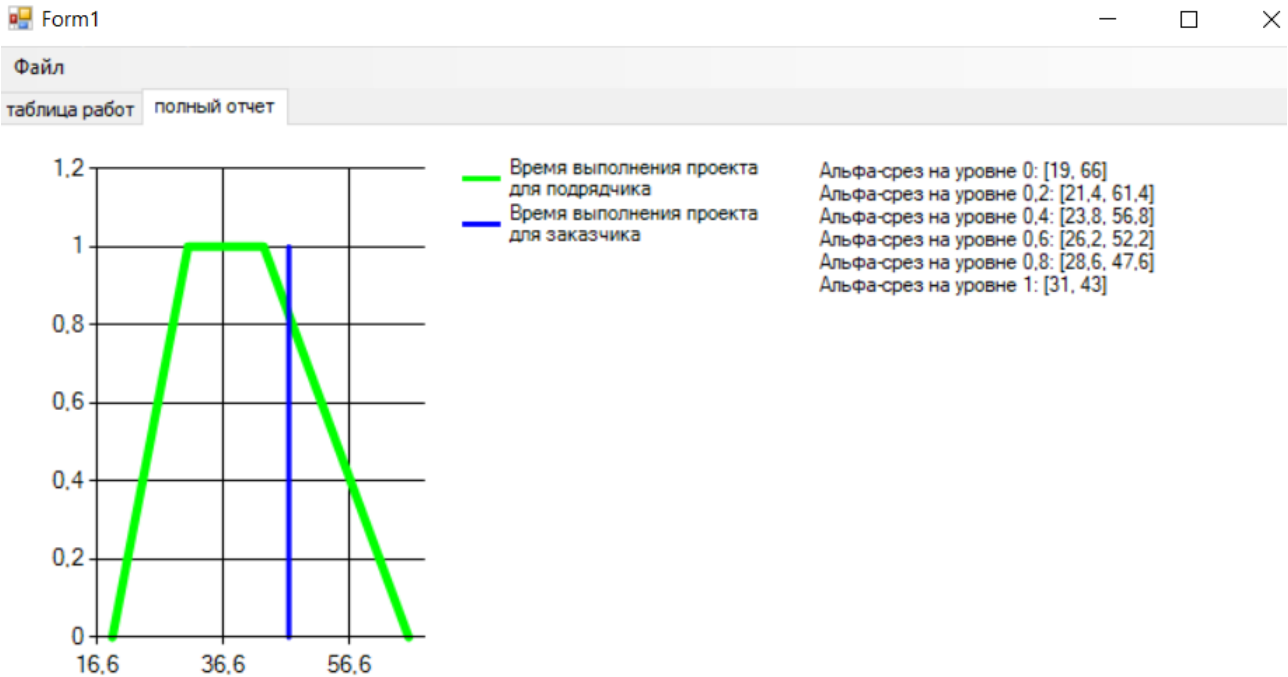


Рис. 1. Окно вывода нечеткой длительности проекта и директивного срока

Заполните таблицу работ нечеткими числами, в виде: [p1(i, j), m1(i, j), m2(i, j), p2(i, j)]

	Начало работы	Окончание работы	p1	m1	m2	p2
▶	1	2	1	2	3	4
	2	3	2	3	4	6
	3	4	1	3	4	5
	3	5	3	5	6	7
	4	5	3	5	7	8
	4	6	4	5	7	8
	4	7	2	3	4	5
	5	7	5	8	9	13
	6	7	3	4	5	7

Директивный срок работы T*
 Количество альфа-срезов
 Вычислить время выполнения проекта
 Время выполнения проекта в виде нечеткого числа: [19, 31, 43, 66]
 Критический путь: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9,
 Оценка риска: 11,2%
 Допустимый риск (%)
 Проект принимается

Рис. 2. Окно вывода результатов

оретические понятия, сформирован итерационный алгоритм расчета риска. Для практической реализации подхода разработан программный продукт.

В настоящем исследовании требуемые значения показателей являются четкими числами, поэтому направлением дальнейших исследований является расширение подхода для нечетких требований.

Литература

1. *Ketankumar R. R. Multi Objective Multi Mode Project Management Problem in Triangular Fuzzy Environment / R. R. Ketankumar, J. M. Dhodiya // International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE). – 2019. – V. 9, No 2. – P. 1772–1780.*
2. *Бондаренко Ю. В. Математические методы поддержки сетевого анализа проекта и оценки риска планирования при нечеткой информации о продолжительности работ / Ю.В. Бондаренко, Е.В. Васильчикова // Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2023. – № 2. – С. 100–111.*
3. *Азарнова Т. В. Сетевое планирование и ресурсная оптимизация проекта в условиях нечеткого группового экспертного оценивания длительности выполнения работ / Т. В. Азарнова, Н. Г. Аснина, Ю. В. Бондаренко, И. О. Сорокина // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2025. – Т. 13, № 1(48). – DOI: 10.26102/2310-6018/2025.48.1.041*
4. *Леденева Т. М. Основы нечеткого моделирования / Т. М. Леденева. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2022. – 129 с.*
5. *Воронцов Я. А. Методы параметризованного сравнения нечетких треугольных и трапецевидных чисел / Я. А. Воронцов, М. Г. Матвеев // Вестник ВГУ. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2014. – № 2. – С. 90–97.*
6. *Зак Ю. В. Принятие решений в условиях нечетких и размытых данных / Ю. В. Зак. – Москва : ЛЕНАНД, 2016. – 352 с.*

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ РЕГИОНОВ НА ОСНОВЕ ПОДХОДА DEA

Ю. В. Бондаренко, А. Е. Петрик

Воронежский государственный университет

Аннотация. В данной статье рассматривается подход к оценке результативности управления пассажирскими потоками в различных уголках Российской Федерации, основанный на применении метода DEA. Проводится тщательный анализ программных решений для создания информационной системы. Предложен проект архитектуры системы, в котором ключевую роль играют Python-библиотеки, включая Pandas, Folium, NetworkX и QGIS. Разработанные инструменты позволяют наглядно визуализировать статистическую информацию, осуществлять оценку эффективности транспортных потоков конкретного региона и определять направления улучшения транспортной инфраструктуры.

Ключевые слова: эффективность, DEA (анализ среды функционирования), транспортные системы, программное обеспечение, визуализация данных, геопространственный анализ, программный комплекс, пассажиропотоки.

Введение

В условиях динамичного транспортной системы и изменения потребностей населения актуальной задачей является оценка эффективности пассажиропотоков регионов России. В контексте регионального управления такая оценка позволяет выявить резервы повышения качества транспортного обслуживания и оптимизировать использование транспортных ресурсов, что имеет важное не только экономическое, но и социальное значение. Анализ транспортных потоков способствует обоснованному планированию транспортных маршрутов и инвестиций, снижению рисков капиталоемких проектов дорожной сферы и повышению конкурентоспособности транспортных услуг [1].

В Российской практике исследование эффективности, например, межобластных автобусных перевозок, выявило значительный экономический и социальный эффект при применении комплексных методик оценки, включающих бизнес-анализ, анализ данных и экономико-математическое моделирование пассажиропотоков. Вместе с тем, расширение известных методов анализа новыми подходами к оценке эффективности, позволяют повысить объективность оценки за счет многостороннего исследования.

В настоящей работе предлагается оценивать эффективность пассажиропотоков регионов РФ на основе подхода DEA, известного в российской литературе как анализ среды функционирования. Теоретические основы данного подхода подробно описаны, например, в работе [2]. Прикладное применение данного метода к решению актуальных социально-экономических проблем, представленный в работах [3–4], позволяет сделать вывод о возможности его использования для транспортной системы.

Метод DEA в своей основе опирается на комплекс оптимизационных задач, поэтому возможности его внедрения в практику регионального управления сопряжены с разработкой программного обеспечения, позволяющего в удобной для пользователя форме провести анализ и принять управленческое решение.

Целью настоящего исследования является формирование подхода к оценке эффективности организации пассажиропотока регионов РФ на основе методологии DEA и разработка архитектуры информационной системы для его практической реализации.

1. Анализ программного обеспечения в сфере управления транспортными потоками

В ходе создания комплекса для всестороннего анализа эффективности управления пассажирскими потоками по всей России проведен анализ современных программных продуктов. Это дало возможность получить всестороннее представление о существующих подходах к оценке эффективности пассажиропотоков. В рамках масштабного исследования была проведена детальная оценка четырех основных технологических областей, которые в совокупности формируют ключевые функции разрабатываемой системы. К ним относятся: обработка и структурирование больших объемов табличных данных; геоаналитика для анализа и визуализации информации на географических картах; интерактивное веб-представление данных для удобства и наглядности доступа к информации; и, наконец, анализ транспортных сетей, который играет важную роль в оценке и совершенствовании управления пассажирскими потоками.

В процессе подготовки данных к анализу, их объединения и начального статистического изучения был проведен анализ трех инструментов: Pandas, Microsoft Excel в сочетании с Power Query и Apache Spark. Оценка этих инструментов осуществлялась по таким параметрам, как эффективность работы с объемными данными, уровень автоматизации и возможности для интеграции, стоимость и доступность, а также сложность в изучении.

Pandas зарекомендовала себя как инструмент номер один для анализа пассажирских потоков на региональном уровне [5]. Эта библиотека настроена на эффективную работу с массивами данных, которые могут занимать несколько гигабайт оперативной памяти, и гарантирует бесперебойное включение в процессы извлечения, преобразования и загрузки данных через Python-скрипты. Pandas доступна под лицензией открытого исходного кода. В области транспортных исследований Pandas активно используется для анализа статистических данных о перевозках, уровня загруженности дорог и временных последовательностей, что позволяет вычислять среднее время в пути на общественном транспорте и определять пиковые часы по информации от Яндекс.Пробок.

Использование Microsoft Excel в сочетании с Power Query выявило свои ограничения в контексте автоматизации информационных систем. Программа теряет в скорости при работе с массивами данных, превышающими один миллион записей, предлагает лишь частичную автоматизацию через макросы VBA и подразумевает наличие платной лицензии. В то же время Apache Spark, благодаря своей способности к распределенным вычислениям, демонстрирует впечатляющую эффективность, но оказывается излишне мощным для анализа данных на уровне отдельного государства и предполагает наличие глубоких знаний в области распределенных систем.

Кроме того, проведен анализ трех геоинформационных платформ — QGIS, ArcGIS и Google Maps API — с целью выбора оптимального инструмента для привязки информации о движении пассажиров к географическим координатам и наглядного представления данных на картах. Основными параметрами для оценки стали функционал, цена, условия лицензирования, а также способность к интеграции с Python и уровень настройки интерфейса.

QGIS вновь заслужил репутацию идеального инструмента для внедрения функционала геопространственного анализа [6]. Эта система включает в себя все необходимые ГИС-функции для глубокого анализа пространственных данных, предлагается в свободном доступе с открытым кодом и отличается отличной совместимостью с Python благодаря своему API и плагинам. В сфере транспортных исследований QGIS находит применение для визуализации зон высокой загруженности с помощью тепловых карт, выявления областей с ограниченной доступностью и проведения пространственного анализа, что позволяет эффективно определять районы с повышенной транспортной активностью.

ArcGIS предоставляет комплекс инструментов для глубокого анализа, однако его коммерческая лицензия обходится в значительные суммы, что делает его неоптимальным выбором для академических и образовательных целей. В то же время, Google Maps Platform сосредото-

чен на функциях визуализации и навигации, предлагая ограниченные возможности для анализа данных и применяя систему оплаты за каждый запрос, что не подходит для систематического анализа крупных массивов данных.

В ходе исследования была осуществлена детальная оценка библиотеки Folium, которая используется для разработки интерактивных элементов управления и картографических решений, доступных через веб-браузер. Сравнительный анализ проводился с другими популярными инструментами, такими как Tableau и Plotly с Dash, и охватывал аспекты, включая разнообразие визуализационных возможностей, экономическую эффективность, уровень интеграции с Python и сложность процесса внедрения.

Folium зарекомендовал себя как идеальный выбор для создания модуля с функциями интерактивной визуализации данных [7]. Этот инструмент использует Leaflet.js для генерации интерактивных карт и отлично вписывается в экосистему Python, позволяя создавать HTML/JavaScript коды прямо из Python-скриптов. К тому же, Folium не предъявляет высоких требований к установке – для его работы достаточно иметь статический HTML-файл. В сфере аналитики дорожного движения Folium находит применение для наглядного отображения заторов, путей следования и зон доступности транспорта, давая возможность пользователям изменять масштаб и позицию карты для тщательного изучения текущей дорожной обстановки.

Tableau, представляющий собой платный инструмент с внушительной ценой за лицензию, нацелен на профессиональный анализ данных в сфере бизнеса, а не на встраивание в уникальные информационные системы. В то же время, Plotly в сочетании с Dash, несмотря на то, что предлагает глубокую интеграцию с Python благодаря собственной платформе, предполагает создание сложной инфраструктуры для развертывания, включающей веб-сервер и бэкенд, что может быть избыточным для целей визуализации картографических данных.

В ходе анализа транспортных маршрутов регионов, оценки их взаимосвязей и определения наиболее важных пересечений была проведена оценка эффективности использования библиотек NetworkX, Graph-tool и IBM ILOG CPLEX. Основными параметрами для сравнения стали возможности для анализа сетевых структур, скорость обработки данных, простота в освоении и финансовые затраты.

NetworkX заслуженно считается вершиной в сфере инструментов для работы с сетевыми структурами [8]. Этот инструментариум обогащён множеством алгоритмов для исследования графиков, предлагает удобный в освоении интерфейс на Python и сопровождается превосходной документацией. Эффективность NetworkX, написанной на чистом Python, полностью удовлетворяет потребности в анализе транспортных сетей на уровне регионов России. В области транспортных исследований данная библиотека открывает возможности для создания моделей дорожных сетей, поиска оптимальных маршрутов и изучения взаимосвязей между узлами, что способствует обнаружению слабых мест и разработке стратегий для их улучшения.

Graph-tool, несмотря на свою высокую производительность, достигнутую благодаря использованию C++, требует от пользователя не самых простых манипуляций для установки и предъявляет повышенные требования к уровню знаний. В то же время, IBM ILOG CPLEX, как мощный инструмент для решения оптимизационных задач, демонстрирует впечатляющую эффективность, однако его стоимость оказывается чрезмерно высокой, а сфера применения слишком узкой, что делает его избыточным для задач моделирования и анализа сетей в контексте метода DEA.

2. DEA подход анализа эффективности транспортных потоков

Для оценки эффективности управления потоками пассажиров в настоящем исследовании предлагается использовать подход DEA, а именно ССR-модели. В контексте этой методики принято различать два фундаментальных направления:

1. Инновационный подход, центрированный на сокращении входящих данных (ресурсов, используемых для контроля потока пассажиров), стремится к сохранению или повышению уровня исходящих показателей (эффективности транспортной системы), не забывая о первоначальных стандартах.

2. Концепция, нацеленная на оптимизацию результатов, стремится к увеличению эффективности транспортной системы, в то время как использование ресурсов должно поддерживаться на исходном уровне или сокращаться.

Для начала рассмотрим входо-ориентированную (CCR) модель, которая формируется для каждого оцениваемого субъекта (при этом сам оцениваемый субъект получает номер 0) [9, 10].

Найти наибольшее значение функции:

$$h = \frac{\sum_{i=1}^r \mu_i y_{i0}}{\sum_{k=1}^m \omega_k x_{k0}} \rightarrow \max_{\mu, \omega} \quad (1)$$

при ограничениях:

$$\frac{\sum_{i=1}^r \mu_i y_{ij}}{\sum_{k=1}^m \omega_k x_{kj}} \leq 1, \quad j = 1, \dots, n, \quad (2)$$

$$\mu_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, r, \quad (3)$$

$$\omega_k \geq 0, \quad k = 1, \dots, m. \quad (4)$$

В задаче (1)–(4) приняты следующие обозначения:

n — число оцениваемых регионов;

h — искомый показатель эффективности (функция цели модели);

r — количество выходных показателей пассажиропотоков (результатирующие показатели);

m — количество входных показателей пассажиропотоков (затрачиваемые ресурсы);

x_{ij} — значение входного параметра с номером i оцениваемого потока региона j ;

y_{ij} — значение выходного параметра с номером i оцениваемого потока региона j .

Вектор (x_0, y_0) соответствует оцениваемому региону.

Переменные μ_i и ω_k — оценки выходных и входных параметров.

Эффективность управления пассажирскими потоками определяется соотношением между суммарным значением достигнутых целей в рамках транспортной инфраструктуры и суммарным объёмом задействованных для их реализации ресурсов.

Применяя метод Чарнеса и Купера, который используется для решения задач дробно-линейного программирования, задачу (1)–(4), ориентированную на входные данные, можно свести к эквивалентной задаче линейного программирования:

$$h = \sum_{i=1}^r u_i y_{i0} \rightarrow \max_{u, v} \quad (5)$$

$$\sum_{k=1}^m v_k x_{k0} = 1, \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^r u_i y_{ij} \leq \sum_{k=1}^m v_k x_{kj}, \quad j = 1, \dots, n, \quad (7)$$

$$u_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, r, \quad (8)$$

$$v_k \geq 0, \quad k = 1, \dots, m. \quad (9)$$

Оптимальное значение функции цели h^* задачи (5)–(9) принимается за количественную оценку эффективности функционирования пассажиропотока исследуемого региона.

3. Предлагаемый подход к разработке информационной системе

Многофункциональная платформа для анализа и обработки данных, созданная с использованием Python и технологий геоинформационных систем, нацелена на анализ эффективности пассажиропотоков. Этот ресурс окажется незаменимым как для специалистов в сфере транспортировки, так и для сотрудников государственных учреждений.

Основные функции:

1. Сбор и обработка данных из различных источников.
2. Моделирование транспортных сетей.
3. Визуализация результатов.
4. DEA-анализ эффективности.
5. Прогнозирование пассажиропотоков.

Эффективная система, соответствующая установленным техническим стандартам, включает в себя поддержку различных форматов файлов, в том числе CSV, Excel и GeoJSON. Она обладает способностью качественно и быстро анализировать большие объемы данных и обеспечивает совместимость с популярными библиотеками, среди которых Pandas, NetworkX, Folium и QGIS. Система предлагает всесторонний подход к анализу данных, начиная с их сбора и заканчивая разработкой стратегий для их дальнейшей оптимизации.

Заключение

Проведенное исследование показало необходимость разработки информационно-аналитического сервиса, задачей которого станет оценка эффективности мониторинга за перемещением пассажиров по всей России. На основании подхода DEA разработаны модели оценки эффективности, составляющие математическое ядро системы. Ключевыми элементами разрабатываемой системы являются:

1. Pandas для обработки и анализа табличных данных.
2. QGIS для геопространственного анализа и визуализации.
3. Folium для создания интерактивных веб-карт.
4. NetworkX для моделирования и анализа транспортных сетей.

Разработанный программный продукт может быть использован региональными органами власти как инструмент поддержки принятия обоснованных решений по управлению транспортными потоками в направлении совершенствования процесса перевозки пассажиров и повышения качества транспортных услуг.

Литература

1. *Любовный В. Я.* Транспортные системы городов и регионов : учебник для вузов / В. Я. Любовный, М. Р. Якимов. – Москва : ИНФРА-М, 2022. – 411 с.
2. *Айвазян С. А.* Анализ данных об эффективности: обзор современных направлений развития метода DEA / С. А. Айвазян, З. И. Бахтигозин // Прикладная эконометрика. – 2015. – Т. 40. – С. 5–44.
3. *Баранов Э. Ф.* Модели и методы анализа эффективности сложных систем на основе Data Envelopment Analysis (DEA) : монография / Э. Ф. Баранов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : ЛЕНАНД, 2019. – 232 с.
4. *Бондаренко Ю. В.* Разработка алгоритма и программная реализация оценки эффективности функционирования регионов РФ на основе подхода DEA / Ю. В. Бондаренко, Е. Е. Галушка // Актуальные проблемы развития отраслевых рынков: национальный и региональный

уровень. Сборник статей IX Международной научно-практической конференции. – Воронеж, 2025. – С. 43–47.

5. Маккинни У. Python и анализ данных / У. Маккинни ; пер. с англ. – Санкт-Петербург : Питер, 2022. – 482 с.

6. ГИС QGIS: руководство пользователя / под ред. В. П. Кошкарева. – Москва : ГИС-Ассоциация, 2021. – 324 с.

7. Шафигов Р. Р. Интерактивная визуализация геоданных в веб-браузере с использованием Python и библиотеки Folium / Р. Р. Шафигов // Геоматика. – 2022. – № 3. – С. 45–52.

8. Hagberg A. A. Exploring network structure, dynamics, and function using NetworkX / A. A. Hagberg, D. A. Schult, P. J. Swart // Proceedings of the 7th Python in Science Conference (SciPy 2008). – 2008. – P. 11–15.

9. Charnes A. Measuring the efficiency of decision making units / A. Charnes, W. W. Cooper, E. Rhodes // European Journal of Operational Research. – 1978. – Vol. 2, Iss. 6. – P. 429–444.

10. Cooper W. W. Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software / W. W. Cooper, L. M. Seiford, K. Tone. – 2nd ed. – Springer, 2007. – 490 p.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ КАНДИДАТОВ НА ДОЛЖНОСТИ АНАЛИТИКА И МЕНЕДЖЕРА ИТ-ПРОЕКТОВ НА ОСНОВЕ СИНТЕЗА ТЕСТИРОВАНИЯ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Ю. В. Бондаренко, К. А. Портных

Воронежский государственный университет

Аннотация. Статья посвящена решению проблемы оценки кандидатов на актуальные должности в сфере информационных технологий — бизнес-аналитик, системный аналитик, менеджер ИТ-проектов. Сформирован гибридный алгоритм оценки и отбора кандидатов, основанный на сочетании интеллектуальных технологий скрининга и машинного обучения с традиционными методами тестирования. Предложенные в исследовании решения позволяют сократить время на подбор персонала и повысить его объективность. Практическая значимость работы заключается в возможности адаптации алгоритма для HR-процессов компаний IT-сектора.

Ключевые слова: подбор персонала, оценка кандидатов, тестирование, бизнес-аналитик, системный аналитик, менеджер проекта, скрининг, машинное обучение, интеллектуальные технологии.

Введение

В период цифровой трансформации экономики особенно стремительно развивается отрасль информационных технологий, что обуславливает высокий спрос на квалифицированных ИТ-специалистов. Согласно отчетам Gartner за 2024 год, дефицит талантов в IT-сфере составит 85 млн. человек к 2030 году, что делает процесс подбора персонала значимым для эффективности организаций. Традиционные методы оценки кандидатов, в число которых включены собеседование и анализ резюме, чаще всего подвергаются субъективности, предвзятости и неэффективности, что приводит к ошибкам в найме, обходящимся организациям в среднем в 30 % от годовой заработной платы специалиста.

Проведенный анализ вакансий ИТ-компаний на портале HH показал особую актуальность подбора персонала для позиций бизнес-аналитика, системного аналитика и менеджера ИТ-проектов. Бизнес-аналитик занимается переводом бизнес-требований в технические спецификации, системный аналитик отвечает за проектирование архитектуры систем, а менеджер ИТ-проектов занимается координацией команд и управлением рисками. Ошибки в подборе на эти должности могут привести к провалам проектов, финансовым потерям и сокращению конкурентоспособности.

Проблема совершенствования подходов к найму персонала вызвана высокой субъективностью традиционных интервью, отсутствием стандартизированных инструментов для определения важных компетенций (таких как аналитическое мышление, коммуникативные навыки и мотивация), а также выявлением основных рисков ошибок при подборе персонала, которые приводят к большим расходам на переобучение или увольнение. Согласно исследованиям рынка труда, до 50 % кандидатов не отвечают ожиданиям работодателей ввиду несоответствия сложным навыкам и способности к системному мышлению. Разработка алгоритма подбора персонала, включающего в том числе, психометрические тесты, позволит сократить данные риски, обеспечивая предсказуемость успеха кандидата и соответствие стандартам ВАВОК, и РМВОК.

Целью настоящего исследования является разработка комплексного алгоритма оценки кандидатов на указанные должности, который интегрирует традиционные и современные ме-

тоды, в том числе машинное обучение. Алгоритм способствует росту объективности, точности и скорости найма сотрудников.

Достижение поставленной цели требует решение ряда задач, среди которых: провести анализ компетенций по международным стандартам; разработать многоэтапный алгоритм оценки; осуществить тестирование алгоритма на реальных данных; оценить эффективность в сравнении с традиционными подходами.

Методологическая основа исследования содержит в себе комбинацию качественных (экспертные интервью, анализ литературы) и количественных (машинное обучение, статистический анализ) методов.

1. Обзор литературы и теоретические основы

В настоящее время оценка кандидатов на должности IT-отрасли формируется на основе компетентностных моделей, которые разработаны международными организациями. Для бизнес-аналитика основным является руководство по основам бизнес-анализа, который строится на следующих областях знаний: планирование, сбор требований, анализ заинтересованных сторон и т.д. Компетенции содержат в себе аналитическое мышление, коммуникацию и знание бизнес-процессов. Согласно данным ПВА, 70 % неудач IT-проектов соотносятся с некачественным анализом требований, что отражает важность более точного подбора.

Должность системного аналитика основывается на стандартах системного анализа, таких как ISO/IEC 15288 [1], формирующиеся на моделях данных (ER-диаграммы), архитектуре и интеграции систем. Согласно исследованиям McKinsey, системные аналитики, обладающие сильными навыками в гибких методологиях, увеличивают эффективность проектов на 40 %. Технологии, которые используются в отдельных отраслях (IT, НИОКР, телекоммуникации и т.д.), классифицируются как промышленные, однако, в значительной мере — и как доиндустриальные [2].

Для менеджера IT-проектов используется руководство по PMBOK, содержащее управление интеграцией, временем, стоимостью, рисками и заинтересованными сторонами. Ключевыми компетенциями являются: лидерство, управление командами и риск-менеджмент. Согласно статистике, 47 % проектов приводят к неудаче ввиду слабого проектного менеджмента, что способствует усилению необходимости алгоритмизированной оценки.

Традиционные подходы к подбору персонала на данные позиции основываются на методах скрининга резюме, структурированном интервью и тестах. Все же, по мнению Шмидта и Хантера в области мета-анализа, их предсказательная валидность равна лишь 0,51 для когнитивных тестов и 0,27 для биографических данных, что является недостаточным для высокотехнологичных ролей.

Современными методами найма персонала являются машинное обучение и искусственный интеллект. Алгоритмы на базе обработки естественного языка способствуют анализу резюме (например, системы ATS как выполняемая), а машинное обучение приводит к прогнозу успеха кандидата по историческим данным. В отечественной практике, относительно Ф3-152 «О персональных данных», подобные системы должны соблюдать конфиденциальность [3].

С 2021 года началось виртуализироваться цифровое пространство и переход наибольшего количества оффлайн-бизнесов в смешанный формат «Phygital», совмещающий в себе физический и виртуальный пользовательский опыт [4].

Методы проведения комплексной оценки кандидатов на представленные IT-должности группируются относительно следующих категорий, основанных на компетентностных моделях (например, ВАВОК для бизнес-аналитиков и PMBOK для менеджеров проектов) [5]:

- Матричный метод на основании матрицы должностных компетенций;
- Метод «360 градусов» с помощью анонимного опроса коллег согласно списку компетенций;

- Оценка по решающей ситуации сотрудников со стороны руководства;
- Тестирование для оценки компетенций и определения гибких навыков;
- Центр оценки с помощью определения навыков в бизнес-играх;
- Оценка полезности сотрудников для организации;
- Оценка по бизнес-показателям с помощью KPI.

Отобранные тесты необходимы для покрытия важных компетенций IT-специалистов. Ниже представлены тесты, отобранные по результатам анализа валидности, надежности и соответствия компетенциям. Они обеспечивают комплексную оценку кандидатов и могут использоваться для разных IT-ролей в зависимости от нужных компетенций:

- Тест интеллектуального потенциала П. Ржичана позволяет оценить общий интеллектуальный потенциал, в т.ч. вербальную и невербальную логику. Он включает 100 заданий, время проведения около 30 мин.;
- Опросник коммуникативных и организаторских склонностей разрешает определить склонность к коммуникации, организации и лидерству. Включает 40 вопросов;
- Прогрессивные матрицы Равена включают в себя тест на невербальный интеллект и абстрактное мышление. Содержит 60 матриц.;
- 16-факторный личностный опросник Кэттелла способствует оценке 16 черт личности (например, экстраверсия, эмоциональная стабильность). Включает 185 вопросов, время проведения 45 мин. С его помощью возможно определить поведение в команде и под стрессом;
- Тест «Системное мышление» является специализированным тестом на умение определить взаимосвязь в системах;
- Методика Холмса — Раге позволяет оценить стрессоустойчивость с помощью шкалы жизненных событий. Содержит в себе 43 пункта, определяющих самооценку;
- Опросник Айзенка разрешает измерить экстраверсию, нейротизм и психотизм. Содержит 57 вопросов. Применяется для определения темперамента.
- Методика DISC позволяет оценить поведенческие стили (доминирование, влияние, стабильность, соответствие). Содержит 24 вопроса;
- Мотивационный профиль Ричи — Мартина позволяет анализировать мотивацию (власть, достижения, аффилиация). Содержит 30 вопросов. Способствует определению внутренних мотивов.

2. Разработка алгоритма

Алгоритм оценки кандидатов предполагает многоэтапный процесс, который интегрирует выявленные методы для определения комплексного профиля. Он организован на проведении классификации, построении регрессии и кластеризации [6].

Предлагаемый алгоритм включает:

- сбор данных;
- моделирование — применение Python (библиотеки) для прототипа;
- валидация — тестирование на 150 кандидатах (50 на роль).

Данные собирались с помощью резюме, тестов (технических, поведенческих), результатов интервью.

Для каждой роли сформирована матрица компетенций (табл. 1).

Обработка данных резюме представляется с помощью шагов следующего алгоритма:

1. Предварительный скрининг на основе автоматического анализа резюме и формирование оценки:

$$S_{screen} = \sum_{i=1}^n f_i \cdot \omega_i,$$

Таблица 1

Ключевые компетенции по ролям

Компетенция	Бизнес-аналитик	Системный аналитик	Менеджер IT-проектов	Вес компетенции, %
Сложные навыки	BPMN, UML, SQL	ER, DFD, API	Gantt, Jira, матрица рисков	40
Гибкие навыки	Коммуникация, Анализ	Логика, Детализация	Лидерство, Мотивация	30
Опыт (лет)	2–5	3–7	5+	20
Сертификаты	CBAP	TOGAF	PMP, Scrum мастер	10

где S_{screen} — итоговый балл предварительного скрининга; f_i — частота появления ключевого слова i в резюме; ω_i — вес ключевого слова i ; n — общее количество ключевых слов.

Критерий отбора на следующий этап:

– если $\frac{S_{screen}}{S_{max}} > 0,6$, то кандидат проходит на следующий этап;

– если $\frac{S_{screen}}{S_{max}} \leq 0,6$, то анкета отклоняется.

При этом S_{max} — максимально возможный балл.

Баллам, полученным на основе процедуры скрининга, приписываем вес $\alpha_1 = 0,3$.

2. Глубокая оценка с помощью тестов и интервью (вес $\alpha_2 = 0,5$).

На данном этапе используются следующие типы тестов:

1) Технические тесты для бизнес-аналитика включают кейс по моделированию процесса; для системного аналитика — задачу на ER-диаграмму, для менеджера — симуляцию риска.

2) Психологические тесты.

При реализации данного этапа возникает достаточно сложная задача — формирование минимального пакета тестов, обеспечивающих оценку всех требуемых для должности компетенций. Данную задачу предлагается решать на основе математической модели, приведенной в работах [7–8].

3) Анализ сложных навыков, включающий 360-градусное интервью (распознавание эмоций, тон голоса). Модель машинного обучения классифицирует «лидерство» по ключевым фразам.

Результирующую оценку данного шага рассчитываем по формуле:

$$S_{soft} = 0,4 \cdot C + 0,3 \cdot F + 0,3 \cdot E,$$

где C — оценка сложных навыков; F — оценка гибких навыков; E — опыт (нормализованный показатель от 0 до 1).

3. Финальная верификация (вес $\alpha_3 = 0,3$) содержит в себе симуляцию реальной задачи для бизнес-аналитика — сбор требований от «клиента» (ролевая игра); для системного — проектирование подсистемы; для менеджера — планирование проекта в MS Project.

Оценка финальной верификации:

$$S_{final} = \alpha \cdot H + (1 - \alpha) \cdot M,$$

где H — экспертная оценка; M — прогноз модели машинного обучения; α — вес экспертной оценки.

4. Формирование итогового балла.

Итоговая оценка кандидата на вакансию рассчитывается по формуле:

$$S_{total} = \alpha_1 \cdot S_{soft} + \alpha_2 \cdot S_{final} + \alpha_3 \cdot S_{screen},$$

На основании значения итоговой оценки принимается одно из следующих решений:

- принятие сотрудника на постоянную работу;
- найм на испытательный период;
- отклонение.

Тестирование алгоритма осуществлялось на примере 500 резюме по каждой должности. Эмпирическое тестирование позволило доказать превосходство предложенного алгоритма над традиционными методами отбора [5]. Точность отбора составляет 85 % для алгоритма (верные наймы на основе удержания и КРП) по сравнению с 60 % для традиционного подхода, что отвечает повышению на 25 %. Время на полный цикл отбора снизилось с 4 недель до 2 недель (уменьшение на 50 %), что позволяет организациям быстрым образом закрывать вакансии. Относительно ролей эффективность изменялась следующим образом: для бизнес-аналитика увеличение составило 28 % (за счет точной оценки сложных навыков), для системного аналитика рост составил 22 % (технические тесты), для менеджера IT-проектов — 26 % (симуляция рисков).

Таблица 2

Сравнение эффективности

Метрика	Традиционный	Алгоритм	Δ (%)
Точность найма	60 %	85 %	+25
Удержание (6 мес.)	70 %	88 %	+18
Затраты HR (руб./кандидат)	5000	3000	-40

Корреляция данных модели машинного обучения с реальной эффективностью кандидатов спустя 6 месяцев была равна $r = 0.76$, что предполагает большую предсказательную силу алгоритма. Данные итоги показывают большой потенциал для совершенствования HR-процессов в IT-секторе.

Заключение

Сформированный алгоритм оценки кандидатов на должности бизнес-аналитика, системного аналитика и менеджера IT-проектов представляет собой современный инструмент, который сочетает компетентностные модели (ВАВОК, РМВОК) с машинным обучением. Он позволяет повысить объективность отбора на 25 %, сократить затраты и время, содействуя улучшению HR-процессов в IT-организациях.

Результаты тестирования алгоритма служат подтверждением гипотезы о превосходстве гибридных методов над традиционными, открывая путь к управлению персоналом, основанному на данных в цифровой экономике.

Литература

1. ISO/IEC 15288:2002 международный стандарт, идентичный национальному стандарту Российской Федерации ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288–2005 («Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем»)
2. Бодрунов С. Д. Новое индустриальное будущее для глобального мира / С. Д. Бодрунов // Экономическое возрождение России. – 2022. – № 2 (72). – С. 5–23.
3. Федеральный закон «О персональных данных» от 27.07.2006 N 152-ФЗ (ред. от 08.08.2024) [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61801/
4. Дементьев К. И. Анализ мирового опыта применения искусственного интеллекта для оптимизации бизнес-процессов предприятий / К. И. Дементьев // Управленческое консультирование. – 2023. – № 1(169). – С. 107–120.

5. Оценка и развитие персонала в IT-компаниях [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.audit-it.ru/news/others/1066632.html?ysclid=mi71e89svp11901010>

6. *Евсеев Г. М.* Машинное обучение для оценки кандидатов: сравнительный анализ методов / Г. М. Евсеев // Молодой ученый. – 2025. – № 12 (563). – С. 1–4.

7. *Бондаренко Ю. В.* Экспертно-тестовый механизм комплексной оценки кандидатов при подборе персонала / Ю. В. Бондаренко, И. В. Горошко, Е. В. Васильчикова // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2020. – Т. 20, № 1. – С. 100–110.

8. *Япринцев М. А.* Разработка программной реализации метода TOPSIS для формирования оценки персонала компании на основе обработки результатов тестирования / М. А. Япринцев, Ю. В. Бондаренко // Математика, информационные технологии, приложения: Сб. тр. Междунар. науч. конференции. – Воронеж, 2024. – С. 1063–1068.

К ВОПРОСУ О РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ НАЗНАЧЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ ПРОЕКТА

Ю. В. Бугаев¹, А. В. Калач^{2,3}, Б. Е. Никитин², И. Ю. Шурупова¹

¹Военный учебно-научный центр военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия» имени проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина, Воронеж

²Воронежский государственный университет инженерных технологий

³МИРЭА – Российский технологический университет»

Аннотация. Рассмотрен вариант решения задачи о назначении исполнителей совокупности взаимозависимых работ (проекта), связи между которыми описываются с помощью ориентированных взвешенных графов без петель и контуров, элементам которых поставлены в соответствие некоторые характеристики проекта. При этом события (факт окончания или начала выполнения работ) соответствуют вершинам графа, а работы — дугам, ориентация которых соответствует технологии процесса. Предложен метод решения данной задачи с использованием аппарата двойственности. Показано, что для вычисления соответствующей двойственной функции необходимо на каждом шаге решать классическую задачу о назначениях, ценовая матрица которой определяется умножением элементов ценовой матрицы исходной задачи на соответствующие множители Лагранжа. **Ключевые слова:** управление проектами, сетевая модель, теория двойственности, функция Лагранжа, разрыв двойственности, задача о назначениях, минимум, поверхность разрыва.

Введение

Успешная реализация научно-технических достижений неразрывно связана с использованием математических методов и средств вычислительной техники при решении задач из различных областей человеческой деятельности. Большое значение приобретает использование указанных методов и средств при оптимальном распределении исполнителей проекта по проектным заданиям. Реализация сложных проектов предусматривает выполнения совокупности взаимозависимых работ, связи между которыми хорошо описываются с помощью сетевых моделей — ориентированных взвешенных графов без петель и контуров, элементам которых поставлены в соответствие некоторые характеристики проекта. При этом события (факт окончания или начала выполнения работ) соответствуют вершинам графа, а работы — дугам, ориентация которых соответствует технологии этого процесса. Принятие управленческих решений традиционно отождествляют с распределением ресурсов, необходимых для выполнения работ, в том числе — людских ресурсов, т.е. исполнителей проекта. Целью управления является построение расписания выполнения заданного комплекса взаимозависимых работ таким образом, чтобы при заданных свойствах ресурсов и работ оптимизировать выбранную меру эффективности. Анализ литературы показал, что подобная задача является важной составной частью большинства сложных моделей управления проектами. Необходимо отметить, что одним из важных моментов на начальных этапах проектирования является формирование команды исполнителей и от решения этой задачи во многом зависит успешное выполнение проекта в дальнейшем. Данная область не охватывается существующими системами управления проектами [1–4].

В связи с этим, актуальной является разработка методов позволяющих формировать проектную команду и определять круг работ, поручаемых каждому исполнителю.

В предлагаемой работе предпринята попытка построить алгоритм решения, основанный не только на эвристике, но и имеющий определенное математическое обоснование. Речь пойдет о весьма распространенном аппарате теории двойственности оптимизационных задач.

Методы и материалы

Пусть сформирован сетевой план проекта в виде графа $G = (V, E)$, $|V| = n$, $|E| = m$, отражающего отношения взаимосвязи между работами. Каждая дуга $e \in E$ представляет собой определённую работу в рамках проекта. Пусть s — исток сети, f — ее сток.

Сделаем следующие допущения:

каждая работа может быть выполнена каждым работником с сопоставимой эффективностью; иными словами характер выполняемых работ более или менее однороден;

не предполагается совмещение, т. е. выполнение нескольких работ одним исполнителем.

Обозначим:

$J = \{1, 2, \dots, m\}$ — множество исполнителей; без ограничения общности можно считать, что число работ и исполнителей совпадает; в противном случае несложно провести дробление работ на более мелкие или ввести фиктивных исполнителей;

T_{ij} — время, которое требуется j -му исполнителю для выполнения i -й работы; при фиксированном назначении T_{ij} можно интерпретировать как вес (длину) i -й дуги графа.

Варьируемыми параметрами математической модели являются величины $Z_{ij} \in \{0, 1\}$ — распределение операций по исполнителям: $Z_{ij} = 1$, если i -я операция поручена j -му исполнителю, $Z_{ij} = 0$ в противном случае.

При этом должны выполняться следующие ограничения:

каждая работа выполняется лишь одним исполнителем:

$$\sum_{j \in J} Z_{ij} = 1 \quad \forall i \in E; \quad (1)$$

каждому исполнителю поручается лишь одна работа:

$$\sum_{i \in E} Z_{ij} = 1 \quad \forall j \in J. \quad (2)$$

Распространённым способом синтеза оптимального управления, используемым в современных системах управления проектами, является **Program (Project) Evaluation and Review Technique** (сокращённо **PERT**) — метод оценки и анализа проектов. Ключевой частью PERT является метод критического пути в сетевом графике (сетевой диаграмме PERT). Остановимся на постановке задачи с минимизацией критического пути, т. е. с минимизацией времени исполнения проекта. Связь между длиной критического пути и введенными выше величинами можно описать следующим образом.

Пусть E_k , $k \in \{1, \dots, N\}$ — множество дуг, составляющих k -й по порядку путь от источника к стоку. Если распределение работ зафиксировано в элементах матрицы Z , то длина k -го пути вычисляется по формуле

$$d_k = \sum_{i \in E_k} \sum_{j \in J} T_{ij} Z_{ij}.$$

Введем вспомогательную переменную ξ , значение которой равно длине критического пути. В соответствии с определением ξ , для нее должны выполняться условия

$$\sum_{i \in E_k} \sum_{j \in J} T_{ij} Z_{ij} \leq \xi \quad \forall k \in \{1, 2, \dots, N\}, \quad (3)$$

$$\xi \rightarrow \min. \quad (4)$$

Поскольку $Z_{ij} \in \{0, 1\}$, а переменная ξ произвольна, задача определения исполнителей работ свелась к задаче частичного булевого программирования (1)–(4). Как известно, эти задачи в общем случае являются *NP*-трудными, поэтому необходимо подобрать соответствующий метод решения. Сложность решения модели (1)–(4), в частности, состоит в необходимости перебора всех путей в сетевом графе. Их количество N сильно варьируется в разных задачах, и в графах даже средней размерности может достигать весьма больших значений. Алгоритмиче-

ски же задача не представляет сложности, а наиболее подходящий метод её решения — алгоритм поиска с возвратом (*back-tracking*), который возможно реализовать в рекурсивной форме. В линейном программировании задачи с большим числом ограничений рекомендуется решать сведением исходной задачи к двойственной. В дискретной оптимизации, кроме того, переход от исходной дискретной задачи к непрерывной двойственной открывает возможности использования таких апробированных понятий непрерывной оптимизации как окрестность, направление наискорейшего спуска и т.п. Применим этот подход в нашем случае. Известна тесная связь между прямой и двойственной задачами, при определенных условиях, например, для задачи линейного программирования, оптимальные значения целевых функций прямой и двойственной задач совпадают. При несовпадении говорят, что имеет место разрыв двойственности. Опыт решения тестовых примеров показал, что в общем случае для задачи (1)–(4) разрыв двойственности имеет место, что не позволяет использовать двойственный метод для поиска точного решения задачи. Однако он вполне пригоден для построения приближенного алгоритма, который предполагает решение двойственной задачи путем непосредственного поиска максимума функции Лагранжа.

В общем случае субградиентный алгоритм с ограничениями, состоит из следующих шагов [5].

Обозначим $\Lambda \subset R^N$ — множество весов λ , удовлетворяющих условию $\sum_{k=1}^N \lambda_k = 1$.

1. Задать начальную точку λ^0 , положить номер итерации $u = 0$.
2. На u -м шаге итерации мы находимся в точке λ^u . Вычислить величину

$$\omega(\lambda^u) = \min_{x \in S} L(x, \lambda^u).$$

3. Вычислить вектор $g(\lambda^u)$ — субградиент функции $\omega(\lambda)$ в точке λ^u .
4. Определить λ^{u+1} равенством

$$\lambda^{u+1} = \text{Pr}_{R^+ \cap \Lambda} [\lambda^u + \rho_u g(\lambda^u)], \quad (5)$$

где ρ_u — шаг перемещения на u -й итерации.

5. Если выполнен тест остановки, то СТОП. Иначе положить $u = u + 1$ и вернуться к пункту 2.

В ходе итераций следует фиксировать получаемые пути, и отмечать минимум их максимальной длины. В результате найдется максимум функции Лагранжа. Результирующие назначения приближенно считали решением задачи.

Заключение

Предложен метод с использованием аппарата двойственности и составлена соответствующая программа решения задачи о назначении исполнителей проекта — последовательности работ с отношением предшествования. Разработанный алгоритм был реализован нами для решения тестовых задач в системе MATLAB. Сравнение значения функции Лагранжа в найденных решениях с полученной длиной критического пути указывает на близость полученного решения к оптимальному. Для сравнения была предпринята попытка решить тестовые задачи посредством программы *bintprog* системы MATLAB и пакета «Поиск решения» системы Excel. Тестовые расчеты подтвердили эффективность метода для задач умеренной размерности.

Литература

1. Cerebro [Электронный ресурс]: Система управление проектами. – Режим доступа: <http://cerebrohq.com>.
2. Trac [Electronicresource]: Project management tool. – Mode of access: www.trac.edgewall.org.

3. PayDox [Электронный ресурс]: система электронного документооборота. – Режим доступа: www.paydox.ru.

4. Автоматизированная система АСОНИКА для проектирования высоконадежных радиоэлектронных средств на принципах CALS-технологий. Том1 / Под ред. Кофанова Ю. Н., Малютина Н. В., Шалумова А. С. – М. : Энергоатомиздат, 2007. – 368 с.

5. *Мину М.* Математическое программирование. Теория и практика : Пер. с фр. / М. Мину. – М. : Наука, 1990. – 488 с.

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕДУР КОЛЛЕКТИВНОГО ВЫБОРА, ОСНОВАННЫХ НА МЕТОДЕ ПАРНЫХ СРАВНЕНИЙ

Ю. В. Бугаев, И. Ю. Шурупова

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж

Аннотация. Исследуются свойства процедур коллективного выбора, основанных на парных сравнениях альтернатив. Использован метод анализа вероятностных свойств параметров, характеризующих эффективность процедур, при условии, что истинные значения ценностей альтернатив известны. С помощью предлагаемого метода рассчитаны значения этих параметров для трех известных процедур: Терстоуна — Мостеллера, максимального правдоподобия, собственного вектора матрицы парных сравнений. Полученные результаты позволяют сравнить качество каждой процедуры и определить диапазон исходных данных, в котором их эффективность максимальна.

Ключевые слова: коллективный выбор, альтернативы, ценность альтернатив, экспертные оценки, парные сравнения, нетранзитивность индивидуальных сравнений, нормальное распределение, метод вероятностного анализа, метод максимального правдоподобия, коэффициент согласия.

Введение

Метод парных сравнений начал применяться при субъективных сравнениях объектов произвольной природы. В своем первоначальном виде он был создан Г. Т. Фехнером в 1860-х годах, и в дальнейшем, претерпев ряд дополнений, стал популярен благодаря Л. Л. Терстоуну. При групповом выборе каждому k -му эксперту $k = 1, N$ предъявляются пары альтернатив (A_i, A_j) из всего исходного множества, состоящего из m вариантов ($1 \leq i < j \leq m$), и он для каждой пары должен определить лучшую, по его мнению, альтернативу: либо $A_i \succ A_j$, либо $A_j \succ A_i$. Результаты сравнений заносятся в матрицу **T** парных сравнений, элементы которой T_{ij} равны количеству экспертов, отдавших предпочтение альтернативе A_i перед A_j . По сравнению с методами ранжирования данный метод допускает возможность нетранзитивности индивидуальных сравнений. Иными словами, сравнивая три объекта A, B, C , эксперт может выдать результат $A \succ B \succ C \succ A$. Подобные результаты получили название циклических триад.

Известно несколько процедур, позволяющих произвести идентификацию системы экспертных предпочтений на основе анализа матрицы **T**, поэтому необходимы методы сравнения эффективности этих процедур, позволяющие выявить лучшие из них.

1. Описание метода

В данной работе предлагается воспользоваться методом вероятностного анализа, который ранее использовался для процедур коллективного ранжирования [1]. Суть метода состоит в оценивании вероятностных характеристик выходных показателей данной процедуры. Применительно к процедурам, использующих парные сравнения, метод содержит следующие шаги.

1. Определение вероятности каждого возможного исхода групповой экспертизы. Согласно Л. Л. Терстоуну, примем допущение, что каждая альтернатива A_i имеет некоторую истинную ценность V_i , а эксперт способен дать лишь некоторую ее оценку. В силу того, что метод парных сравнений допускает нетранзитивность индивидуальных сравнений, в качестве их исходов будем рассматривать случайные величины ξ_{ij} , равные оцененной разности ценностей A_i

и A_j , которые можно считать независимыми, нормально распределенными с матожиданием равным $M[\xi_{ij}] = V_i - V_j$ а допущение об одинаковой компетентности экспертов, предполагает одинаковую точность оценивания, т. е. равную для всех ξ_{ij} дисперсию. Тогда при известных значениях V_i и σ вероятность превосходства A_i над A_j можно определить по формуле

$$P(A_i \succ A_j) = P_{ij} = P(\xi_{ij} > 0) = U\left(\frac{V_i - V_j}{\sigma\sqrt{2}}\right), \quad (1)$$

где $U(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{1}{2}t^2\right) dt$ — интеграл вероятности.

Отсюда при N экспертах и m сравниваемых альтернативах вероятность определенного исхода группового оценивания равна вероятности того, что наддиагональные элементы матрицы \mathbf{T} примут определенные целочисленные значения в диапазоне от 0 до N . Очевидно, число возможных исходов равно количеству $r = \frac{m(m-1)}{2}$ -размещений с повторениями из предметов $(N+1)$ типов, т. е. $A_{(N+1)}^r = (N+1)^r$, а вероятность каждого исхода находится по формуле полиномиального распределения

$$P(\mathbf{T}) = \frac{(N+1)!}{T_{12}! T_{13}! \dots T_{m-1,m}!} P_{12}^{T_{12}} P_{13}^{T_{13}} \dots P_{m-1,m}^{T_{m-1,m}}. \quad (2)$$

2. Определение выходных характеристик каждой анализируемой процедуры группового выбора при заданной матрице \mathbf{T} . В данной работе анализу подверглись три процедуры:

- Терстоуна — Мостеллера;
- максимального правдоподобия;
- собственного вектора матрицы \mathbf{T} .

В качестве вычисляемых показателей, оценивающих эффективность каждой процедуры, выбраны:

- а) вероятность правильного упорядочения ценностей альтернатив в итоговом выборе;
- б) вероятность правильного выбора лучшей альтернативы из выборки;
- в) точность определения соотношения величин ценности альтернатив на выходе процедуры.

Первые две характеристики рассчитываются по известной формуле полной вероятности, где каждое значение $P(\mathbf{T})$ рассматривается как вероятность возможной гипотезы, а третья характеристика рассчитывается по формуле математического ожидания.

Кратко опишем каждую процедуру.

В процедуре Терстоуна — Мостеллера оценки y_i ценности альтернатив ищутся по методу наименьших квадратов, т. е. минимизацией по y_i выражения

$$S = \sum_{i \neq j}^r [d_{ij} - (y_i - y_j)]^2 \quad (3)$$

при условиях

$$\sum_{i=1}^m y_i = 0; \quad (4)$$

$$d_{ij} = U^{-1}\left(\frac{T_{ij}}{N}\right) \cdot \sigma\sqrt{2}, \quad (5)$$

где $U^{-1}(z)$ — функция, обратная функции нормального распределения

В процедуре максимального правдоподобия оценки V_i определяются по принципу максимума функции (2). Большое значение в ММП имеет проблема единственности решения уравнений правдоподобия [2]. Можно доказать, что функция (2) строго вогнута, а, следовательно, точка ее максимума и решение уравнений правдоподобия единственно.

В процедуре собственного вектора, как следует из названия, оценки V_i полагаются равными элементам собственного вектора матрицы \mathbf{T} , соответствующему ее максимальному собственному значению.

Задавая определенные значения V_i и σ , можно найти числовые значения показателей эффективности каждой процедуры в зависимости от условий экспертного оценивания.

2. Результаты и обсуждение

Поскольку величина $A_{(N+1)}^r = (N+1)^t$ быстро растет с увеличением N и r , то было решено ограничиться случаем $m=3$, т. е. $r=3$ и $N=5$. Число возможных исходов в том случае $A_{(6)}^3 = 216$. По нашему мнению, такие значения позволят сделать предварительные выводы о сравнительной эффективности анализируемых процедур. В качестве истинных значений V_i были выбраны $V_1=1, V_2=1/3, V_3=0$. Величина σ варьировалась от 0,2 до 2. Таким образом, постепенно повышалась степень разброса экспертных оценок ценности альтернатив.

На рис. 1, 2 приведены графики зависимостей первых двух показателей эффективности от значения σ .

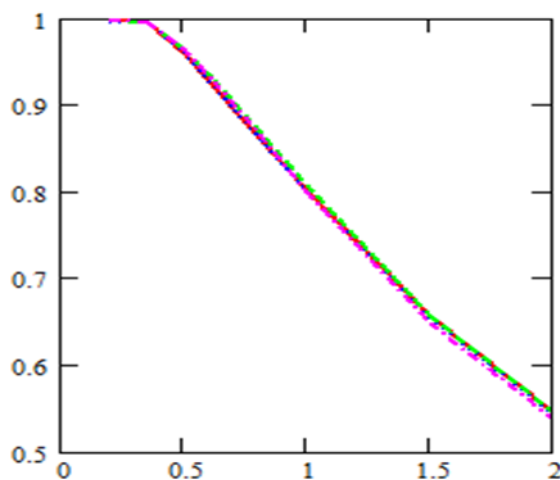


Рис. 1. Вероятность правильного упорядочения ценностей альтернатив

Как видим, обе характеристики предсказуемо убывают с увеличением степени разброса мнений экспертов, оставаясь довольно высокими. Не совсем ожидаемым оказалось практическое совпадение данных показателей эффективности различных процедур на всем диапазоне изменения σ .

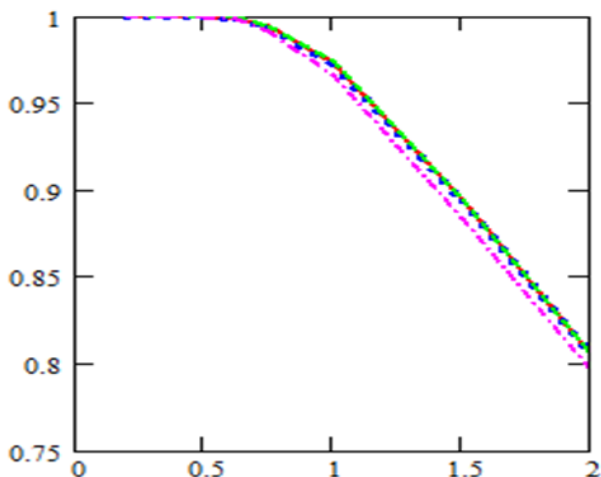


Рис. 2. Вероятность правильного выбора лучшей альтернативы

Третий показатель эффективности характеризует точность численных оценок ценностей отдельных альтернатив. Самой сильной шкалой, на которой может быть измерена выходная ценность альтернатив является шкала интервалов. Характеристическими свойствами этой шкалы являются отсутствие нулевой точки, произвольность единицы измерения и возможность определения расстояния между делениями шкалы. В связи с этим Мостеллер ввел условие (4) для однозначного определения оценок y_i . Но более наглядным преобразованием для сравнения интервалов между оценками является приведения всех оценок к интервалу $[0, 1]$ по формуле $\tilde{y}_i = \frac{y_i - \min(y_j)}{\max(y_j) - \min(y_j)}$. Поскольку истинные ценности приведены к такому же диапазону, то точность предсказания ценностей можно оценить по величине разности $|\tilde{y}_2 - V_2|$. На рис. 3 приведены графики зависимостей значения \tilde{y}_2 от значения σ . Здесь 1 — линейризованная процедура Терстоуна; 2 — нелинейризованная процедура Терстоуна; 3 — ММП; 4 — метод собственного вектора; горизонтальная линия — $V_2 = 1/3$.

Замечание 1. Нелинейризованный МНК предполагает минимизацию суммы

$$S = \sum_{i \neq j}^r \left[\frac{T_{ij}}{N} - U \left(\frac{y_i - y_j}{\sigma \sqrt{2}} \right) \right]^2, \quad (6)$$

в которую искомые оценки y_i входят нелинейно. Процедура Терстоуна — Мостеллера создавалась в первой трети 20-го века при отсутствии хороших вычислительных средств. Поэтому для упрощения Мостеллер линейризовал члены этой суммы, сведя к выражению (3), что, вообще говоря, может повлиять на точность. Поэтому для корректности расчетов мы наряду с классической процедурой Терстоуна — Мостеллера проанализировали и нелинейризованную версию.

Замечание 2. При $T_{ij} = 0$ или $T_{ij} = N$ значения d_{ij} в формуле (3) обращаются в бесконечность, поэтому в модели Терстоуна — Мостеллера полагают $T_{ij} = \frac{1}{2}$ вместо $T_{ij} = 0$, и $T_{ij} = N - \frac{1}{2}$ вместо $T_{ij} = N$. При этом данные замены не имеют теоретического основания и имеют эмпирический характер. Поэтому нами в численных экспериментах были опробованы другие граничные значения для T_{ij} , а именно $T_{ij} = 0,01 \cdot N$ вместо $T_{ij} = 0$, и $T_{ij} = 0,99 \cdot N$ вместо $T_{ij} = N$. Графики зависимостей значения \tilde{y}_2 от значения σ при новых границах приведены на рис. 4. Обозначения линий рис. 3 сохранены.

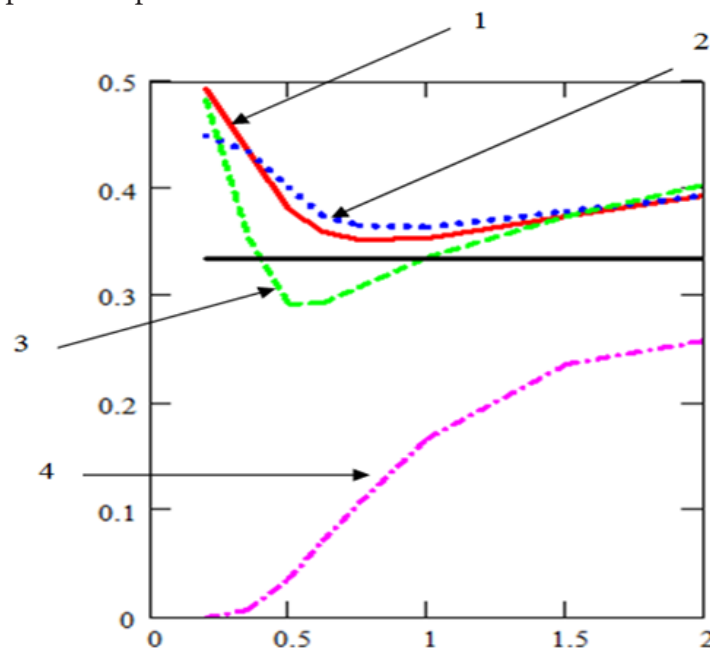


Рис. 3. Графики зависимостей значения \tilde{y}_2 от σ

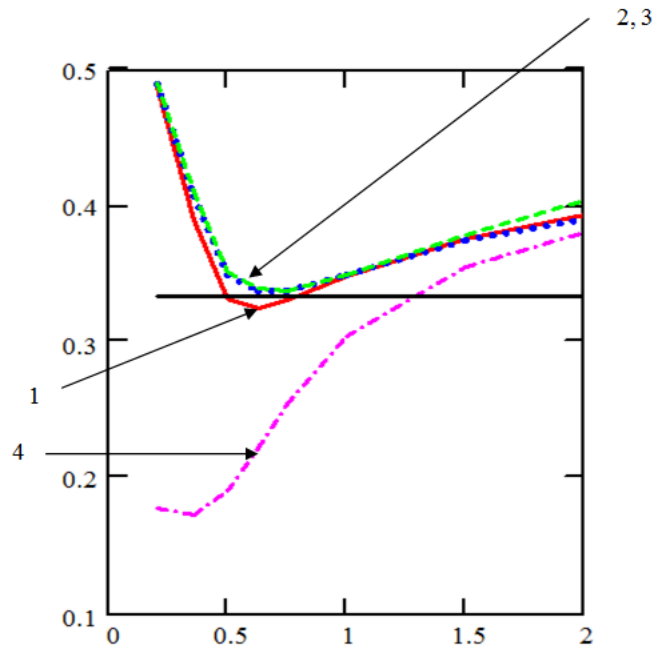


Рис. 4. Графики зависимостей значения \hat{y}_2 от σ при новых границах T_{ij}

Графики различных показателей при этом значительно сблизились, и немного возросла точность, в том числе и показателя метода собственного вектора. Подобная близость характеристик, возможно, объясняется общностью теоретической основы методов — использование нормального распределения для экспертных оценок.

Недостатком предложенного метода оценки эффективности является невозможность непосредственного измерения значения σ . Косвенно ее значение можно оценить по показателю степени согласованности мнений экспертов. В качестве такого показателя при экспертном ранжировании альтернатив традиционно используют коэффициент конкордации, для парного же сравнения Г. А. Дэвид предложил [3] коэффициент согласия, вычисляемый по формуле

$$V = \frac{8 \sum_{i \neq j} C_{T_{ij}}^2}{m(m-1)N(N-1)} - 1.$$

Максимальное значение $V = 1$ достигается при полном совпадении мнений экспертов.

Нами было выяснено, что между значениями σ и математическим ожиданием V имеется гладкая монотонная зависимость, график которой при $m = 3$ и $N = 5$ приведен на рис. 5.

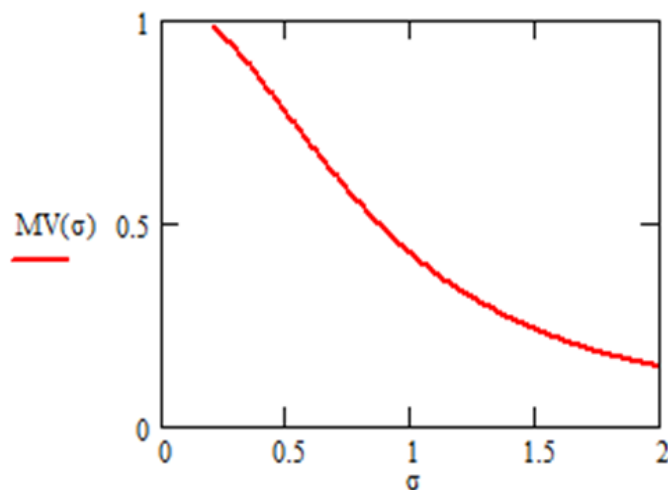


Рис. 5. Зависимость между $M[V]$ и σ

Поэтому можно построить зависимость \tilde{y}_2 от $M[V]$. Графики этих зависимостей при новых границах T_{ij} приведены на рис. 6. Нумерация линий такая же, как и на рис. 3, 4, также добавлена линия 5 — полусумма оценок, полученных линеаризованной процедурой Терстоуна — Мостеллера и ММП-процедурой.

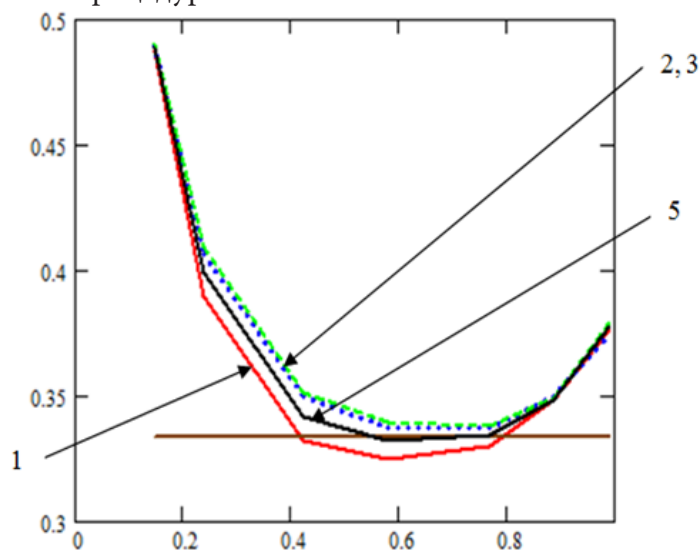


Рис. 6. Зависимость \tilde{y}_2 от $M[V]$

Заключение

Из графика видно, что при изменении $M[V]$ примерно от 0,35 до 0,9 ожидаемая точность оценки ценности второй альтернативы достаточно велика для обоих вариантов процедуры Терстоуна — Мостеллера и ММП-процедуры. Поскольку линеаризованная процедура Терстоуна — Мостеллера и ММП-процедура на большом промежутке дают на выходе смещения разных знаков, можно ожидать, что среднее арифметическое их оценок даст повышенную точность.

Также было показано, что вероятность правильного упорядочения ценностей альтернатив на выходе трех указанных процедур весьма высока — от 0,8 до 1. Для выработки окончательных практических рекомендаций необходимо провести более объемные исследования, но результат данных предварительных расчетов уже показывает высокую эффективность процедур коллективного выбора при парных сравнениях.

Литература

1. Бугаев Ю. В. Вероятностный метод анализа процедур построения коллективных экспертных оценок / Ю. В. Бугаев, Б. Е. Никитин, М. С. Миронова // Вестник ВГУ. Серия «Системный анализ и информационные технологии». – 2011. – № 2. – С. 130–135.
2. Леман Э. Теория точечного оценивания / Э. Леман. – М. : Наука, 1991. – 448 с.
3. Дэвид Г. Метод парных сравнений / Г. Дэвид. – М. : Статистика, 1978. – 144 с.

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ДЕЙСТВИЯМИ ПОГРУЗЧИКА ПРИ ВЫБОРЕ КОНТЕЙНЕРОВ ИЗ ШТАБЕЛЯ ВРЕМЕННОГО ХРАНЕНИЯ

И. Н. Булгакова, М. С. Левченко

Воронежский государственный университет

Аннотация. В статье рассматривается алгоритмический подход к решению одной из проблем технических и технологических решений системы грузопереработки контейнерного терминала — процедуре организации контейнерного штабеля и выборки контейнеров из него. Особое внимание при разработке алгоритма уделено поиску оптимальной стратегии поиска и сокращения трудоемкости доступа к контейнерам, которые подлежат в данный момент обслуживанию.

Ключевые слова: контейнерный терминал, контейнерный штабель, операционный штабель, стек, очередь, координаты нахождения слота, кратчайший путь.

Введение

Систематизация, распределение и определение приоритета последовательности контейнерного стека в рамках одного склада можно рассматривать в качестве важного элемента в общем процессе грузоперевозки. Именно этот элемент влияет на суммарное время всех итераций, а временной фактор один из важных факторов, который определяет суммарную прибыль грузоперевозчика. Существуют разные методики и алгоритмы отбора контейнера для загрузки транспорта на отправку. В данном исследовании конечной целью является разработка алгоритма общей процедуры селективной выемки контейнеров из операционного штабеля.

1. Описание проблемной области

Чтобы ускорить обработку контейнеров на терминале, разгрузку и штабелирование проводят без планирования дальнейших операций (перегрузка, хранение, таможня и т. д.). В результате зона хранения становится временным складом, где контейнеры складываются в штабеля, которые затем переформируются в зависимости от дальнейших действий с грузом (выдача, отправка, взвешивание, таможенный досмотр) [3, 4].

При такой организации прямой доступ возможен только к верхним контейнерам в штабелях. Чтобы достать контейнер из нижних рядов, приходится перемещать контейнеры, которые его перекрывают (рис. 1).

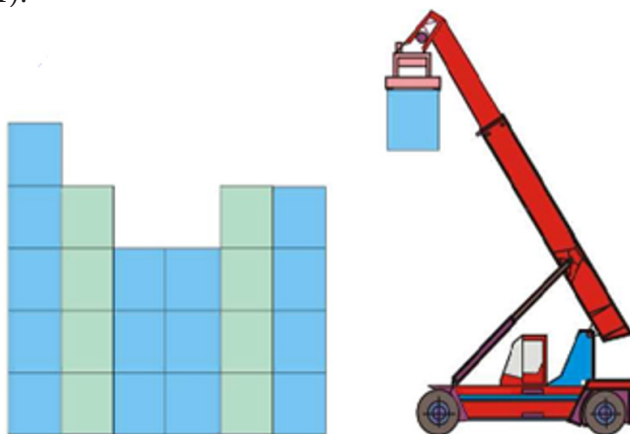


Рис. 1. Выборка ричстакером элемента штабеля

Проблемы сложности и частоты этих операций предоставили повод для научных исследований, посвященных методам перестановки контейнеров в зонах хранения [1, 2, 5–7]. Каждый способ имеет свои плюсы и минусы, и, следовательно, единое оптимальное решение для эффективного поиска и извлечения контейнеров из штабелей пока не найдено.

Общую структуру предлагаемых моделей и методов возможно поделить на две категории — точные, по заявкам от конкретных клиентов и с документальным указанием местоположения контейнера, и размытые, по вероятности предпочтений или приоритетам обслуживания клиентов и примерным указаниям на местоположение контейнера.

В первом случае рассматриваются понятия стеков и очередей, более масштабному охвату поддается сам процесс выемки контейнеров из операционного штабеля, так как нужный приоритет заранее известен.

Определения очередей и стеков массово встречается в различных областях фундаментальных и прикладных научных дисциплин, используемых для изучения процессов обработки данных, событий, грузов. В случае, когда объект подобного процесса получает «заявку» на выполнение некоторой свойственной ему операции, но не в состоянии выполнить ее немедленно, то эта заявка откладывается до появления возможности ее выполнения. Следующая заявка, поступившая объекту, ставится в очередь за предыдущей и т. д. При появлении возможности выполнения операции обслуживается заявка, поступившая раньше всех, т. е. пришедшая первой (FIFO).

Методика FILO предполагает альтернативную ситуацию, при которой прибывшая заявка обретает статус «первой в очереди» и при появлении возможности выполняется первой соответственно. Совокупность ожидающих обслуживания заявок, организованная по принципу «первым пришел — последним ушел».

К ним может быть присоединен принцип FEFO (First Expire, First Out), при работе по этому принципу первым отправляется товар, срок годности которого выходит раньше. Метод часто используется при работе с продуктами питания, медикаментами и другими товарами с ограниченным сроком годности. Для удобства товары хранятся на полках по принципу супермаркетов: продукты с большим запасом срока годности располагаются дальше, чтобы в первую очередь на отправки уходил товар с меньшим сроком годности (рис. 2).

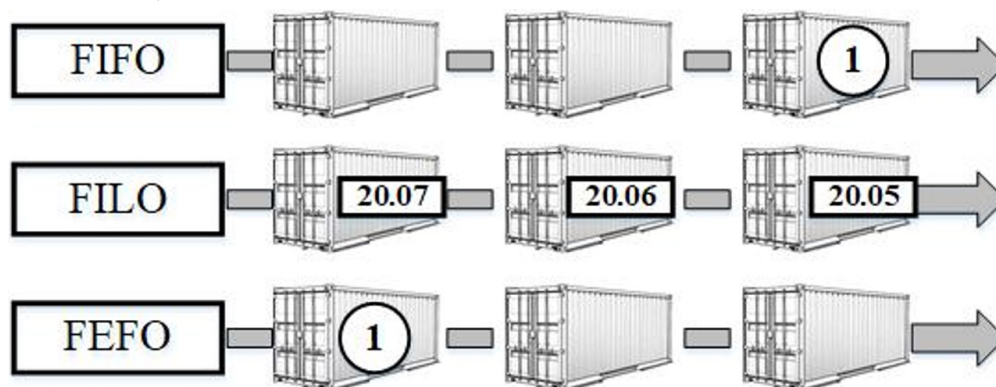


Рис. 2. Модели FIFO, FILO и FEFO

Во втором случае на контейнерном терминале, действует еще один специальный принцип, так называемый FIRO (First In / Random Out), когда поступившие на терминал контейнеры выбираются для вывоза в случайном для терминала порядке. Выборка из середины очереди или стека произвольной заявки возможна лишь за счет повторения нескольких классических операций по схеме FIFO или FILO, выполняемых до тех пор, пока на выходе не появится нужная. При этом заявки, высвобождаемые в ходе выборки заданной, не считаются выполненными и должны помещаться в ту же группу ожидающих обслуживания заявок. В случае стека для этого тре-

буется наличие как минимум еще одного стека, в случае очереди необходимо организовать еще одну очередь или «зациклить» ее, помещая выходные задачи на вход. В данной ситуации процесс выемки начинается с процедуры определения местоположения запрашиваемого контейнера.

2. Алгоритм управления действиями погрузчика при выборе контейнеров из штабеля

Для решения проблемы селективного подбора контейнеров из операционного штабеля (рис. 3) предлагается следующий алгоритм.

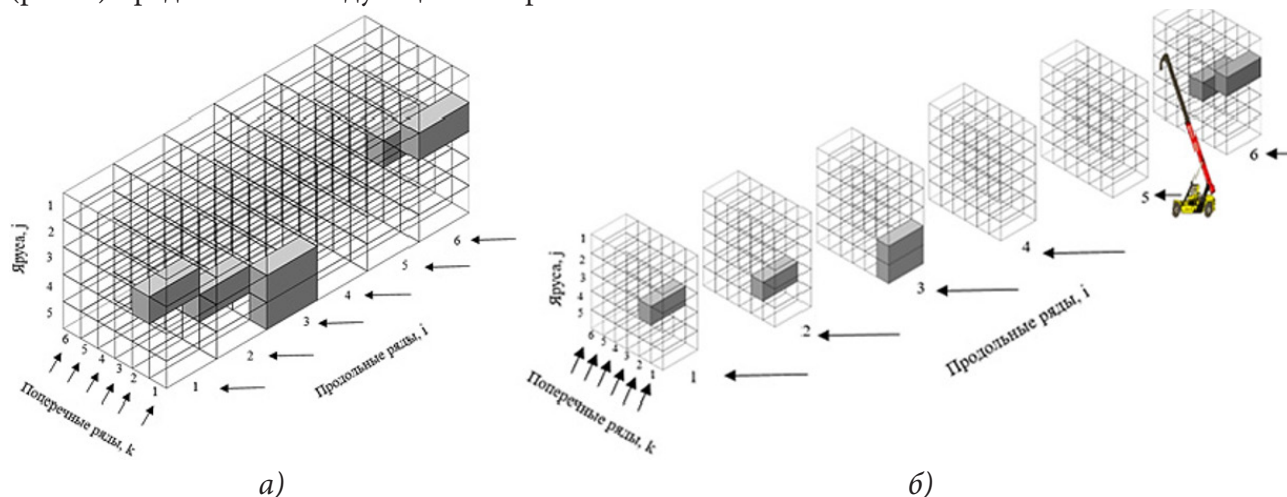


Рис. 3. Операционный штабель: а — определение местоположения контейнеров, координаты (i, j, k) ; б — пример расположения целевых контейнеров в продольных рядах

Условные обозначения, используемые для формализации алгоритма, и их интерпретация приведены в табл. 1.

Таблица 1

Условные обозначения

Элемент	Интерпретация
k	Координата слота (положения контейнера) в поперечном ряду пула контейнеров, $k \in [1, n]$
i	Координата слота (положения контейнера) в продольном ряду пула контейнеров, $i \in [1, m]$
j	Координата слота (положения контейнера) в ярусе пула контейнеров, $j \in [1, v]$
x_{kij}	Любой слот, кроме требуемого, в пуле контейнеров
x_{kij}^*	Требуемый слот в пуле контейнеров
$\frac{C_k^*}{2^k}$	Вероятность возможности выемки одного контейнера из k -го слота в поперечном ряду в соответствии с биномиальным распределением
$\frac{\sum_{k=1}^n \frac{C_k^*}{2^k} + \sum_{i=1}^m \frac{C_i^*}{2^i} + \sum_{j=1}^v \frac{C_j^*}{2^j}}{\sum_{k=1}^n \frac{C_k^*}{2^k} + \sum_{i=1}^m \frac{C_i^*}{2^i} + \sum_{j=1}^v \frac{C_j^*}{2^j}}$	
$\frac{C_i^*}{2^i}$	Вероятность возможности выемки одного контейнера из i -го слота в продольном ряду в соответствии с биномиальным распределением
$\frac{\sum_{k=1}^n \frac{C_k^*}{2^k} + \sum_{i=1}^m \frac{C_i^*}{2^i} + \sum_{j=1}^v \frac{C_j^*}{2^j}}{\sum_{k=1}^n \frac{C_k^*}{2^k} + \sum_{i=1}^m \frac{C_i^*}{2^i} + \sum_{j=1}^v \frac{C_j^*}{2^j}}$	

$\frac{C_j^*}{2^j}$	Вероятность возможности выемки одного контейнера из j -го слота в ярусе в соответствии с биномиальным распределением.
$\sum_{k=1}^n \frac{C_k^k}{2^k} + \sum_{i=1}^m \frac{C_i^i}{2^i} + \sum_{j=1}^v \frac{C_j^j}{2^j}$	
L_{kij}	Индикатор принадлежности клиенту, $L_{kij} = \begin{cases} 0, & \text{контейнер не учитывается в расчете, т. е.} \\ & \text{не принадлежит нужному клиенту} \\ 1, & \text{контейнер учитывается в расчете, т. е.} \\ & \text{принадлежит нужному клиенту} \end{cases}$
β_{kij}	Индекс приоритетности клиента, $\beta \in [0,1]$
g_i	Слот в ярусе j относительно плоскости поперечного ряда
y_i	Слот в поперечном ряду k
g'_i	Слот в ярусе j относительно плоскости продольного ряда
y'_i	Слот в продольном ряду i
s_{opt}	Оптимальный путь, проделанный для обнаружения и выемки x_{ki}^*
T_{move}	Среднее время, затраченное на извлечение одного контейнера, мин.
φ	Коэффициент отклонения по времени, $\varphi \in [0,1]$
d_{kji}	Площадь одного контейнера (рассматривается площадь для 20-ф и 40-ф)

Шаг 1. На начальном этапе в модель должна поступить информация о местоположении требуемого контейнера. Если оно известно, то первый этап алгоритма пропускается и происходит переход ко второму этапу, иначе алгоритм выемки контейнера начинается с первого этапа.

Первый этап. Определение вероятности нахождения необходимого контейнера в определенном месте штабеля.

Шаг 2. Определить общее число контейнеров в поперечном ряду, общее число контейнеров в продольном ряду и общее число контейнеров в вертикальном ярусе.

Шаг 3. Произвести расчет вероятности выбора каждого контейнера (рис. 4) по формуле:

$$p(x_{ki}) = \frac{\frac{C_k^k}{2^k} + \frac{C_i^i}{2^i} + \frac{C_j^j}{2^j}}{\sum_{k=1}^n \frac{C_k^k}{2^k} + \sum_{i=1}^m \frac{C_i^i}{2^i} + \sum_{j=1}^v \frac{C_j^j}{2^j}}$$

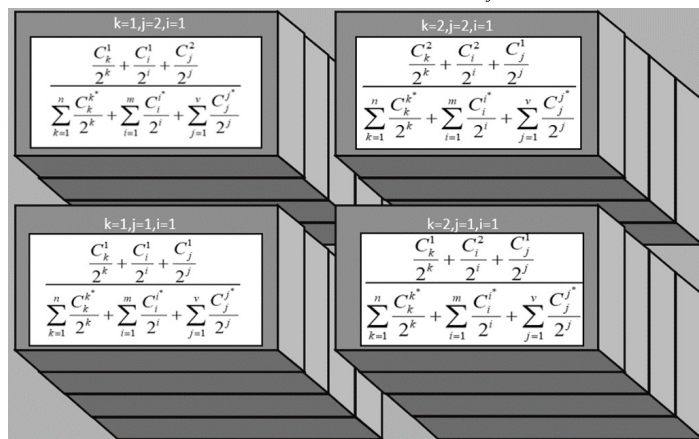


Рис. 4. Пул контейнеров, соотношенный с вероятностями

Шаг 4. Распределить принадлежность контейнера к клиентам L_{ki} , где 1 — контейнер по принадлежности к клиенту учитывается в выборке, иначе 0 — контейнер не учитывается в выборке. Таким образом определяется каждый контейнер в пуле — является ли он собственностью определенного клиента или нет. Например, в табл. 2 контейнеры клиента В не входят в рассмотрение, так как его приоритет для логистической компании ниже клиентов А и Г, а приоритет клиента Б является самым наивысшим.

Таблица 2

Пример распределение контейнеров по запросам клиентов

Принадлежность контейнеров к клиентам	x_{111}	x_{121}	...	x_{kij}
Клиент А	1	0	0	0
Клиент Б	0	1	0	1
Клиент В	0	0	0	0
Клиент Г	0	0	1	0

Шаг 5. Установить значение индекса приоритетности клиента, $\beta \in [0, 1]$.

Шаг 6. Произвести расчет по формуле:

$$\max((p(x_{111}) \times L_{111} \times \beta_{111}), \dots, (p(x_{kij}) \times L_{kij} \times \beta_{kij})) = f(x_{kij}),$$

где $p(x_{kij})$ — вероятности, рассчитанные на шаге 3;

L_{kij} — значение коэффициента принадлежности для соответствующих k , i и j , определенных на шаге 4;

β — приоритетность клиента, значение от 0 до 1, чем выше значение, тем важнее операция перевозки именно этого груза клиента для компании.

Шаг 7. Требуемый контейнер с наибольшим значением $f(x_{kij})$ определен. Осуществляется переход ко второму этапу алгоритма.

Второй этап. Процедура селективной выемки контейнеров из операционного штабеля.

Шаг 8. Если $i = 1$, то переход к шагу 27.

Шаг 9. Если $k = 1$, то переход к шагу 27.

Шаг 10. Рассмотреть требуемый контейнер в плоскости его поперечного ряда (k) и яруса (j) с целью определения нужных для расчета координат.

Шаг 11. Определить начальные координаты g_1 (слот в ярусе j^*) и y_1 (слот в поперечном ряду k^*), по умолчанию равны нулю.

Шаг 12. Определить начальные координаты целевого контейнера g_j^* (слот в ярусе j^*) и y_k^* (слот в поперечном ряду k^*).

Шаг 13. Определить конечные координаты целевого контейнера g_j (слот в ярусе j) и y_k (слот в поперечном ряду k).

Шаг 14. Определить расстояние от начальной координаты до целевого контейнера

$$|A_{j^*k^*}| = \sqrt{(g_{j^*} - g_1)^2 - (y_{k^*} - y_1)^2}.$$

Шаг 15. Определить расстояние от целевого контейнера до конечной координаты

$$|A_{jk}| = \sqrt{(g_j - g_{j^*})^2 - (y_k - y_{k^*})^2}.$$

Шаг 16. Сравнить длины векторов $|A_{kj}|$ и $|A_{k^*j^*}|$ между собой. Если $|A_{kj}| \geq |A_{k^*j^*}|$, то расстояние $|A| = |A_{kj}|$, иначе $|A| = |A_{k^*j^*}|$.

Шаг 17. Рассмотреть требуемый контейнер в плоскости его продольного ряда (r) и яруса (j) с целью определения нужных для расчета координат.

Шаг 18. Определить начальные координаты g'_1 (слот в ярусе j^*) и y'_1 (слот в продольном ряду i^*) приравниваются к нулю по умолчанию.

Шаг 19. Определить начальные координаты целевого контейнера g'_j (слот в ярусе j^*) и y'_i (слот в продольном ряду i^*)

Шаг 20. Определить конечные координаты целевого контейнера g'_j (слот в ярусе j) и y'_i (слот в продольном ряду i)

Шаг 21. Определить расстояние от начальной координаты до целевого контейнера

$$|B_{i^*j^*}| = \sqrt{(g'_j - g'_i)^2 - (y'_i - y'_i)^2}.$$

Шаг 22. Определить расстояние от целевого контейнера до конечной координаты

$$|B_{ij}| = \sqrt{(g'_j - g'_j)^2 - (y'_i - y'_i)^2}.$$

Шаг 23. Сравнить длины векторов $|B_{ij}|$ и $|B_{i^*j^*}|$ между собой. Если $|B_{ij}| \geq |B_{i^*j^*}|$, то расстояние $|B| = |B_{ij}|$, иначе $|B| = |B_{i^*j^*}|$.

Шаг 24. Сравнить $|A|$ и $|B|$. Если $|A| \geq |B|$, то кратчайший путь до необходимого контейнера $s_{opt} = |A|$, иначе $s_{opt} = |B|$.

Шаг 25. Установить значения переменных T_{move} , φ и d_{kij} .

Шаг 26. Определить временные издержки на выемку контейнера x_{kij}^* как:

$$c(x_{kij}^*) = s_{opt} \times \frac{3600}{T_{move}} \times \varphi \times \sum_{j=1}^v j \times d_{kij}.$$

Шаг 27. Конец алгоритма.

Таким образом, в модели удалось найти требуемый контейнер и кратчайший путь до него, определены временные затраты на процедуру селективной выемки. Полученные параметры оптимизируют работу контейнерного склада и увеличат проходимость очереди.

Заключение

В заключении важно отметить, что процедура селективной выемки предполагает комплексный подход и рассмотрение полного процесса загрузки. Важным аспектом в решении задачи процедуры селективной выемки требуемого контейнера является понимание того, какой контейнер требуемый. Если обоснован допуск о дискретности исходных данных, то биномиальный подход имеет право на применение.

Из рассмотренного во втором этапе гибридном алгоритме вытекает вывод о том, что контейнеры, прибывающие на терминал и убывающие с него, не подвержены ни одной из известных в логистике дисциплин обслуживания очередей (FIFO, FILO, FELO). Иногда, если не брать во внимание первый этап, последовательность убытия контейнеров с терминала имеет случайный характер, в связи с чем дисциплина обработки контейнеров может быть названа First In/Random Out (FIRO).

Литература

1. Кузнецов А. Л. Математическое описание задачи анализа пропускной способности морских портов / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, Р. В. Кузнецов // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2022. – С. 327–335.
2. Кузнецов А. Л. Анализ оптимизационных стратегий складирования контейнеров / А. Л. Кузнецов, А. Д. Семенов, А. З. Боревиц // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2019. – С. 803–812.
3. Маликова Т. Е. Системный анализ взаимодействия участников транспортного рынка при оформлении грузов в морском порту / Т. Е. Маликова, А. А. Янченко // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2015. – № 4. – С. 25–29.

4. Маликова Т. Е. Детерминированный конечный автомат поиска контейнеров в штабеле / Т. Е. Маликова, Е. Е. Соловьева, А. Ж. Радочинская // Эксплуатация морского транспорта. – 2022. – № 4 (105). – С. 91–100.
5. Садовская О. Л. Задачи построения модели управления работой транспортного узла / О. Л. Садовская // Методы исследования операций в задачах автомобильного транспорта. Сб. науч. тр., МАДИ. – М., 1983. – С. 51–56.
6. Садовская О. Л. Модель прогнозирования работы автомобильного транспорта контейнерного терминала / О. Л. Садовская // В кн.: Тез. III Сибирской научно-технической конференции «Надежность научно-технических прогнозов». – Новосибирск, 1984. – С. 37–38.
7. Соловьева Е. Е. Исследование подходов и алгоритмов управления автоматизированной системой организации поиска и выемки контейнеров / Е. Е. Соловьева // Материалы V международной научно-технической конференции (18–21 октября 2022 г.). – Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2022. – С. 70–74.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВНЕШНЕГО ВОЗМУЩЕНИЯ ДЛЯ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ТЕЛЕЖКА-МАЯТНИК С ПОМОЩЬЮ РЕДУЦИРУЮЩЕЙ ФУНКЦИИ

В. С. Воробьев, В. А. Петров

*Старооскольский технологический институт им. А. А. Угарова – филиал Национального
исследовательского технологического университета «МИСИС»*

Аннотация. В данной работе разработан идентификатор возмущения в системе управления мостовым краном. Для его получения была использована функция редукции и функциональное дифференциальное уравнение, переводящее рассматриваемый объект на инвариантное многообразие. В результате с его помощью закон регулирования, синтезированный методом АКАР, учитывает оценку возмущения и компенсирует ее. Численное моделирование показало, что система с наблюдателем обеспечивает на 9,7 % более высокое качество регулирования по сравнению с системой без наблюдателя.

Ключевые слова: синергетика, возмущения, уравнение редукции, нелинейный наблюдатель, АКАР, мостовой кран.

Введение

Для синтеза закона управления движением тележки мостового крана обычно используются обобщенные модели двухмассовых колебательных систем, не учитывающие особенности внешних возмущающих воздействий. Это приводит к снижению качества регулирования. К этой категории математических моделей относятся подъёмно-транспортные механизмы. Таким образом, в зависимости от расположения мостового крана, внутри помещения или в открытом пространстве, могут присутствовать различные типы внешних возмущений. Эти возмущения, в свою очередь, приводят к ошибкам в регулировании и возникновению затухающих колебаний, что увеличивает время простоя оборудования.

Чтобы повысить качество регулирования, необходимо учитывать каждый конкретный случай и вводить в закон управления внешние факторы, влияющие на его эффективность. Однако это не всегда возможно из-за хаотического характера внешних возмущений.

Решением этой проблемы является введение в математическую модель обобщенной координаты, которая будет учитываться на этапе синтеза закона управления. Это приводит к нетривиальной задаче непрерывного определения не измеряемой координаты с использованием доступных измеренных координат.

Для решения задачи непрерывной оценки не измеряемого обобщенного возмущения на основе доступных измерений используются специализированные методы. Расширенные наблюдатели состояния [1, 2] напрямую вводят возмущение в качестве дополнительной координаты и оценивают его вместе с состоянием системы. Наблюдатели возмущений [3, 4] формируют оценку путем фильтрации разницы между выходными координатами объекта и его номинальной моделью. Скользящие наблюдатели [5] обеспечивают надежную оценку в конечном времени за счет эквивалентного анализа управления. Адаптивные методы [6] эффективны при параметризуемой структуре возмущений. В то же время существует метод синтеза нелинейного наблюдателя, основанный на теории синергетического управления [7]. В статье предлагается дополнить закон управления, рассмотренный в [8], оценкой внешних возмущений, что повысит устойчивость системы управления.

1. Постановка задачи

1.1. Математическая модель объекта управления

На рис. 1 показана кинематическая схема двухмассовой системы «тележка-маятник».

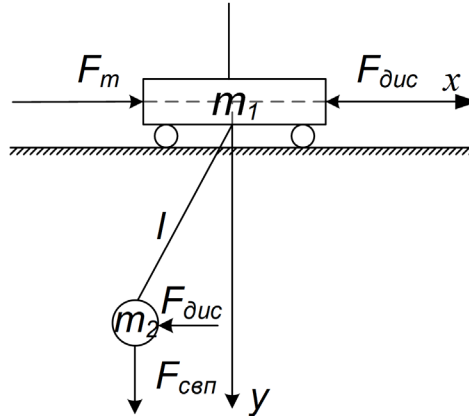


Рис. 1. Кинематическая схема тележки-маятника

Рассматривается задача идентификации внешнего возмущающего воздействия в канале управления. Для этого запишем динамику рассматриваемой системы рис. 1 в виде системы дифференциальных уравнений.

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2, \\ \dot{x}_2 = u, \\ \dot{x}_3 = x_4, \\ \dot{x}_4 = -\frac{k_2}{m_2} \cdot x_4 - \frac{g}{l} \cdot \sin(x_3) - \frac{k_2}{m_2 \cdot l} \cdot \cos(x_3) \cdot x_2 + \frac{1}{l} \cdot \cos(x_3) \cdot u, \end{cases} \quad (1)$$

где m_1 — вес тележки, m_2 — вес груза, l — длина троса, k_1 и k_2 — коэффициенты трения, g — ускорение свободного падения, x_3 — угол отклонения груза от вертикали, x_1 — положение тележки, r — положение тележки, u — псевдоуправление, которое определяется следующим образом:

$$u = \frac{1}{m_2 \cdot \sin^2(x_3) + m_1} \left(-\left(k_2 \cdot \sin^2(x_3) + k_1\right) \cdot x_2 - \frac{m_2 \cdot g \cdot \sin(2 \cdot x_3)}{2} - m_2 \cdot l \cdot \sin(x_3) \cdot x_4^2 + \right), \quad (2)$$

а v — это внешнее возмущение, f — истинное возмущение.

Необходимо синтезировать нелинейный наблюдатель возмущения по каналу управления, чтобы:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} e_v(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} (v(t) - \hat{v}(t)) = 0. \quad (3)$$

1.2. Синергетический закон регулирования

Ранее асимптотически устойчивый закон управления был синтезирован методом АКАРА [8] для системы тележка-маятник:

$$f = -\left(k_2 \cdot \sin^2(x_3) + k_1\right) \cdot e_2 - \frac{m_2 \cdot g \cdot \sin(2 \cdot x_3)}{2} - m_2 \cdot l \cdot \sin(x_3) \cdot x_4^2 - v + \frac{(m_2 \cdot \sin(x_3) + m_1)}{\lambda} \times \quad (4)$$

$$\times \left(\begin{array}{l} a_1 \cdot \left(\begin{array}{l} \gamma \cdot \ln \left(\sqrt{-\frac{2}{\sin(x_3)-1}} + 1 \right) - \frac{k_2}{m_2} \cdot e_1 + \\ + \frac{l \cdot (\lambda + 1)}{\cos(x_3)} \cdot x_4 - e_2 \end{array} \right) + \\ a_2 \cdot \left(\begin{array}{l} \gamma \cdot \int \ln \left(\sqrt{-\frac{2}{\sin(x_3)-1}} + 1 \right) dt - \\ - \frac{k_2}{m_2} \cdot \int e_1 dt + \\ + l \cdot (\lambda + 1) \ln \left(\sqrt{-\frac{2}{\sin(x_3)-1}} + 1 \right) - \\ - e_1 \end{array} \right) + \left(\frac{l \cdot (\lambda + 1)}{\cos(x_3)} \cdot x_4^2 - (\lambda + 1) \cdot g \right) \cdot \operatorname{tg}(x_3) + \\ + \frac{\gamma \cdot m_2 - l \cdot (\lambda + 1) \cdot k_2}{m_2 \cdot \cos(x_3)} \cdot x_4 + \frac{k_2 \cdot \lambda}{m_2} \cdot e_2 \end{array} \right).$$

где a_1, a_2 — положительно определенные действительные числа, влияющие на характер переходного процесса, а γ, λ — отрицательно определенные действительные числа.

2. Синтез наблюдателя возмущающего воздействия

2.1. Математическое описание

Для достижения этой цели в данной статье предлагается определить функцию редукции и макропеременную в следующем виде:

$$\hat{v}(t) = F(x_2(t)) + z(t), \quad (5)$$

$$\psi(t) = v(t) - \hat{v}(t). \quad (6)$$

Чтобы определить функцию $F(x_2(t))$, в выражении (5) вводится функциональное дифференциальное уравнение:

$$\dot{\psi}(t) + L \cdot \psi(t) = 0, \quad (7)$$

где L — положительно определенное действительное число, влияющее на характер переходного процесса наблюдателя.

Подставляя (6) в (7), определяется выражение (8):

$$\dot{v}(t) - \frac{\partial F(x_2(t))}{\partial x_2(t)} \cdot \dot{x}_2(t) - \dot{z}(t) + L \cdot (v(t) - F(x_2(t)) - z(t)) = 0. \quad (8)$$

Согласно методу синтеза синергетического наблюдателя [7], необходимо потребовать, чтобы множитель был равен нулю для $v(t)$ в уравнении, сформированном в результате подстановки переменных из (1), (2) в формулу (8):

$$-\frac{\partial F(x_2(t))}{\partial x_2(t)} + L \cdot (m_2 \cdot \sin^2(x_3(t)) + m_1) = 0. \quad (9)$$

Выражая частную производную функции $F(x_2(t))$ по координате $x_2(t)$ в (9) и интегрируя, определяем неизвестную функцию (10), что является частью приведенного выражения(5):

$$F(x_2(t)) = L \cdot (m_2 \cdot \sin^2(x_3(t)) + m_1) \cdot x_2(t). \quad (10)$$

Окончательная форма уравнения наблюдателя и расчетная оценка внешнего возмущения формируются путем подстановки переменных из выражений (1) и (2) в выражение (7) с определенной функцией (10):

$$\begin{cases} \dot{z} = -L \cdot z - L \cdot \left(\frac{(m_2 \cdot L - k_2) \cdot \sin^2(x_3) +}{+(m_1 \cdot L - k_1)} \right) \cdot x_2 - \frac{g \cdot m_2 \cdot L}{2} \cdot \sin(2 \cdot x_3) - \\ - m_2 \cdot l \cdot L \cdot x_4^2 \cdot \sin(x_3) - L \cdot f, \\ \hat{v} = L \cdot (m_2 \cdot \sin^2(x_3) + m_1) \cdot x_2 + z. \end{cases} \quad (11)$$

3. Численное моделирование

Численное моделирование проводилось в среде MATLAB Simulink с использованием модели мостового крана. В качестве сигнала задания использовалась последовательность прямоугольных импульсов амплитудой 50 м, длительностью 100 с и периодом 200 с. Возмущающий эффект был представлен в виде синусоидальной функции с экспоненциальным затуханием и вертикальным смещением (12).

$$v(t) = 10^7 \cdot e^{-0.001 \cdot t} \cdot \sin\left(\frac{\pi}{25} \cdot t\right) + 0.5 \cdot 10^4. \quad (12)$$

В рамках эксперимента было проведено сравнительное исследование двух систем управления: с оценкой возмущающего воздействия и без нее. В обоих случаях применялся закон управления (4), а для оценки возмущающего воздействия использовался разработанный нелинейный наблюдатель (11). Оценка качества регулирования отслеживания задач проводилась графически и с использованием критерия качества (13).

$$Q(e_1(t), e_3(t)) = \int_0^t |e_1(t)| dt + \int_0^t |e_3(t)| dt, \quad (13)$$

где

$$e_1(t) = r(t) - x_1(t), e_3(t) = -l \cdot \sin(x_3(t)). \quad (14)$$

Таблица 1

Параметры закона регулирования и наблюдателя

a_1	a_2	λ	γ	L
2.14	0.69	-0.43	-17.45	100

На основе численной оценки (13) качества регулирования с наблюдателем и без него были получены следующие результаты: 3025,23 м и 3318,64 м. В процентном выражении это означает, что система с наблюдателем обеспечивает более высокое качество регулирования на 9,7 %, чем система без наблюдателя.

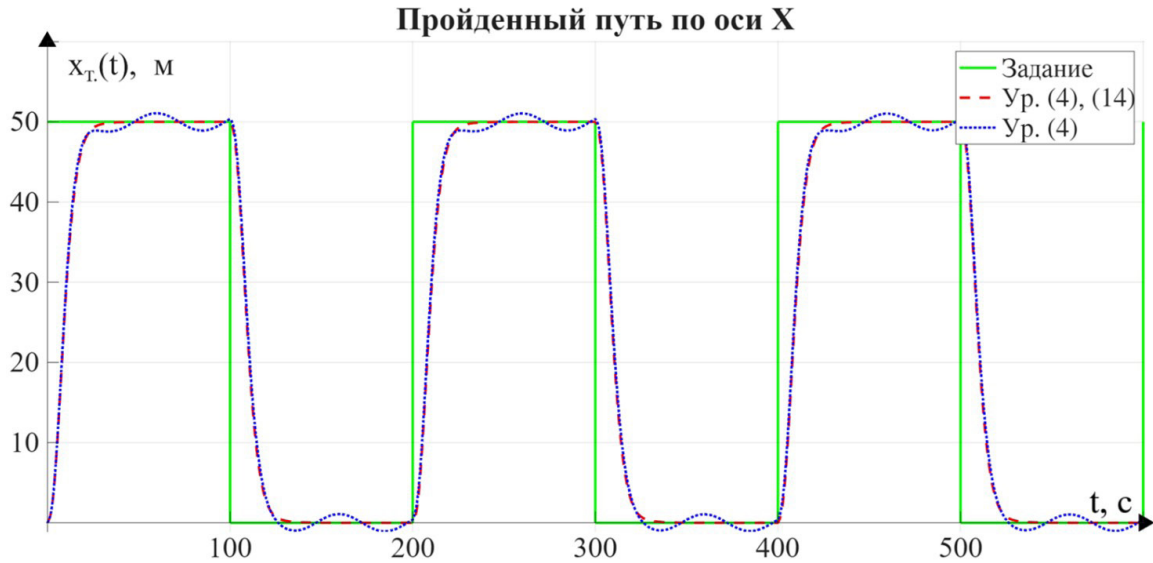


Рис. 2. Передвигался на повозке с наблюдателем и без него при наличии внешних помех

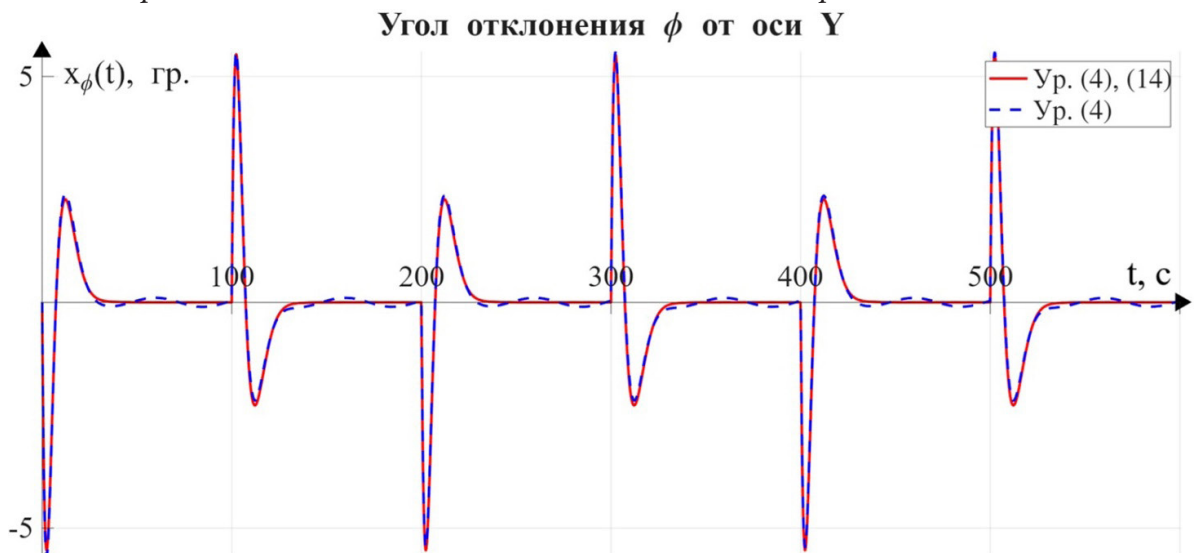


Рис. 3. Угол отклонения с наблюдателем и без него при наличии внешнего возмущения

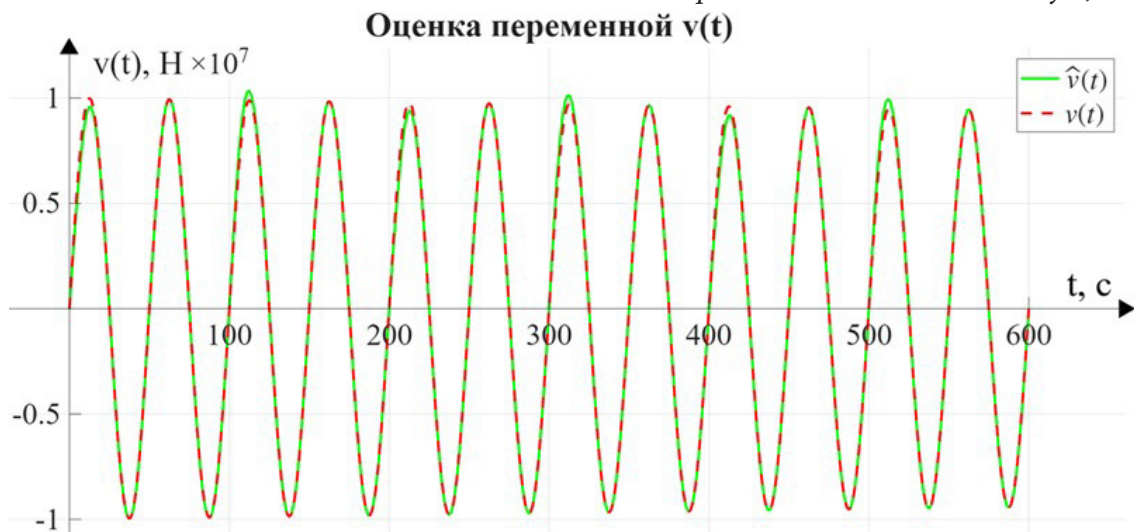


Рис. 4. Оценка наблюдаемой переменной возмущения с участием наблюдателя и без него в присутствии внешнего возмущения

Заключение

В результате синтеза нелинейного наблюдателя внешнего возмущения было получено дифференциальное уравнение наблюдателя и уравнение редукции. Это позволило дополнить разработанный ранее закон управления АКАР влиянием внешних факторов на систему, что обеспечило их компенсацию. Численное моделирование и анализ результатов показали значительное улучшение качества управления при использовании предложенного нелинейного наблюдателя.

Литература

1. Маликов А. И. Синтез наблюдателей состояния и неизвестных входов для нелинейных липшицевых систем с неопределенными возмущениями // Автоматика и телемеханика. – 2018. – № 3. – С. 21–43.
2. Глазырин А. С. [и др.] Критический экспертный анализ методов идентификации и наблюдателей переменных состояния синхронных электродвигателей с постоянными магнитами // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335, № 6. – С. 240–256.
3. Буй В. Х., Маргун А. А., Бобцов А. А. Синтез наблюдателя переменных состояния и синусоидального возмущения для линейной нестационарной системы с неизвестными параметрами // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2024. – Т. 67, № 3. – С. 209–219.
4. Chen W.-H. Disturbance-observer-based control and related methods — An overview / W.-H. Chen, J. Yang, L. Guo, S. Li // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2016. – Vol. 63, No 2. – P. 1083–1095.
5. Краснова С. А., Уткин А. В. Сигма-функция в задачах синтеза наблюдателей состояний и возмущений // Проблемы управления. – 2015. – № 5. – С. 27–36.
6. Беспалов В. В., Ведяков А. А. Адаптивные наблюдатели для нелинейных систем на основе процедуры динамического расширения и смешивания // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2023. – Т. 66, № 10. – С. 828–833.
7. Колесников А. А. Синергетика и процессы управления : монография / А. А. Колесников, Г. Е. Веселов, А. Н. Попов ; под общ. ред. А. А. Колесникова. – Москва : КомКнига, 2006. – 300 с.
8. Петров В. А. Синтез нелинейного закона управления системой тележка-маятник на основе метода АКАР / В. А. Петров, В. С. Воробьев // XIV Всероссийское совещание по проблемам управления : сборник научных трудов, Москва, 17–20 июня 2024 года. – Москва : Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2024. – С. 156–160.

ОБНАРУЖЕНИЕ НАДВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ ГЕНЕРАЦИИ ИМИТАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ С ПОСЛЕДУЮЩИМ ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМА ВЫПУКЛОЙ ОБОЛОЧКИ

Н. А. Гаранин, Ю. Е. Гагарин

Калужский филиал Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана

Аннотация. Ввиду особенностей морских помех и разнообразия надводных объектов, привлечение признаков имеет важное значение для их обнаружения. В связи со сложностью детекторов в многомерном пространстве, сжатие признаков является важной процедурой при их проектировании. Поскольку информация об объектах, используемая при построении матрицы сжатия признаков, неизвестна, предложен генератор обучающей выборки, который может эмулировать фундаментальное состояние объекта для построения матрицы сжатия признаков. Далее, представлен одноклассовый классификатор по сжатому вектору признаков с использованием нового алгоритма обучения выпуклой оболочки.

Ключевые слова: надводный объект, детекторы по признакам, одноклассовый классификатор, эффективная радиолокационная площадь, поперечное сечение радара, выпуклая оболочка, эффект Доплера, помеха, обучающая выборка, амплитудная модуляция, флуктуация.

Введение

Системы обнаружения объектов (детекторы) на морской поверхности представляет собой сложную задачу. Небольшое радиолокационное сечение, изменяющаяся скорость, а также возникающие помехи в доплеровском диапазоне (от айсбергов, лодок, плавающих мусорных островов) усложняют задачу. В связи со сложностью морских волн и разнообразием обнаруживаемых объектов невозможно разработать универсальную точную модель их параметров для надежного обнаружения.

Обнаружение объекта может быть преобразовано в задачу двухклассовой классификации, где один класс — объект, другой — помеха. В связи с рабочим состоянием радара легко собрать большой объем данных о помехах, но может быть зафиксировано пятно отраженных сигналов, что приводит к дисбалансу двух классов. Это отличается от общей задачи двухклассовой классификации, которая имеет сбалансированное количество двух классов. Для решения этой проблемы предлагается генератор отраженных сигналов, который может генерировать сбалансированное количество выборок с помехами. Другая проблема обнаружения объекта — контролируемая частота ложных тревог, которая важнее вероятности пропуска, где два вида ошибок сбалансированы в общей задаче двухклассовой классификации.

Традиционное обучение по методу модифицированной выпуклой оболочки может напрямую контролировать частоту ложных тревог. Алгоритм использует информацию о моделируемых объектах для определения области принятия решений. Ввиду вычислительной сложности алгоритма обучения 3D Convexhull, для контроля частоты ложных срабатываний важно сжать семь признаков до трёх [1]. Поэтому предложен метод, позволяющий эффективно реализовать сжатие признаков и устранить ограничение на количество значимых признаков.

1. Исходные данные

Рассмотрим ситуацию, когда радар излучает когерентную последовательность из N импульсов в направлении луча. Если в проверяемой ячейке (CUT) присутствуют отражённые

сигналы от объекта, то она содержит вместе с собой помехи от моря и шум; если же объекта нет — ячейка состоит только из морских помех и шума. При этом известно, что сигналы в соседних ячейках, окружающих CUT , считаются лишь морскими помехами и шумом, их можно использовать как опорные данные для оценки статистики морских помех. Тогда задача обнаружения объектов на поверхности моря может быть сформулирована в виде следующей бинарной проверки гипотез:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{Q}_0 : \left\{ \begin{array}{l} y(n) = r(n), n = 1, 2, \dots, N; \\ y_p(n) = r_p(n), p = 1, 2, \dots, P. \end{array} \right\} \\ \mathbf{Q}_1 : \left\{ \begin{array}{l} y(n) = s(n) + r(n), n = 1, 2, \dots, N; \\ y_p(n) = r_p(n), p = 1, 2, \dots, P. \end{array} \right\} \end{array} \right\}, \quad (1)$$

где \mathbf{Q}_0 означает отсутствие цели в CUT , а \mathbf{Q}_1 — наличие целей в отраженных сигналах. В общем случае, при высоком значении поперечного сечения радара (SCR) шум можно игнорировать.

Далее описаны используемые признаки, позволяющие различать отраженные сигналы от объекта и помехи от моря. Извлечённые признаки включают в себя два амплитудных признака: $Rehurst$ и RAA , два доплеровских признака: RPH и RVE и три признака TF из сглаженного псевдораспределения Вигнера — Вилля ($SPWVD$): RI , NR и MS [2].

Поскольку движение объекта отличается от состояния поверхности моря, энергетический профиль отраженного сигнала объекта будет иметь сложные флуктуации [3]. В результате значения признаков морских помех и отражённых сигналов от объекта могут пересекаться. Следовательно, при использовании только одного признака задача распознавания морских помех и объектов затруднена. Однако, при различных экспериментальных данных эффективность классификации каждого признака существенно отличается. Это означает, что возможность определения класса зависит от конкретных данных, а также что каждый признак обладает взаимодополняющими свойствами по отношению к другим признакам.

2. Генератор имитационных сигналов

Так как диапазоны значений одних и тех же извлечённых признаков при наличии морских помех и морских объектов отличаются, задачу обнаружения можно свести к классификации векторов признаков морских помех и объектов с помощью двухклассового классификатора в семимерном пространстве признаков. В условиях недостатка информации о надводных объектах целесообразно использовать одноклассовый классификатор, который заменит двухклассовый и позволит решать задачу обнаружения. В трёхмерном пространстве можно применить только один алгоритм обучения, основанный на выпуклой оболочке, — он позволяет построить область, включающую все векторы признаков морских помех, и тем самым определить область обнаружения.

Учитывая ограниченную размерность алгоритма, сжатие признаков имеет важное значение для всей конструкции детектора. В то время как целевые признаки важны для построения матрицы сжатия признаков, которая используется для сжатия вектора признаков из многомерного пространства в двумерное пространство, эффективно создать генератор обучающей выборки для эмуляции фундаментального состояния движения объектов на морской поверхности [4].

Из-за отсутствия информации о объектах построение матрицы сжатия признаков имеет ряд ограничений. Чтобы упростить сжатие объектов, генератор результатов поиска может имитировать состояние движения объекта. Для этого имитированный целевой сигнал длиной N определяется следующим образом:

$$s(n) = (\bar{k}\sqrt{P_c})t(n) \exp\left(j \left[\frac{4\pi}{\lambda} \left(v_0 \left(1 - \frac{n}{N} \right) + v_1 \frac{n}{N} \right) n\Delta t + \varphi_0 \right] \right), \quad (2)$$

где \bar{k} — коэффициент корректировки SCR , P_c — средняя мощность помех от моря, λ — рабочая длина волны радара, а Δt — интервал повторения импульсов. Поскольку состояние движения объектов меняется в зависимости от помех от моря, эффективная площадь рассеивания (ЭПР) также меняется в зависимости от волнения [5]. Последовательность $t(n)$ используется для управления, амплитудой сигнала $s(n)$. Параметры v_0 и v_1 — начальная и конечная радиальные скорости объекта соответственно. Параметр φ_0 — начальная фаза, генерируемая равномерным распределением в $[0, 2\pi]$.

Учитывая, что при $SCR < -20db$ объекты обнаруживаются с трудом; при $SCR > 10db$ цели обнаруживаются всегда, устанавливаем диапазон $SCR [-20db, 10db]$. Поскольку $SCR = 20 \log_{10}(\bar{k})$, значение \bar{k} генерируется равномерным распределением $[10^{-1}, 10^{1/2}]$. Радиальные скорости v_0 и v_1 рассчитываются с помощью сплайн-распределения пятого порядка. Выражения для v_0 и v_1 представлены как:

$$\begin{aligned} v_0 &= \sum_{i=1}^5 \gamma_i, \gamma_i \sim Uniform[-1, 1], \\ v_1 &= \sum_{i=1}^5 \phi_i, \phi_i \sim Uniform[-1, 1], \end{aligned} \quad (3)$$

где параметры v_0 и v_1 попадают в интервал $[-50 \text{ м/с}, 50 \text{ м/с}]$. Для ограничения диапазона ускоренной скорости эффективным является ограничение: $|v_0 - v_1| \leq 2 * N * \Delta t$.

Из-за сложного характера движения объектов флуктуации сложно смоделировать их ЭПР или амплитудные модуляции. Амплитуда $t(n)$ строится как неотрицательная, сильно коррелированная стохастическая последовательность единичной мощности с регулируемым динамическим диапазоном. Во-первых, последовательность $z(n)$, независимая и идентичная, равномерно распределенная в диапазоне $[-1, 1]$. Во-вторых, высококоррелированная последовательность $z(n)$ генерируется с помощью авторегрессионной модели для выражения связи амплитуды со временем,

$$\bar{z}_1 = z(1), \bar{z}_n = \rho \bar{z}(n-1) + z(n), n = 1, 2, \dots \quad (4)$$

где $\rho \in (0, 1)$. Можно доказать, что значения $z(n)$ лежат в интервале $[-1/(1-\rho), 1/(1-\rho)]$. В-третьих, чтобы сделать последовательность амплитуд неотрицательной, последовательность $z(n)$ можно преобразовать к виду:

$$z(n) = \frac{1}{1-\rho} + \bar{z}(n) \in \left[0, \frac{1}{1-\rho}\right], n \in \mathbb{N}. \quad (5)$$

В-четвертых, сделав последовательность $z(n)$ единичной мощности, последовательность амплитудной модуляции задается следующим образом:

$$t(n) = \frac{z(n+D)}{\sqrt{F\{z^2\}}} = \frac{\sqrt{3(1+\rho)}}{\sqrt{2(2+\rho)}} z(n+D), n = 1, 2, \dots, N, \quad (6)$$

где $F\{z^2\}$ — это степень последовательности $z(n)$, а D — достаточно большое целое число, обеспечивающее стабильность значений амплитуды. Из этого следует, что флуктуация реальной цели аналогична флуктуации эмулируемой цели, что также подтверждает эффективность генератора обучающей выборки.

3. Построение матрицы сжатия признаков

В случае общей классификации, важно различать морские помехи и надводные объекты с помощью проекционной матрицы, где проекция объекта должна располагалась как можно дальше от проекции морских помех.

Во-первых, обозначим сжатую матрицу как \mathbf{V} , \mathbf{M}_0 и \mathbf{M}_1 , обозначим матрицу признаков морских помех и объектов в многомерном пространстве. Таким образом, задачу можно упростить, чтобы найти максимальное межклассовое расстояние при неизменном внутриклассовом расстоянии по морским помехам и объектам. Задача выглядит следующим образом: $\max \{d(\mathbf{VM}_0, \mathbf{VM}_1)\}$, где d обозначает расстояние между \mathbf{VM}_0 и \mathbf{VM}_1 , а в этой части используется расстояние Махаланобиса. Задача определяется следующим образом:

$$\max \{(\boldsymbol{\mu}_0 - \boldsymbol{\mu}_1)\mathbf{V}^T (\mathbf{V}(\boldsymbol{\Sigma}_0 + \boldsymbol{\Sigma}_1)\mathbf{V}^T)^{-1} \mathbf{V}(\boldsymbol{\mu}_0 - \boldsymbol{\mu}_1)\}, \quad (7)$$

где условие ограничения означает, что основа новой системы координат независима и некоррелирована между собой, кроме того, внутриклассовое расстояние по морской помехе и внутриклассовое расстояние по объекту остаются неизменными. Поскольку задача данное выражение не может быть решено напрямую, можно разбить на несколько частей. Затем, для удобства вычислений, часть $\boldsymbol{\Sigma}_0 + \boldsymbol{\Sigma}_1$ можно разложить по собственным значениям,

$$\boldsymbol{\Sigma}_0 + \boldsymbol{\Sigma}_1 = \mathbf{Z} \begin{pmatrix} \lambda_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \lambda_n \end{pmatrix}, \quad (8)$$

а $\mathbf{V}(\boldsymbol{\mu}_0 - \boldsymbol{\mu}_1) = [\mu_{i_1}; \mu_{i_2}; \mu_{i_3}]$.

Заменив данными выражение формулу (7) получим упрощенный вариант:

$$\max \{obj(i_1, i_2, i_3)\} = \max \left\{ \frac{\mu_{i_1}^2}{\lambda_{i_1}} + \frac{\mu_{i_2}^2}{\lambda_{i_2}} + \frac{\mu_{i_3}^2}{\lambda_{i_3}} \right\}. \quad (9)$$

Это означает, что нужно выбрать одну группу, которая сделает задачу максимальной в C_n^3 , тогда проекционная матрица \mathbf{V} будет удовлетворять всем ограничениям.

Теория сжатия признаков заключается в использовании специально разработанной матрицы для преобразования вектора признаков высокой размерности в вектор признаков низкой размерности с целью выявления более эффективного и простого пространства по сравнению с исходным.

4. Алгоритм обнаружения надводных объектов

В детекторах обнаружения на основе признаков полученные временные ряды морских помех и объектов преобразуются в векторы признаков, после чего задача обнаружения выполняется в пространстве признаков. Поскольку извлечение признаков довольно сложно, невозможно предоставить точную статистическую модель векторов признаков, что также является первой трудностью проектирования детектора на основе признаков [6]. Другая трудность заключается в разнообразии объектов, что может привести к тому, что выведение простого критерия решения для обнаружения будет затруднительным. Задача обнаружения аналогична задаче одноклассовой классификации в задаче обнаружения аномалий. В задаче обнаружения векторы признаков морских помех являются нормальными выборками, в то время как векторы признаков объектов являются аномальными выборками. Благодаря известной информации о морских помехах, удобнее обнаруживать только морские помехи, в то время как остальная часть морских помех может рассматриваться как цель. Модифицированный алгоритм обучения 3D Convexhull эффективно использует теорию аномального обнаружения для построения и завершения детектора обнаружения на основе построенной матрицы сжатия. Алгоритм рекурсивно удаляет несколько аномальных обучающих выборок, эффективно используя знания о моделируемом объекте и данных о морских помехах.

Общая процедура обнаружения может быть описана следующим образом:

1) Сбор данных о морских помехах с помощью радара и использование собранных данных о морских помехах для генерации обучающих выборок.

2) Извлечение признаков из данных о морских помехах и данных эмулируемого объекта соответственно. Затем вычисляется среднее значение и стандартное отклонение данных о морских помехах для нормализации характеристик морских помех и характеристик эмулируемого объекта.

3) Использование нормализованных данных о признаках, включая морские помехи и эмулируемый объект, для вычисления матрицы сжатия признаков для завершения редукции размерности.

4) Используются сжатые данные признаков для ввода алгоритма обучения выпуклой оболочки, где известен уровень ложных срабатываний.

5) Наконец, окончательная область решений, полученная алгоритмом обучения 3D Convexhull, может быть достоверной и позволяет вычислить вероятность обнаружения.

Заключение

В данной работе предлагается алгоритм обнаружения на основе признаков сигнала, с применением их сжатия. Для различения морских помех и отраженных сигналов от объекта эффективно извлекать их признаки, которые используют разницу между признаками помех и признаками объекта для завершения обнаружения. Метод эффективно преобразует задачу обнаружения в задачу двухклассовой классификации в пространстве признаков, используя матрицу сжатия признаков. Затем описывается генератор обучающих выборок и процедура обнаружения с применением модифицированного алгоритма обучения 3D Convexhull.

Литература

1. *Liparulo L. Fuzzy Clustering Using the Convex Hull as Geometrical Model / L. Liparulo, A. Proietti, M. Panella // Advances in Fuzzy Systems. – 2015. – URL: <https://doi.org/10.1155/2015/265135> (дата обращения 30.10.2025).*

2. *Rosenberg L. Parametric modeling of sea clutter Doppler spectra / L. Rosenberg // IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens. – 2022. – 60 p. –URL: <https://doi.org/10.1109/TGRS.2021.3107950> (дата обращения 31.10.2025).*

3. *Dai Y. Moving target detection in sea clutter based on deep learning methods / Y. Dai // In: 2021 6th International Conference on Signal and Image Processing, ICSIP 2021, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., – 2021. – P. 113–117. –URL: <https://doi.org/10.1109/ICSIP52628.2021.9688747> (дата обращения 31.10.2025).*

4. *Duk V. Target detection in sea-clutter using stationary wavelet transforms / V. Duk, L. Rosenberg / IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst. – 2017. – № 53(3). – P. 1136–1146. –URL: <https://doi.org/10.1109/TAES.2017.2667558> (дата обращения 01.11.2025).*

5. *Wen B., Wei Y., Lu Z. Sea clutter suppression and target detection algorithm of marine radar image sequence based on spatio-temporal domain joint filtering / B. Wen, Y. Wei, Z. Lu. Entropy. – 2022. – № 24(2). – 250 p. –URL: <https://doi.org/10.3390/E24020250> (дата обращения 01.11.2025).*

6. *Dhulashia D. Performance of range and velocity estimation in a multistatic radar network with receiver swarms / D. Dhulashia, M. Temiz, M.A. Ritchie // In: Proc. IET Int. Radar Conf. – 2022. – P. 447–452. –URL: <https://doi.org/10.1109/access.2022.3157607> (дата обращения 02.11.2025).*

ПОСТАНОВКА ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ НА РАЗРАБОТКУ СЕРВИСА ПОДБОРА ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ АБИТУРИЕНТОВ ВУЗА

Д. А. Долженкова¹, В. В. Уклова¹, Н. А. Чернядьева²

¹Воронежский государственный университет

²МБОУ СОШ №19, г. Белово, Кировская обл.

Аннотация. Процесс формирования образовательной траектории, начиная от выбора вуза и заканчивая выбором образовательной программой, является одним из наиболее значимых этапов в жизни молодого человека. Сложность выбора, обусловленная многообразием образовательных программ, вузов и индивидуальных факторов, требует комплексного подхода к принятию решений. В статье рассмотрены проблемы выбора, показана актуальность разработки и сформулирована основная функциональность сервиса для абитуриентов, который позволит с одной стороны, упростить абитуриенту выбор программы образования, с другой стороны, успешно продвигать вузу свои программы на рынке образовательных услуг.

Ключевые слова: абитуриент, выбор образовательной программы, выбор вуза, принятие решений.

Введение

Выбор образовательной программы с позиции абитуриента и его родителей представляет собой ответственный и многогранный процесс, который требует учета множества факторов выбора и проведения в отношении их глубокого анализа. К тому же, сам рынок образовательных услуг в настоящее время является быстроменяющимся и дает множество альтернатив выбора. В связи с этим, процесс принятия решения становится не только трудоемким, но и зачастую необъективным. При этом цена ошибки в этом процессе очень высока.

1. Процесс выбора образовательной программы

Процесс выбора образовательной программы для большинства абитуриентов включает в себя семь основных этапов:

- 1) формулирование цели получения образования,
- 2) формирование вариантов выбора;
- 3) анализ и оценка вариантов;
- 4) выбор уровня образования,
- 5) выбор направления,
- 6) выбор вуза,
- 7) выбор программы обучения.

В некоторых случаях, определяющим является выбор вуза и затем в нем направления.

Задача, которая решается на первом этапе — ответ на вопрос «что именно хочет получить абитуриент от образования». Вариантами могут быть: получение конкретной профессии (карьерный рост и/или смена профессии), углубление знаний в интересующей области (личные интересы), достижение определенного социального статуса, следование семейным традициям и выполнение ожиданий близких.

Основная задача второго этапа — формирование множества вариантов из которых будет производиться выбор. Основные параметры поиска вариантов включают уровень образования, на который ориентируется абитуриент (бакалавриат, специалитет), вступительные испытания (какие эк-

замены над сдать или какие выбраны для сдачи), территориальное расположение вуза, финансовые возможности (стоимость обучения и/или жизнеобеспечения студента), жизненные обстоятельства (рис. 1). Эти факторы можно назвать внутренними факторами выбора.



Рис. 1. Параметры выбора вариантов

К внешним факторам следует относить репутацию вуза, который выбирают, возможность трудоустройства, качество обучения, инфраструктуру вуза, содержание студенческой жизни, а также дополнительные возможности, которые дает программа (вуз), например, стажировки, стипендия (рис. 2).



Рис. 2. Внешние факторы выбора

На третьем этапе происходит процесс анализа и формирования рейтинга вариантов. Задача усложняется тем, что помимо большого количества предложений образовательного рынка, не очень понятна важность каждого фактора выбора. Объективный выбор — это выбор удовлетворяющий множеству условий, но вес каждого определить сложно.

2. Обзор существующих решений

На практике выбор делается, на основе жизненного опыта лица, принимающего решение, например, родителя, методом исключения заведомо неподходящих вариантов, посредством использования рейтинговых списков различных рекомендательных систем, в том числе сервисов на базе искусственного интеллекта.

В первом случае, жизненный опыт не может учесть всех реалий образовательного рынка, спрогнозировать в должной степени потребности рынка труда. Второй вариант должен учесть важность критериев отбора, а в этом и сложность задачи. Третий вариант формирует множество вариантов на основе рейтингов, чужого набора критериев выбора и опыта, что иногда дает решение от объективности очень далекое.

3. Предлагаемое решение

Одним из решений проблемы выбора может стать разработка сервиса подбора программы вуза, который позволит учесть и рынок образовательных услуг, и востребованность программы у работодателей, и индивидуальные характеристики абитуриента. Сценарий использования сервиса представлен на рис. 3.

Сервис должен обеспечивать следующую функциональность:

- 1) профилирование пользователя;
- 2) интерактивный подбор;
- 3) фильтрацию и сравнение;
- 4) оценку вероятности поступления;
- 5) визуализацию решения.

Профилирование пользователя. Сервис должен позволять абитуриенту ввести свои характеристики: уровень образования, баллы ЕГЭ (или другие вступительные испытания), финансовые возможности, географические предпочтения, текущий статус (школьник, работающий, зрелый абитуриент), личные интересы и карьерные цели.

Интерактивный подбор. На основе введенных пользователем данных сервис должен предлагать список релевантных вузов и программ, ранжированных по степени соответствия.

Фильтрация и сравнение. Предоставление абитуриенту возможности фильтровать предложенные варианты по множеству критериев и детально сравнивать их между собой.

Визуализация. Использование наглядных средств для представления информации (графики, диаграммы, карты).

Для такого сервиса необходимо будет формирование и регулярное обновление справочника образовательных программ с указанием всех существенных характеристик (программа

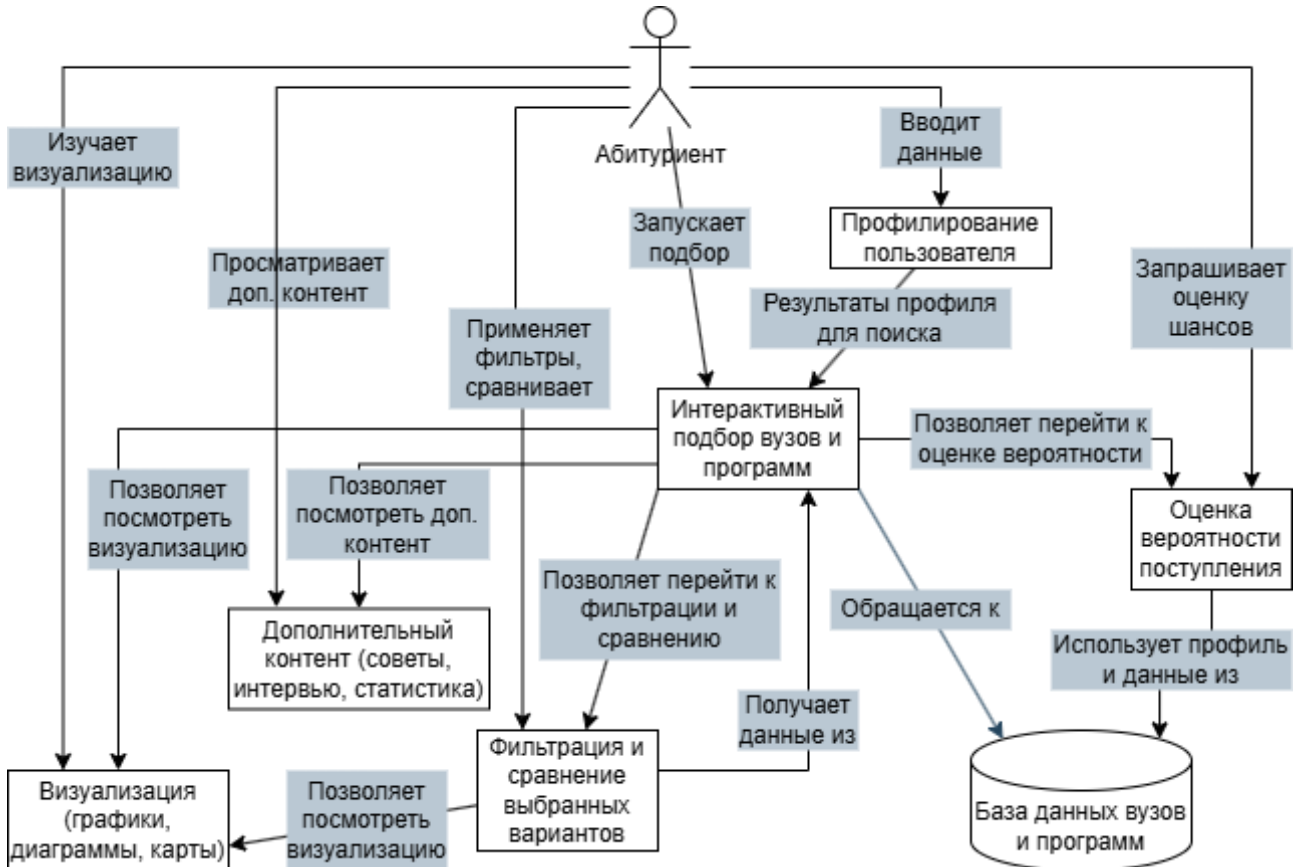


Рис. 3. Сценарии использования сервиса

обучения, преподавательский состав, условия поступления, стоимость, наличие общежития, перспективы трудоустройства и т. д.) и создание дополнительного контента: Интеграция блоков с советами экспертов, интервью с выпускниками, статистикой трудоустройства, информацией о студенческой жизни, видео-обзорами вузов.

С точки зрения архитектуры, сервис должен быть модульным и масштабируемым. Интеграция с информационными системами вуза является ключевым фактором, который позволит поддерживать должную степень актуализации данных.

Заключение

Развитие сервиса может включать интеграцию с информационными системами вузов для получения актуальной информации в реальном времени, добавление функционала для оценки вузовской инфраструктуры, а также создание сообщества абитуриентов для обмена информацией, необходимой для принятия решения по выбору образовательной программы. Дальнейшее развитие сервиса может включать:

- 1) добавление функционала для оценки вузовской инфраструктуры;
- 2) создание сообщества абитуриентов для обмена опытом, советами и отзывами.

Такой сервис способен стать не просто информационным ресурсом, а полноценным «навигатором» в мире высшего образования и, как следствие, способствовать более успешной образовательной и дальнейшей профессиональной траектории абитуриента.

Литература

1. Безруких А. Д. Разработка программного проекта информационного сервиса профориентации абитуриентов СФУ / А. Д. Безруких, М. Д. Черепанов, В. А. Мельников, Е. В. Мельникова // *Современные наукоемкие технологии*. – 2023. – № 4. – С. 19–27.

2. Гринченков Д. В. Программная Реализация системы поддержки принятия решений при управлении образовательными программами / Д. В. Гринченков, Т. В. Лобова, А. Н. Ткачев, Ф. Х. Нгуе, Д. Н. Куций, В. Д. Гринченков, Г. С. Цупко // *Известия вузов. – Северо-Кавказский регион. – Серия: Технические науки*. – 2020. – № 2 (206). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/programmnaaya-realizatsiya-sistemy-podderzhki-prinyatiya-resheniy-pri-upravlenii-obrazovatelnyimi-programmami> (дата обращения: 20.11.2025).

3. Сервис по подбору ВУЗа // Робот Макс, Госуслуги. – URL: <https://www.gosuslugi.ru/newsearch/podbor-vuza> (дата обращения: 20.11.2025).

4. Каталог специальностей // Госуслуги. – URL: <https://www.gosuslugi.ru/vuznavigator/specialties> (дата обращения: 20.11.2025).

5. Каталог вузов // Госуслуги. – URL: <https://www.gosuslugi.ru/vuznavigator/universities> (дата обращения: 20.11.2025).

6. Услуга — Подбор академических программ // UniPage. – URL: https://www.unipage.net/ru/service_program_search (дата обращения: 19.11.2025).

7. Онлайн-платформа подбора вуза или колледжа // EduNetwork. – URL: <https://edunetwork.ru> (дата обращения: 20.11.2025).

8. Системы поддержки принятия решений в образовании // *Материалы III Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум»*. – URL: <https://scienceforum.ru/2011/article/2011000280> (дата обращения: 22.11.2025).

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЗОНАНСНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВИБРАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

А. В. Елисеев^{1,2}, А. С. Миронов²

¹*Иркутский государственный университет путей сообщения*

²*Иркутский национальный исследовательский технический университет*

Аннотация. Разработан метод условной оптимизации параметров двухмассной колебательной системы вибромашины для уплотнения бетона. Цель — максимизировать ширину резонансного пика амплитудно-частотной характеристики при соблюдении требований к резонансной частоте, амплитуде и виброизоляции. На основе методологии структурного моделирования предложен графоаналитический подход для минимизации энергетического функционала. Численный эксперимент для вибростенда показал, что оптимальные параметры существенно увеличивают ширину резонансного пика без ухудшения эксплуатационных показателей.

Ключевые слова: вибрационная машина, резонансный режим, оптимизация, динамическая податливость, виброизоляция, механическая колебательная система, структурное математическое моделирование, графоаналитический метод, двухмассовая система, увеличение эффективности.

Введение

Широкое распространение в промышленности получили вибрационные технологические машины, использующие для повышения энергоэффективности режимы резонанса. Преимущества резонансных машин выражаются в их энергоэффективности, когда на определенной частоте внешние силовые возмущения вызывают существенные колебания рабочих органов [1–3]. Анализ динамики таких систем, включая машины резонансного типа с дебалансным возбудителем, продолжает оставаться актуальной задачей [4, 5]. Ключевой недостаток — неустойчивость этого режима, проявляющаяся в «срывах с резонанса» при незначительных изменениях параметров системы или частоты возбуждения, что связано с недостаточной шириной резонансного пика амплитудно-частотной характеристики [6, 7]. Проблема автоматического поддержания резонансного режима и его настройки требует разработки специальных систем управления [8–11].

Традиционный подход к расширению резонансного пика за счет увеличения демпфирования не применим, так как он напрямую снижает амплитуду колебаний, ухудшая основную рабочую характеристику машины [5, 12]. В этой связи перспективными являются исследования, направленные на оптимизацию динамических характеристик путем модификации структуры колебательной системы [13–15]. Дополнительно существует проблема обеспечения необходимого уровня виброизоляции, характеризующейся коэффициентом вибрационной передачи возмущений с вибровозбудителя на опорную поверхность [16, 17]. Комплексный подход к решению задач виброзащиты и виброизоляции технических объектов представлен в фундаментальных работах [18].

В контексте колебательных систем упомянутая «ширина резонансного пика» находится в обратной зависимости от добротности — безразмерной характеристики, определяющей отношение запасённой энергии к рассеянной за один цикл колебаний. Высокая добротность обеспечивает большое усиление амплитуды при резонансе, но одновременно приводит к узкой полосе пропускания, что делает систему чувствительной к малейшим отклонениям частоты возбуждения и параметров. Напротив, снижение добротности расширяет резонансный пик и повышает робастность режима, однако традиционное снижение добротности за счёт увеличения диссипации неизбежно уменьшает амплитуду колебаний, что недопустимо в технологи-

ческих машинах. Следовательно, ключевая задача состоит в управляемом снижении добротности без увеличения потерь, что возможно лишь через перестройку внутренней структуры системы — её инерционных, упругих и связанных характеристик [19].

Таким образом, актуальной является задача разработки методов формирования динамического качества, которое, с одной стороны, обеспечивало бы требуемые частоту и амплитуду колебаний рабочего органа, а с другой — увеличивало бы ширину резонансного пика при сохранении заданного уровня виброизоляции. Эффективным инструментом для решения таких задач выступает методология структурного математического моделирования [21–24], позволяющая проводить анализ и синтез сложных динамических систем. Настоящая статья посвящена оптимизации динамического качества резонансных режимов на основе методологии структурного математического моделирования и методов условной оптимизации.

1. Общие положения и постановка задачи. Математическая модель.

Экспериментальный вибрационный стенд представляет собой прямоугольный корпус-каркас, внутри которого установлен рабочий орган в виде короба с бетонной смесью и вибрационный возбудитель, снабженный редуктором и двумя дебалансами (рис. 1а).

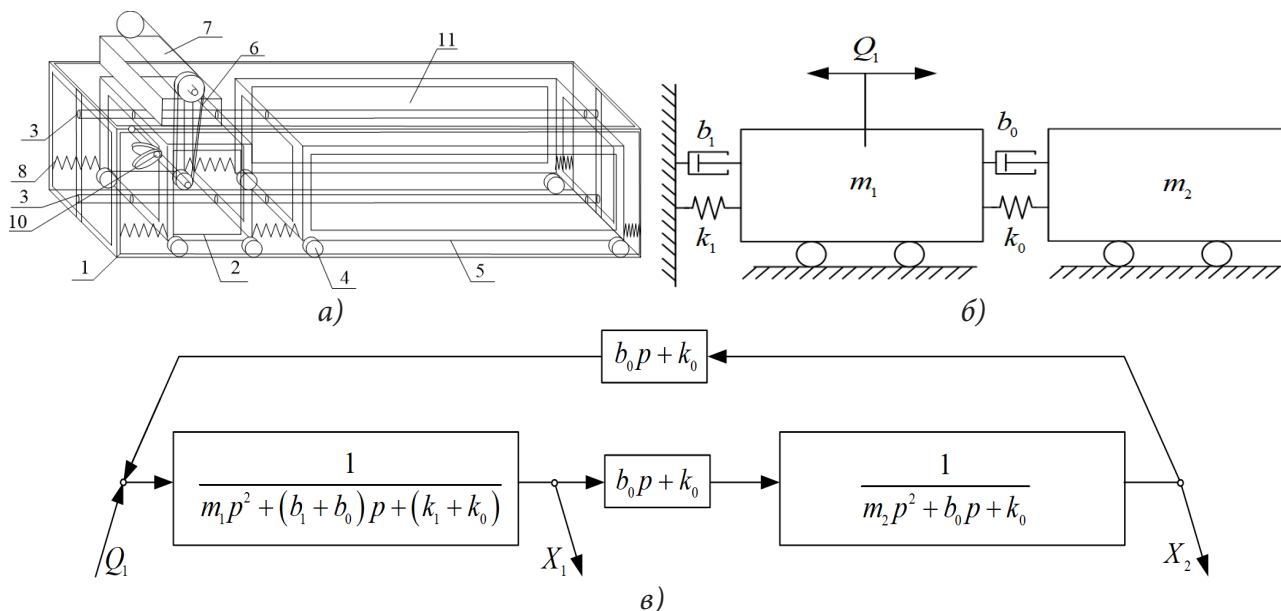


Рис. 1. Вибрационная технологическая машина: а — принципиальная схема, б — расчетная схема, в — структурная схема

Элемент m_1 представляет собой массу вибрационного возбудителя, m_2 — массу рабочего органа. Воздействие со стороны вращающихся дебалансов представлено внешним силовым возмущением Q_1 . Динамическое качество работы резонансного режима определяется заданными частотой и амплитудой колебаний рабочего органа, а также коэффициентом передачи возмущений от вибрационного возбудителя на опорную поверхность [17, 18].

Базовой гипотезой исследования служит предположение о том, что существуют такие сочетания параметров, которые увеличивали бы ширину резонансного пика, оставляя неизменными значения динамической податливости рабочего органа и коэффициент вибрационной передачи силовых возмущений на опорную поверхность.

На основе расчетной схемы (рис. 2) строится математическая модель двухмассовой вибрационной технологической машины в рамках методологии структурного математического моделирования [20–24]. Система дифференциальных уравнений Лагранжа 2-ого рода принимает матричный вид:

$$M\ddot{x} + B\dot{x} + Kx = Q, \quad (1)$$

где M — матрица масс, B — матрица демпфирования, K — матрица жесткости, x — вектор обобщенных координат, Q — вектор силовых возмущений. На основе системы дифференциальных уравнений (1) строится система алгебраической системы уравнений, полученной в результате преобразования Лапласа [20].

В рамках методологии структурного математического моделирования система (1) представляется с помощью структурной схемы эквивалентной в динамическом отношении системы автоматического управления. Динамические характеристики определяются с помощью передаточных функций. Амплитудно-частотная характеристика $A_2(\omega)$ представляет собой динамическую податливость рабочего органа, а $R_1(\omega)$ — коэффициент вибрационной передачи.

Формулируется задача условной оптимизации: определить параметры системы $\{m_1, m_2, b_0, b_1, k_0, k_1\}$, обеспечивающие заданную резонансную частоту: $\omega_{\text{res}} = C_0$, заданную амплитуду динамической податливости рабочего органа на резонансной частоте $A_2(\omega_{\text{res}}) = C_1$, заданный уровень виброизоляции $R_1(\omega_{\text{res}}) = R_{01}$.

Критерием оптимизации является минимизация кривизны амплитудно-частотной характеристики $A_2(\omega)$ в точке резонанса, что эквивалентно максимизации ширины резонансного пика:

$$\begin{aligned} (A_2''(\omega_{\text{res}}))^2 \rightarrow \quad & \min \\ & \omega_{\text{res}} = C_0 \\ & A_2(\omega_{\text{res}}) = C_1 \\ & R_1(\omega_{\text{res}}) = R_{01} \end{aligned} \quad (2)$$

Требования к частоте резонанса могут быть представлены в виде системы условий, выраженных через параметры системы. В частности, условие на фиксированное значение C_0 собственной частоты $\omega_{\text{соб}}$ принимает вид:

$$k_1 = \frac{C_0^2 (C_0^2 m_1 m_2 - k_0 m_1 - k_0 m_2)}{C_0^2 m_2 - k_0}. \quad (3)$$

Условие на постоянство амплитудно-частотной характеристики динамической податливости рабочего органа A_2 имеет вид:

$$C_1^2 = \frac{b_0^2 C_0^2 + k_0^2}{\left((C_0 (b_0 k_1 + b_1 k_0) - C_0^3 ((b_0 + b_1) m_2 + b_0 m_1))^2 + (C_0^4 m_1 m_2 - C_0^2 ((k_0 + k_1) m_2 + b_0 b_1 + k_1 m_0) + k_0 k_1)^2 \right)}. \quad (4)$$

Условие на постоянство амплитудно-частотной характеристики передаточного коэффициента виброизоляции R_1 имеет вид:

$$R_{01}^2 = \frac{(m_2 C_0^4 + (b_0^2 - 2k_0 m_2) C_0^2 + k_0^2) (b_1^2 C_0^2 + k_1^2)}{\left((C_0 (b_0 k_1 + b_1 k_0) - C_0^3 ((b_0 + b_1) m_2 + b_0 m_1))^2 + (C_0^4 m_1 m_2 - C_0^2 ((k_0 + k_1) m_2 + b_0 b_1 + k_1 m_0) + k_0 k_1)^2 \right)}. \quad (5)$$

Представленные три условия (3)–(5) связывают шесть переменных, что позволяет устанавливать зависимости между параметрами систем. Системный анализ зависимостей между параметрами системы с учетом условий (3)–(5) позволяет охарактеризовать роль отдельных факторов в формировании динамического качества резонансного режима работы вибрационной технологической машины. Базовым методом исследования служит графоаналитический подход.

2. Графоаналитический подход

Для решения задачи предложен графоаналитический подход, основанный на анализе зависимостей целевой функции от варьируемых параметров (например, массы рабочего органа) при фиксированных ограничениях. Аналитические соотношения позволяют (3)–(5) устанавливать систему связей на параметры системы (рис. 2).

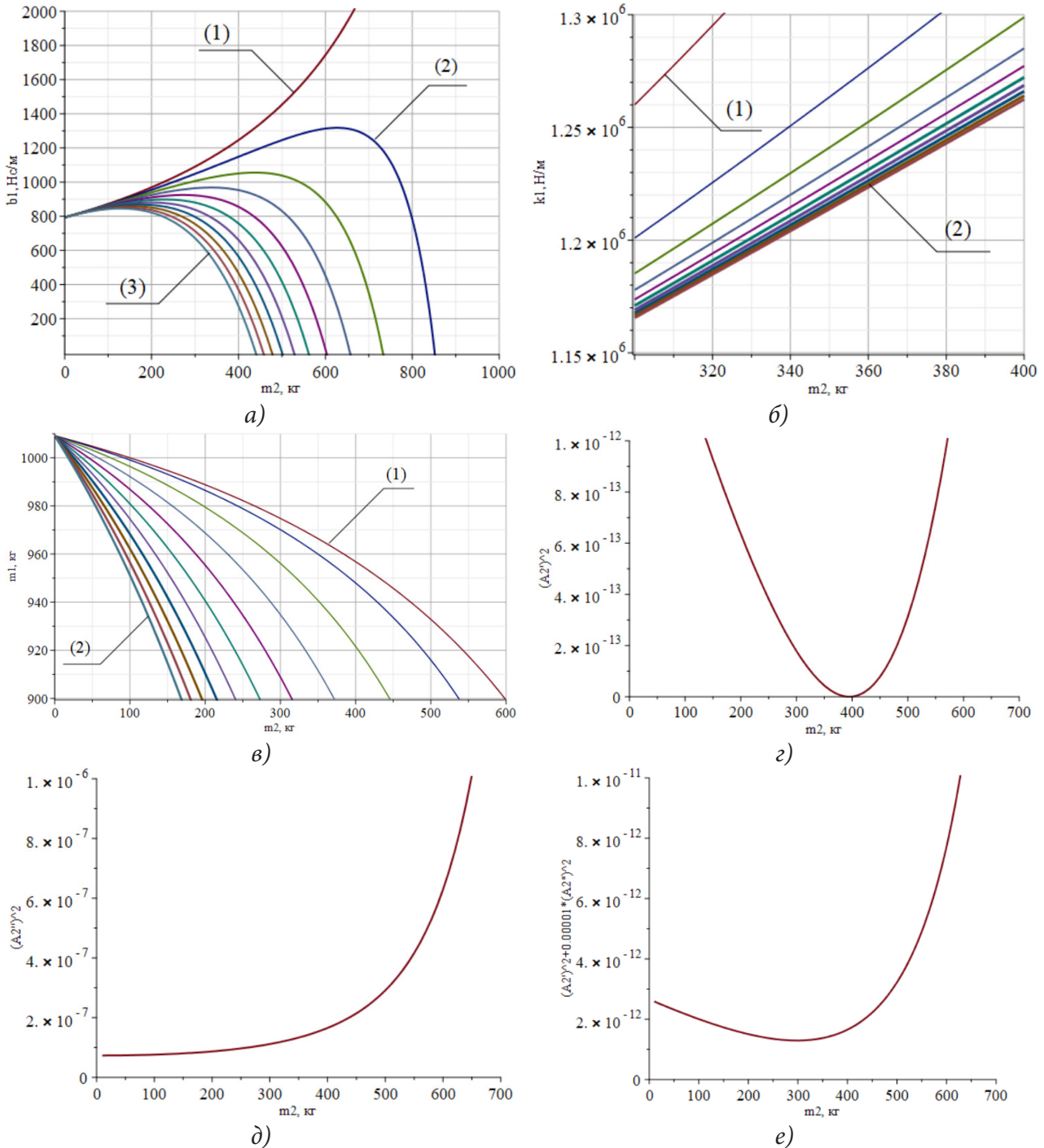


Рис. 2. Элементы графоаналитического подхода. а — формы связей между параметрами вязкого трения и массы, б — формы связей между параметрами жесткости и массы, в — формы связей связей между параметрами масс m_1 и m_2 , г — энергетическая функция на основе первой производной от амплитудно-частотной характеристики, д — минимизация на основе второй производной, е — минимизация на основе взвешенной суммы производных

Рис 2а демонстрирует связь между параметром демпфирования b_1 и массой m_2 . Рис. 2б демонстрирует связь между параметром жесткости k_1 и массой m_2 . Рис 2в демонстрирует связь между массами m_1 , m_2 . Рис. 2г отображает энергетический функционал, основанный на минимизации квадрата первой производной $(dA/d\omega)^2$. График значений функционала имеет ярко выраженную область минимума, соответствующую оптимальным параметрам системы. Рис. 2д показывает функционал, основанный на второй производной $(d^2 A/d\omega^2)^2$, минимизация квадрата которой непосредственно связана с уменьшением кривизны амплитудно-частотной характеристики в точке резонанса. Рис. 2е представляет взвешенный функционал $(dA/d\omega)^2 + \delta(d^2 A/d\omega^2)^2$, позволяющий находить компромиссное решение между различными аспектами формы резонансного пика. Выбор весового коэффициента δ обеспечивает гибкость в управлении процессом оптимизации.

3. Результаты и обсуждение

В результате численного эксперимента для вибростенда уплотнения бетонной смеси определены оптимальные параметры (табл. 1).

Таблица 1

Результаты оптимизации параметров системы

Названия параметров	Исходные значения	Оптимальные значения
m_1 , кг	100	975
m_2 , кг	1000	300*
b_0 , Н с/м	80	80
b_1 , Н с/м	800	1079.4
k_0 , Н/м	106	106
k_1 , Н/м	107	1.26·106
$(dA/d\omega)^2$	$1.86 \cdot 10^{-12}$	$1 \cdot 10^{-13}$
$(d^2 A/d\omega^2)^2$	1.117	0.001
$(dA/d\omega)^2 + \delta(d^2 A/d\omega^2)^2$	$1.004 \cdot 10^{-8}$	$1.295 \cdot 10^{-12}$
Ширина резонансного пика, рад/с	0.073	0.708

Оптимизация позволила увеличить ширину резонансного пика в 8 раз. На рис. 3 представлены графики амплитудно-частотных характеристик динамической податливости рабочего органа, демонстрирующие существенное изменение формы резонансного пика при сохранении требуемых частоты и амплитуды.

Важно отметить, что изменение параметров не привело к ухудшению виброизоляционных характеристик. Коэффициент вибрационной передачи $R_1(\omega)$ остался на требуемом уровне (рис. 3б).

Таким образом, применение разработанного графоаналитического метода оптимизации позволило существенно повысить устойчивость резонансного режима работы вибрационной технологической машины. Полученное восьмикратное увеличение ширины резонансного пика при сохранении требуемых динамических и виброизоляционных характеристик демонстрирует потенциал предложенного подхода для решения задач повышения динамического качества резонансных вибрационных машин.

Для подготовки графических материалов использовалось программное обеспечение символьной арифметики [25].

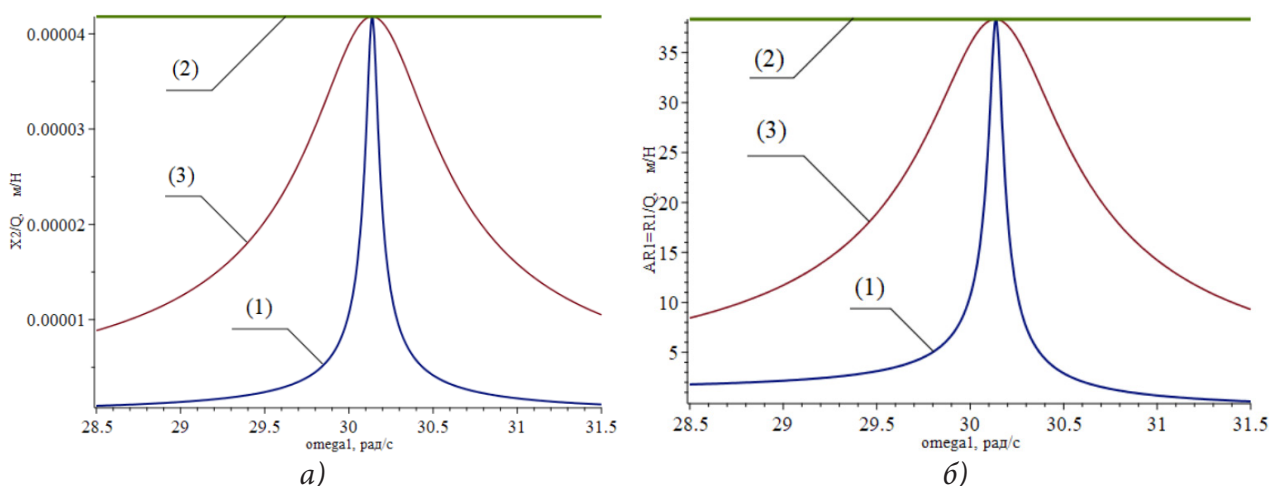


Рис. 3. Сравнение оптимальных и исходных амплитудно—частотных характеристик: а — характеристика рабочего органа (1 — исходная система, 2 — требуемый уровень амплитуды, 3 — оптимизированная система), б — опорная реакция (1 — исходная система, 2 — требуемый уровень амплитуды, 3 — оптимизированная система)

Заключение

Проведенное исследование позволило разработать метод оптимизации параметров резонансных вибрационных машин, направленный на повышение устойчивости рабочего режима без ухудшения основных эксплуатационных показателей.

Научная новизна работы заключается в комплексной постановке задачи условной оптимизации с многокритериальными ограничениями, использовании критерия ширины резонансного пика и применении методологии структурного моделирования для анализа механических колебательных систем.

Практическая значимость подтверждена результатами численного эксперимента для вибростенда уплотнения бетонных смесей. Оптимизация параметров обладает потенциальным существенным увеличением ширины резонансного пика амплитудно-частотной характеристики динамической податливости рабочего органа при сохранении требуемых значений резонансной частоты, амплитуды колебаний и коэффициента вибропередачи.

Таким образом, целенаправленное снижение добротности колебательной системы за счёт структурной перестройки её инерционно-упругих связей, а не за счёт увеличения диссипации, открывает путь к созданию робастных, широкополосных и энергоэффективных резонансных технологических машин.

Литература

1. Вибрации в технике : справочник : в 6 т. / ред. совет: В. Н. Челомей (пред.). – Москва : Машиностроение, 1981. – Т. 4 : Вибрационные процессы и машины / под ред. Э. Э. Лавенделла. – 1981. – 504 с.
2. Крюков Б. И. Динамика вибрационных машин резонансного типа / Б. И. Крюков. – Киев : Наукова думка, 1967. – 208 с.
3. Тимошенко С. П. Колебания в инженерном деле / С. П. Тимошенко. – Москва : КомКнига, 2006. – 439 с.
4. Гнездилов А. А. О реализации резонансных режимов технологических вибрационных машин / А. А. Гнездилов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – № 1. – С. 159–163.

5. *Альтшуль Г. М.* Динамика резонансной вибромашины с равночастотной подвеской рабочего органа и дебалансным возбудителем колебаний / Г. М. Альтшуль, А. М. Гуськов, Г. Я. Пановко // Обогащение руд. – 2022. – № 1. – С. 51–55.
6. *Krestnikovskiy K.* Developing system of automatic control resonant mode of a vibrating machine / K. Krestnikovskiy, G. Panovko, A. Shokhin // *Vibroengineering PROCEDIA*. – 2016. – Vol. 8. – P. 208–212.
7. *Panovko G.* Resonant adjustment of vibrating machines with unbalance vibroexciter. problems and solutions / G. Panovko, A. Shokhin // *Smart Innovation, Systems and Technologies*. – 2020. – Vol. 154. – P. 51–62.
8. *Лян И. П.* К вопросу об энергопотреблении вибрационных технологических машин / И. П. Лян, Г. Я. Пановко, А. Е. Шохин // XXXI Международная инновационная конференция молодых ученых и студентов по проблемам машиноведения (МИКМУС – 2019) : сб. тр. конф. – 2020. – С. 334–337.
9. *Лян И. П.* Математическое моделирование процесса настройки вибромашины на резонансный режим при изменении массы технологической нагрузки / И. П. Лян, Г. Я. Пановко, А. Е. Шохин // XXXIV Международная инновационная конференция молодых ученых и студентов по современным проблемам машиноведения : сб. тр. конф. – Москва, 2022. – С. 129–136.
10. *Svyshch T.* Modeling the operation of an eccentric-pendulum resonant vibration stand for testing aviation industry products / T. Svyshch, O. Lanets, P. Maistruk, I. Derevenko, I. Nazar, I. Khomych // *Vibroengineering Procedia*. – 2025. – Vol. 59. – P. 34–40. – URL: <https://doi.org/10.21595/vp.2025.25064> (дата обращения: 22.10.2025).
11. *Kapalo R.* Mathematical modeling of the operation of a resonant vibration stand with an inertial exciter and hydraulic coupling for testing aviation industry products / R. Kapalo, O. Lanets, P. Maistruk, A. Voitovich, I. Nazar, I. Khomych // *Vibroengineering Procedia*. – 2025. – Vol. 59. – P. 28–33. – URL: <https://doi.org/10.21595/vp.2025.25059> (дата обращения: 22.10.2025).
12. *Федоренко И. Я.* Система удержания вибрационной технологической машины в резонансном режиме работы / И. Я. Федоренко, С. Н. Рыбин, А. В. Штерновский // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2023. – № 12 (230). – С. 76–83.
13. *Зедгенизов В. Г.* Исследование влияния основных параметров двухмассовой колебательной системы на ее динамические характеристики / В. Г. Зедгенизов, С. Х. Файзов // *iPolytech Journal*. – 2022. – Т. 26, № 2. – С. 164–172.
14. *Зедгенизов В. Г.* Влияние точки приложения вынуждающей силы в двухмассовой колебательной системе на ее энергоэффективность / В. Г. Зедгенизов, С. Х. Файзов // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. – 2023. – Т. 20, № 1 (89). – С. 12–23.
15. *Елисеев А. В.* Графоаналитический метод синтеза параметров двухмассовой резонансной системы с заданной амплитудно-частотной характеристикой / А. В. Елисеев, А. С. Миронов // *Journal of Advanced Research in Technical Science*. – 2025. – № 49. – С. 30–36.
16. *Денисенко А. Ф.* Оценка резонансных режимов привода главного движения токарного станка с бесступенчатым регулированием / А. Ф. Денисенко, Л. Б. Гаспарова // Транспортное машиностроение. – 2022. – № 9 (9). – С. 11–21.
17. *Елисеев А. В.* Системный подход к стабилизации амплитуд в резонансных вибрационных испытаниях с учетом требований к виброизоляции / А. В. Елисеев, Н. К. Кузнецов, А. С. Миронов // Современные авиационные технологии. International Conference on Aviation Engineering : материалы XVII Междунар. науч.-практ. конф. – Иркутск, 2025. – С. 76–87.
18. *Елисеев А. В.* Разработка методов и средств управления динамическим состоянием и виброизоляцией вибрационных технологических машин / А. В. Елисеев, Н. К. Кузнецов, В. Г. Зедгенизов, А. С. Миронов // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2025. – № 32. – С. 22–29.

19. Горелик Г. С. Колебания и волны: Введение в акустику, радиофизику и оптику / Г. С. Горелик. – Москва : Физматгиз, 1959. – 570 с.
20. Лурье А. И. Операционное исчисление и его приложения в технике / А. И. Лурье. – Москва : Наука, 1959. – 368 с.
21. Елисеев С. В. Динамический синтез в обобщенных задачах виброзащиты и виброизоляции технических объектов / С. В. Елисеев, Ю. Н. Резник, А. П. Хоменко, А. А. Засядко. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2008. – 523 с.
22. *Eliseev S. V. Theory of oscillations. Structural mathematical modeling in problems of dynamics of technical objects / S. V. Eliseev, A. V. Eliseev. – Cham, 2019. – 521 p.*
23. *Eliseev A. V. Structural Mathematical Modeling Applications in Technological Machines and Transportation Vehicles / A. V. Eliseev. – Hershey, PA : IGI Global, 2023. – URL: <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-7237-8> (дата обращения: 22.10.2025).*
24. *Eliseev A. V. Mathematical Modeling in Machine Transport Dynamics / A. V. Eliseev, N. K. Kuznetsov. – IGI Global Scientific Publishing, 2026. – 330 p. – URL: <https://doi.org/10.4018/979-8-3373-0447-2> (дата обращения: 22.10.2025).*
25. Maple : [сайт]. – URL: <https://www.maplesoft.com> (дата обращения: 22.10.2025).

ИССЛЕДОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ ОБЛАЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ ДЛЯ КОМПАНИИ AC MANUFACTURING INC

А. А. Захарова

Воронежский государственный университет

Аннотация. Облачные вычисления — это бизнес-подход, который быстро меняет нашу повседневную жизнь, и в результате организации все больше заинтересованы в поиске централизованного, доступного по цене решения, обеспечивающего максимальное время безотказной работы. В этом исследовании критически анализируются преимущества и недостатки внедрения облачно-ориентированного Интернета вещей (IoT) трансформация для AC Manufacturing Inc., предприятия среднего размера, занимающегося производством автомобильных запчастей. Цель исследования — продемонстрировать интеграцию облачных IoT-решений для мониторинга и аналитики в режиме реального времени с целью оптимизации операции, что повышает эффективность производства и улучшает процесс принятия решений в режиме реального времени.

Ключевые слова: AC производство INC, обычные технологии, интернет вещей (IoT), аналитика, мониторинг, преобразование, Saas, Paas, Iaas.

Введение

В рамках этой смены парадигмы компания AC Manufacturing Inc. заменяет фрагментированные устаревшие системы облачным подходом к Интернету вещей (IoT) для унификации своей деятельности по всей стране. Запланированная модернизация предусматривает упрощение потока данных, что позволит проводить аналитику и мониторинг в режиме реального времени. Компания надеется стать лидером в области принятия решений, основанных на данных, повышения эффективности и гибкости во всех своих подразделениях за счет использования таких платформ, как Google Cloud IoT Core. Это позволит компании занять лидирующие позиции в области технологического прогресса в обрабатывающей промышленности. В этой статье рассматриваются последствия перехода к облачно-ориентированной парадигме Интернета вещей для AC Manufacturing Inc. В ней оцениваются преимущества и проблемы с учетом мнений руководства, работников предприятий, ИТ-персонала и поставщиков. Конкретные области, которые необходимо изучить, включают преимущества облачных сервисов, безопасность и соответствие требованиям, структуры облачных сервисов, виртуализацию серверов и сетей, а также сложности миграции. Реальные примеры и практический опыт используются для анализа нюансов создания облачной среды. В статье сравниваются облачные и локальные ИТ-ресурсы. Они служат ценным руководством для AC Manufacturing Inc. по принятию обоснованных решений и становлению инновационным лидером в конкурентоспособном секторе автомобильных компонентов.

1. Возможности и проблемы облачной миграции

Облачная миграция переносит данные, приложения и ИТ-процессы организации в облачную инфраструктуру. Она открывает множество возможностей и проблем. Понимание и учет этих факторов имеет решающее значение для организаций, которые пытаются воспользоваться преимуществами облачных вычислений, одновременно ограничивая потенциальные риски.

1.1. Возможности переноса ИТ-ресурсов на облачные вычисления

Облачные вычисления — это бизнес-подход, который быстро меняет нашу повседневную жизнь. В наши дни организации больше озабочены поиском централизованного, доступного по цене решения, обеспечивающего максимальное время безотказной работы [1]. Любой человек, пользующийся Интернетом, вовлечен в облачные вычисления, осознает он это или нет [2]. Все большее число мобильных пользователей теперь могут легко хранить свои мобильные данные в облаке, устраняя необходимость в ручном хранении данных [3]. Преимущества облачных вычислений включают в себя их способность предоставлять компании множество услуг, включая масштабируемость, надежность, гибкость и возможность работы из любого места [4]. Перенос данных в облако является доступным по цене, учитывая затраты, связанные с локальным оборудованием, программным обеспечением, сотрудниками, простоями и амортизацией [1, 5]. Одно из главных преимуществ для организаций - передавать свои основные инфраструктурные услуги на аутсорсинг поставщикам облачных услуг, сосредоточившись на своем основном бизнесе. Еще одним преимуществом является низкая стоимость электроэнергии. Так как облачные вычисления потребляют меньше энергии и обладают более экологичными функциями, чем локальные системы, в которых используется меньше физических материалов, то любая организация, которая хочет оставаться конкурентоспособной в современных экономических условиях, должна заботиться о целостности и надежности важнейших данных, что также должны делать поставщики облачных решений [6]. Поставщики облачных услуг обязаны гарантировать безопасность своей инфраструктуры и защиту данных и приложений своих клиентов. Используя методы шифрования, поставщики облачных услуг предлагают протокол безопасности высокого уровня для обеспечения защиты данных [7]. Сложные центры обработки данных облачных провайдеров построены с использованием многоуровневых методов обеспечения безопасности, таких как управление ключами, шифрование данных, строгий контроль доступа и проведение частых проверок безопасности [8]. Доступность этих поставщиков защищенных облачных технологий открывает перед компанией широкие возможности для перехода на облачные вычисления. Большинство поставщиков услуг позволяют предприятиям расширять свои ресурсы для удовлетворения меняющихся потребностей бизнеса, предлагая масштабируемые ИТ-ресурсы [9]. Конкретным клиентам может потребоваться быстро адаптировать свои ИТ-ресурсы. Это позволит поддерживать рост бизнеса без дорогостоящих изменений в существующей системной инфраструктуре [10]. Управление спросом на ресурсы в традиционных вычислительных системах может создавать проблемы, но использование облачных ресурсов может обеспечить жизнеспособное решение для обработки растущих рабочих нагрузок в любом приложении [1].

1.2. Проблемы, связанные с переносом ИТ-ресурсов на облачные вычисления

Процесс переноса данных из устаревшей системы в облако для управления данными и миграции создает важные проблемы, которые не следует недооценивать. Организации нелегко выбрать хорошего поставщика облачных услуг, даже после проведения SWOT-анализа (сильные и слабые стороны, возможности и угрозы). Три известные компании в облачной индустрии, а именно Google Cloud Platform (GCP), Amazon Web Services (AWS) и Microsoft Azure постоянно стремятся отличаться друг от друга. Из-за этого, компаниям следует проконсультироваться с поставщиками облачных услуг об их инструментах миграции данных, чтобы они могли перемещать данные, принимая во внимание привязку к поставщику и переносимость программного обеспечения (возможность переноса программного обеспечения с одного компьютера или системы на другую). Управление изменениями имеет важное значение для подобных проектов. Затраты могут возрасти, если потребуются обучить сотрудников работе с новой программной

платформой и системой. Кроме того, поведение сотрудников при адаптации к новой системе представляет еще одну трудность, т.е. управление изменениями должно осуществляться правильно и быстро. Следовательно, доступ к облачному контенту может быть затруднен и привести к простоям в работе. Отказ оборудования или программного обеспечения не всегда является причиной системного сбоя; эффективные ИТ-практики и процедуры инфраструктуры являются основой цифровой трансформации [11, 12]. В ходе миграции данных и процессов необходимо разработать, внедрить и контролировать план поддержки изменений. Многие организации по всему миру интегрируют облачные вычисления в качестве фундаментального элемента своей технологической стратегии [13]. Но стоит учитывать, что стремительное внедрение облачных технологий, модели анализа затрат и выгод, которые показывают влияние на бизнес, остаются существенным фактором риска. Перед переходом на облачные технологии может быть сложно перестроить существующую ИТ-инфраструктуру (сервер, сеть и хранилище) в соответствии с требованиями. Облачные провайдеры с оплатой по мере использования возлагают на своих пользователей переменные издержки, зависящие от количества обрабатываемых ими транзакций и количества пользователей. Предприятия не решаются платить больше за управление, дополнительные затраты на пропускную способность и приобретение систем. Лидеры облачного рынка рекламируют свою новейшую модель защиты данных. Нарушения безопасности данных, низкое качество услуг, таких как круглосуточная поддержка со стороны поставщиков, а также плохое резервное копирование и восстановление данных, являются одними из опасений пользователей при переходе на облачные вычисления. Поскольку облачные данные предоставляют доступ из любого места, личная и деловая информация может быть скомпрометирована в результате взлома или утечки, вызванных слабой защитой. Организации имеют полный контроль и полномочия в отношении локального размещения своих данных. Поскольку хакеры часто нацеливаются на крупные центры обработки данных, они могут чувствовать себя более уязвимыми при переходе на облако.

2. Безопасность, соответствие требованиям и риски, связанные с переносом ИТ-ресурсов в облачные вычисления

2.1. Безопасность

Клиенты считают облачную безопасность одной из самых серьезных проблем. Использование сервиса требует тщательного изучения, чтобы понять потенциал угрозы и ее влияние на предприятия. Например, анализ показал, что с 2011 по 2015 год процент незавершенных работ по обеспечению безопасности на основе облачных технологий ежегодно увеличивался на 10 %. Ниже перечислены существенные угрозы и проблемы современной облачной безопасности. Возрастает потребность в проведении углубленных исследований в области облачной безопасности для поиска эффективных решений проблем. Для обеспечения доступа к данным в облачных инструментах следует использовать более высокие привилегии. Это повысит безопасность облачных вычислений. Национальный институт стандартов и технологий (NIST) наметил важные шаги, которые позволят повысить планку облачных вычислений и доступа к облачным сервисам при сохранении высочайшего уровня безопасности данных.

2.2. Соответствие

Соблюдение отраслевых законов и требований может быть сложной задачей. Поставщики облачных услуг должны предоставлять гарантии и ресурсы, чтобы помочь предприятиям в удовлетворении этих потребностей. Данные должны храниться в определенных географических зонах в соответствии с конкретными правилами. Иногда бывает непросто обеспечить

решение проблем, связанных с юрисдикцией, и соблюдения требования к хранению данных. Облачные среды нуждаются в надежных аудиторских журналах и системах мониторинга для соответствия требованиям. Важно гарантировать видимость действий пользователей и изменений в системе.

2.3. Риск

Чрезмерная зависимость от одного поставщика облачных услуг может привести к рискам. Компания может столкнуться с трудностями при плавной миграции данных и приложений, если решит сменить поставщика. Попытка перехода в облако без четкого, всестороннего плана является одним из наиболее серьезных рисков, связанных с этим процессом. При переходе в облако организация должна выбрать, какую облачную платформу или платформы использовать, как распределять ИТ-ресурсы и как развертывать приложения. Затраты, время и сложность процесса миграции в облако могут усугубиться, если эти и другие важные решения не будут приняты заранее. Неправильный выбор может представлять серьезную угрозу безопасности, например, при обработке или хранении личных данных в общедоступной облачной среде.

3. Структура, сервисы и модели развертывания

Модель развертывания и выбор сервиса в первую очередь определяют степень уязвимости платформы облачных вычислений. Поэтому три модели доставки и три модели развертывания считаются отраслевыми стандартами. Последствия для безопасности различны для каждой из этих трех моделей. Краткое объяснение последствий каждой из этих моделей для безопасности приведено в следующих подразделах:

3.1. Модели облачных сервисов

В отрасли приняты три модели облачных сервисов: Программное обеспечение как услуга (SaaS), платформа как услуга (PaaS) и инфраструктура как услуга (IaaS). Это проиллюстрировано в табл. 1.

Таблица 1

Тип услуги	Выгоды	Проблемы	Риски
Инфраструктура как услуга (IaaS)	Основные компоненты облачных вычислений, такие как серверы, средства виртуализации, сетевая инфраструктура и доступное по сети хранилище, позволяющее пользователям запускать любое программное обеспечение, предоставляются инфраструктурой как услугой (IaaS).	Большая зависимость от внешних поставщиков. Проблемы с нарушением безопасности [26].	Как поставщики облачных услуг, так и пользователи облака несут равную ответственность за меры безопасности. В этой модели существуют уровни и разделения рисков. Также присутствует модель совместного риска.
Платформа как услуга (PaaS)	Платформа как услуга (PaaS) является популярным вариантом для предприятий, которым требуется упрощенная	Возможность привязки к поставщику является существенным препятствием, связанным с платформой как услугой	Нарушение безопасности данных и конфиденциальности является одним из основных рисков, связанных с

	и эффективная разработка и развертывание приложений, благодаря своим преимуществам, которые включают оптимизированную среду разработки, интегрированные сервисы, экономичность, повышенную производительность, быстрое развертывание и масштабируемость.	(PaaS). Поставщики платформы как услуги (PaaS) предоставляют определенный набор инструментов, платформ разработки и сервисов, которые могут быть эксклюзивными для их платформы или являться собственностью. Таким образом, переход к другому поставщику услуг PaaS или внутренняя разработка приложения могут оказаться затруднительными, если компания разрабатывает и внедряет приложения, использующие эти специфичные для платформы функции.	платформой как сервисом (PaaS). Конфиденциальные данные часто обрабатываются и хранятся в средах PaaS, которые организации используют для разработки, развертывания и управления приложениями. Несанкционированный доступ, утечка и потеря данных могут быть вызваны несколькими факторами, включая недостаточный контроль доступа, недостатки в инфраструктуре PaaS и неправильные конфигурации.
Программное обеспечение как услуга (SaaS)	Многие компании находят модель «программное обеспечение как услуга» (SaaS) привлекательной благодаря ее многочисленным преимуществам, включая автоматическое обновление, масштабируемость, доступность, экономическую эффективность и свободу концентрироваться на ключевых компетенциях.	Сложность заключается в обеспечении того, чтобы облачный провайдер применял надежные меры безопасности, такие как шифрование, контроль доступа и частые проверки безопасности. Организации также должны оценить процедуры обработки данных поставщиком, соблюдение законов о защите данных и механизмы реагирования в случае нарушения безопасности. Одной из главных проблем, связанных с моделью SaaS, по-прежнему остается поиск правильного баланса между удобством и безопасностью данных.	Зависимость от надежности и стабильности поставщика программного обеспечения как услуги (SaaS) является основным риском, связанным с SaaS. Время простоя поставщика, перебои в обслуживании или простои в работе немедленно влияют на доступ пользователей к приложению SaaS. В это время предприятия, которые в значительной степени полагаются на основные SaaS-приложения, могут испытывать операционные трудности и снижение производительности.

3.2. Модели облачного развертывания

Модели облачного развертывания можно условно разделить на три типа [24, 25]. Они бывают гибридными, общедоступными и частными. Это показано в табл. 2.

Таблица 2

Тип услуги	Выгоды	Проблемы	Риски
Частное облако	<p>Модель развертывания в частном облаке обеспечивает повышенную безопасность, индивидуализацию, функциональность сети, предсказуемое выставление счетов, масштабируемость и соблюдение нормативных требований. Благодаря этим функциям — это желанная альтернатива для компаний, предъявляющих повышенные требования к безопасности и контролю.</p>	<p>К проблемам безопасности относятся высокие затраты на внедрение и управление, необходимость в специальных знаниях и управлении уязвимостями. Стоимость и окупаемость инвестиций являются важными факторами в этой модели развертывания. Внедрение системы безопасности, как правило, основывается на оценке рисков, что означает неполную защиту.</p>	<p>К числу связанных с этим рисков относятся, высокие затраты на внедрение и обслуживание. Для создания и поддержки инфраструктуры частного облака необходимы значительные капитальные вложения в оборудование, программное обеспечение и квалифицированный персонал. Компания несет ответственность за постоянное техническое обслуживание, модификацию и обеспечение масштабируемости инфраструктуры, что может привести к дополнительным расходам в будущем.</p>
Публичное облако	<p>Модель общедоступного облака является привлекательным выбором для различных отраслей промышленности. Оно используется благодаря своим преимуществам: масштабируемости, экономичности, глобальной доступности, меньшим затратам на обслуживание, быстрому развертыванию, эластичности и доступу к передовым сервисам.</p>	<p>Возросшие проблемы безопасности и конфиденциальности, связанные с совместным использованием ресурсов и инфраструктуры многочисленными пользователями, представляют собой серьезное препятствие. Многопользовательская архитектура общедоступных облаков увеличивает вероятность утечки данных, нежелательного доступа и возможного раскрытия личных данных.</p>	<p>Потенциальная угроза конфиденциальности данных и соблюдению нормативных требований является основным риском, связанным с общедоступными облаками. Проблемы, связанные с изоляцией данных и возможностью нежелательного доступа, возникают, когда конфиденциальные данные хранятся в мультитенантной среде. Предприятия, работающие в строго регулируемых секторах или областях, сталкиваются с трудностями при соблюдении отраслевых правил, законов о защите данных и других юридических обязательств.</p>

Гибридное облако	Несмотря на то, что существует риск нарушения конфиденциальности данных и соблюдения нормативных требований, стратегическое использование общедоступных облаков имеет свои преимущества, включая соблюдение международных стандартов соответствия, улучшенные меры безопасности, доступ к знаниям и ресурсам, эффективное управление соответствием требованиям и возможность хранения данных.	Зависимость от поставщика облачных услуг является одной из основных проблем, связанных с общедоступными облаками. Предприятия частично отказываются от контроля над поставщиком в отношении управления данными, конфигураций сервисов и инфраструктуры. Эта зависимость может представлять проблему, если предприятия не могут оптимизировать или настроить сервисы в соответствии со своими уникальными требованиями.	Зависимость от сетевого подключения и возможные проблемы с надежностью представляют серьезную опасность для общедоступных облаков. Любые сбои или замедления в подключении к Интернету могут повлиять на доступность и функциональность облачных приложений, поскольку доступ пользователей к ресурсам и службам в общедоступных облаках зависит от ИТ.
------------------	---	--	---

4. Концепция виртуализации в контексте серверов, систем хранения данных и сетевых систем

Виртуализация в контексте облачных вычислений выходит за рамки отдельных элементов, таких как серверы, хранилища и сети. Она включает в себя целую стратегию, в рамках которой эти компоненты динамически назначаются, агрегируются и абстрагируются в соответствии с потребностями. Основа облачных сервисов создается путем объединения средств виртуализации серверов, систем хранения данных и сетей, в результате чего создается комплексная и адаптируемая среда. Сетевая виртуализация необходима для создания универсальной и гибкой сетевой инфраструктуры в облаке. Несколько виртуальных сетей могут быть построены поверх единой физической сети за счет абстрагирования сетевых ресурсов. Такое разделение повышает безопасность, изоляцию и эффективность использования сетевых ресурсов.

Основная функция серверной виртуализации заключается в разделении физического сервера на несколько виртуальных серверов, каждый из которых работает отдельно. Это позволяет эффективно распределять вычислительные ресурсы и оптимизировать использование аппаратного обеспечения. Пользователи могут быстро адаптироваться к изменяющимся требованиям к рабочей нагрузке и увеличивать или уменьшать масштаб, предоставляя или отменяя предоставление ресурсов виртуальным машинам. Для сравнения, целью виртуализации систем хранения данных является объединение физических ресурсов хранилища в единый управляемый пул. Благодаря этой абстракции пользователи могут динамически выделять или не выделять хранилище в зависимости от своих потребностей, что позволяет эффективно использовать имеющуюся емкость. Это делает управление данными более доступным, повышает гибкость и снижает затраты. Поставщики облачных услуг достигают гибкости и масштабируемости, внедряя виртуализацию в различных областях. Пользователям больше не нужно беспокоиться о сложностях физической инфраструктуры при корректировке уровней ресурсов в соответствии с изменениями спроса. Такое динамическое распределение ресурсов позволяет поставщикам облачных услуг оптимизировать использование ресурсов, повышать производительность и снижать операционные расходы. Таким образом, основой парадигмы облачных вычислений является виртуализация, которая предлагает гибкие, масштабируемые и доступные по цене решения для удовлетворения различных потребностей пользователей.

Заключение

В этой статье рассматриваются возможности, преимущества и проблемы, связанные с переносом ИТ-операций AC Manufacturing Ltd с локальных ИТ-ресурсов в облачную среду. Затрагиваются безопасность, соответствие требованиям и риски, связанные с этим переносом. Были рассмотрены структура, сервисы и модели развертывания, такие как IaaS, PaaS, SaaS, публичное облако, частное облако и гибридное облако, с акцентом на преимущества, проблемы и риски, связанные с намерениями компании по модернизации ИТ-инфраструктуры.

Ожидается, что эта миграция значительно повысит эффективность операций и облегчит быстрое принятие решений, поскольку все операции будут подключены к облачной среде. Наконец, было проведено сравнение между облачной средой и локальной ИТ-инфраструктурой, чтобы дать четкое представление о предполагаемом переходе.

Литература

1. *Iqbal A., Colomo-Palacios R.* Key opportunities and challenges of data migration in cloud: results from a multivocal literature review // *Procedia Computer Science*. 2019. – 164. – P. 48–55.
2. *Adeniran A. O., Folorunso Segun S., Babawole F. O., Victoria M. O.* (2024). Adoption of fourth industrial revolution technologies in the construction sector: Evidence from previous studies // *International Journal of Innovation in Engineering*. – 2024. – 4(3). – P. 1–18.
3. *Goudarzi M., Ilager Sh., Buyya R.* Cloud computing and internet of things: recent trends and directions // In: *New Frontiers in Cloud Computing and Internet of Things*. – 2024. – Springer. [Электронный ресурс]. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-05528-7_1 (дата обращения: 18.10.2025)
4. *Stantchev V., Colomo-Palacios R., Niedermayer M.* Cloud computing based systems for health-care // *The Scientific World Journal*. – 2014.
5. *Iugbami O. J., Tolu O. O., Abdulmateen G. A., Odeyinka Y. V.* Cybercrime and cyber-security in Nigeria // *Management Analytics and Social Insights*. – 2025. – 2(3). – P. 230–244.
6. *Singh A.* Is big data the new black gold? – 2013. – [Электронный ресурс]. URL: <https://just-tech.ssrc.org/citation/is-big-data-the-new-black-gold/> (дата обращения: 27.10.2025)
7. *Gholami M. F., Daneshgar F., Low G., Beydoun G.* Cloud migration process—a survey, evaluation framework, and open challenges // *Journal of Systems and Software*. – 2016. – 120. – P. 31–69.
8. *Misra S. C., Doneria K.* Application of cloud computing in financial services: An agent-oriented modelling approach // *Journal of Modelling in Management*. – 2018. – 13(4). – P. 994–1006.
9. *Bazi R. B., Hassanzadeh H., Moeini A.* A comprehensive framework for cloud computing migration using Meta-synthesis approach // *Journal of Systems and Software*. – 2017. – 128. – P. 87–105.
10. *Mishra N., Kumar N.* (2015). Load balancing techniques: Need, objectives and major challenges in cloud computing — a systematic review // *International Journal of Computer Applications*. – 2017. – 131(18). – P. 11–19.
11. *Adeniran A. O.* (2017). Idea of smart development in the fourth industrial revolution emphasis on smart road // *SF J. Telecommun.* – 2017. – 1. – P. 1–6. URL: <https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/59812915/2017> (дата обращения: 18.10.2025)
12. *Cardoso A., Moreira F., Simões P.* A survey of cloud computing migration issues and frameworks // In: *New Perspectives in Information Systems and Technologies*. – 2014. – Vol. 1. – P. 161–170. Springer.
13. *Khan N., Al-Yasiri A.* (2016). Framework for cloud computing adoption: a road map for SMEs to cloud migration. «ArXiv preprint arXiv:1601.01608», 1–15. URL: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1601.01608> (дата обращения: 27.10.2025)

КЛАССИФИКАЦИЯ СТРУКТУР ЭКСПЕРТНЫХ ГРУПП НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА

Ю. С. Зырянова

Воронежский государственный университет

Аннотация. Цель исследования — разработка системы критериев для классификации структур экспертных групп на основе спектрального анализа графов. В качестве модели рассматривается неориентированный граф с целочисленным спектром, где вершины соответствуют экспертам, а ребра — согласованности их мнений. Предложены три показателя: плотности связей, группируемости экспертов и доминирования максимальной подкоалиции. На их основе введен комплексный показатель, оценивающий потенциал группы для выработки коллективного решения. Подход проиллюстрирован на примерах графов малой размерности.

Ключевые слова: экспертная группа, спектр графа, целочисленный спектр, матрица смежности, классификация структур, согласованность мнений, коалиция экспертов, клика графа, компонента связности.

Введение

Современные условия систем управления характеризуются возрастающей сложностью объектов, высокой неопределенностью внешней среды и необходимостью обработки больших объемов информации. В таких условиях эффективность принятия решений во многом зависит от результатов коллективных экспертных оценок [1], а согласованность этих оценок определяет внутреннее устройство экспертного сообщества. Анализ согласованности мнений и выявление базовых структур в экспертных группах представляет собой актуальную научную задачу, которая может быть решена методами теории графов.

В практике моделирования экспертных систем наблюдаются различные типы организации: полное согласие между всеми участниками, наличие нескольких групп с внутренним согласием и межгрупповыми разногласиями, иерархические системы с центральным экспертом, отсутствие существенной согласованности между экспертами [2]. Для анализа таких структур перспективным является подход, основанный на исследовании спектральных характеристик графов, обладающих свойством целочисленного спектра.

Целочисленность собственных значений матрицы смежности является важным структурным свойством, которое позволяет однозначно определять базовые типы структур графа [3]. Это свойство строго ограничивает возможные конфигурации связей между вершинами, что делает графы с целочисленным спектром естественными математическими моделями для описания структурных особенностей, наблюдаемых в экспертных группах и других сложных системах.

Целью исследования является разработка системы критериев для классификации структуры экспертных групп на основе анализа спектральных характеристик графов. В работе рассматриваются графы с целочисленным спектром, которые моделируют различные способы организации взаимодействия экспертов.

1. Спектральный подход к количественной оценке согласованности в экспертных группах

1.1. Основные определения

Будем рассматривать неорграфы $G = (X, U)$ без петель и параллельных ребер, где множество вершин X соответствует экспертам, а множество ребер U отражает связи между ними. При этом ребро $(x_i, x_j) \in U$ означает согласованность мнений экспертов x_i и x_j .

Граф $G = (X, U)$ однозначно определяется матрицей смежности $A = (a_{ij})_{n \times n}$, где

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если суждения экспертов } x_i, x_j \text{ согласованы,} \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases} \quad (1)$$

Определение 1. Совокупность n собственных значений $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ матрицы A называется спектром графа G , при этом $Sp(G) = Sp(A) = \{\lambda_1, \dots, \lambda_n\}$.

Каждому собственному значению λ_i соответствует собственный вектор x^i , который является решением уравнения $(\lambda_i I - A)x^i = 0$.

Определение 2. Максимальное собственное значение называется индексом графа и обозначается $r(G) = \max_i \{\lambda_i\}$.

Определение 3. Комплексная матрица $A = (a_{ij})$ называется эрмитовой (самосопряженной), если $A^T = \bar{A}$, т. е. $a_{ji} = \bar{a}_{ij}$.

Все собственные значения эрмитовой матрицы являются действительными числами. Матрица смежности A неорграфа G является симметричной и, следовательно, эрмитовой, поэтому спектр графа G содержит лишь действительные числа из промежутка $[-r, r]$.

Если граф G содержит p компонент связности G_1, \dots, G_p , то он представим в виде их прямой суммы $G = G_1 \oplus \dots \oplus G_p$, тогда $Sp(G) = \bigcup_{i=1}^p Sp(G_i)$.

В работе рассматриваются неориентированные графы, обладающие целочисленным спектром. Приведем их ключевые свойства [3, 4]. Далее используются стандартные обозначения: I_n — вполне не связный граф, K_n — полный граф, K_{n_1, n_2} — полный двудольный граф C_n — простой цикл, P_n — простая цепь.

1) граф I_n , состоящий из n изолированных вершин, имеет спектр из n нулей;

2) спектр полного графа K_n всегда является целочисленным: $Sp(K_n) = \{n-1, -1, \dots, -1\}$.

3) спектр полного двудольного графа K_{n_1, n_2} — $Sp(K_{n_1, n_2}) = \{\sqrt{n_1 n_2}, -\sqrt{n_1 n_2}, 0, \dots, 0\}$ является целочисленным тогда и только тогда, когда существует натуральное число m , такое что $n_1 \cdot n_2 = m^2$.

4) спектр графа $g = (x, \emptyset)$, состоящего из единственной вершины x , содержит единственное собственное значение 0.

5) Простой цикл C_n на n вершинах имеет целочисленный спектр, состоящий из $\lambda_i = 2 \cos\left(\frac{2\pi}{n} i\right)$ ($i = \overline{1, n}$), только при $n = 3, 4, 6$.

1.2. Показатели для оценки различных типов согласованности

Определение 4. Коалицией экспертов назовем компоненту связности графа G_E экспертной группы. Каждая компонента связности графа G_E является объединением клика, причем эти клики могут быть выделены как подкоалиции внутри коалиции.

На рис. 1. показана одна коалиция, состоящая из вершин графа $\{1, 2, 3, 4, 5\}$ и 3 подкоалиции, максимального размера (максимальные клики): $\{1, 4, 5\}$, $\{2, 4, 5\}$ и $\{3, 4, 5\}$.

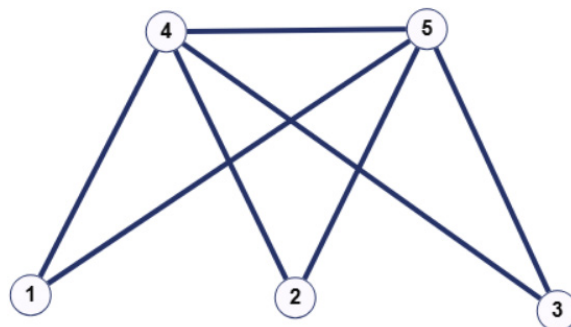


Рис. 1. Граф с 5-ю вершинами

Предложим систему показателей для оценки согласованности экспертной группы E из n экспертов, структура которой описывается графом G_E с целочисленным спектром, а компоненты связности графа G_E являются коалициями.

1. $C_1 = \frac{r(G_E)}{n-1}$ — показатель плотности связей экспертной группы, где $r(G)$ — максимальное собственное значение (индекс графа), n — количество экспертов. C_1 меняется в диапазоне от 0 до 1, при этом $C_1 = 0$ означает отсутствие связей между экспертами, а $C_1 = 1$ — максимально возможную плотность связей в группе.

2. $C_2 = \frac{n-p}{n-1}$ — показатель группированности экспертов, где p — количество компонент связности. Диапазон изменения значений $C_2 \in [0,1]$, где значения $0 < C_2 < 1$ показывают степень разделения на изолированные группы. $C_2 = 0$ — каждый эксперт в отдельной компоненте ($p = n$), $C_2 = 1$ — все эксперты в одной коалиции ($p = 1$).

3. $C_3 = \frac{s-1}{n-1}$ — показатель доминирования максимальной подкоалиции, где s — размер максимальной клики в графе. При $C_3 = 1$: вся экспертная группа представляет собой одну сплочённую подкоалицию (граф полный), то есть абсолютное единство мнений, при $C_3 \rightarrow 0$: в группе нет крупных сплочённых ядер, максимальная группа полного согласия очень мала. Если $0,5 \leq C_3 < 1$, то в группе есть влиятельное ядро. Чем ближе значение показателя к 1, тем это ядро больше и тем больше у него потенциал для продвижения своего согласованного мнения.

Утверждение 1. Для экспертной группы, описываемой графом с целочисленным спектром, имеют место следующие свойства:

1. Если $C_1 = 1$ или $C_3 = 1$, то все показатели C_1, C_2, C_3 равны 1;
2. Если $C_2 = 1$, то это не гарантирует равенства $C_1 = 1$ и $C_3 = 1$.

Доказательство. Проверим случаи:

А) Пусть $C_1 = 1$, тогда $r(G_E) = n-1$. Это выполняется только для полного графа K_n .

Для полного графа K_n : $p = 1$ (одна компонента связности) и $s = n$, отсюда $C_3 = 1$.

Б) Пусть $C_2 = 1$, тогда $n-p = n-1 \rightarrow p = 1$, то есть все эксперты в одной компоненте связности, но это не означает, что граф полный (контрпример: граф-звезда).

В) Пусть $C_3 = 1$, тогда $s-1 = n-1 \rightarrow s = n$. Это означает, что максимальная клика включает всех экспертов, то есть граф полный. А для полного графа K_n : $C_1 = C_2 = 1$.

Для оценки структуры экспертной группы, характеризуемой графом G_E с целочисленным спектром, введем комплексный показатель на основе взвешенной суммы частных критериев C_1, C_2, C_3 .

Определение 5. Величину потенциала для выработки коллективного решения экспертной группы назовем величиной, определяемую по формуле:

$$CB = \beta_1 C_1 + \beta_2 C_2 + \beta_3 C_3, \quad (2)$$

где $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ — весовые коэффициенты, отражающие относительную важность каждого частного показателя, причем $\beta_i \in [0,1]$ для каждого i , $\beta_1 + \beta_2 + \beta_3 = 1$.

Использование весов позволяет гибко настраивать оценку в зависимости от целей конкретной экспертизы. Например, если критически важно выявить общее единство, увеличивается вес β_1 ; если задача — найти консенсус между сформировавшимися группами, приоритет отдается весу β_2 ; если необходимо опереться на самое сплочённое ядро экспертов, повышается вес β_3 .

Утверждение 2. Мнения в экспертной группе являются абсолютно согласованными (граф G_E является полным) тогда и только тогда, когда $CB = 1$.

Доказательство. Если $G_E = K_n$, то $C_1 = C_2 = C_3 = 1$. Следовательно, $CB = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 = 1$.

Обратно, если $CB = 1$, то, учитывая ограничения на веса и критерии, это возможно лишь когда $C_1 = C_2 = C_3 = 1$, что соответствует полному графу.

Утверждение 3. Мнения в экспертной группе являются абсолютно несогласованными (каждый эксперт представляет собой изолированную вершину) тогда и только тогда, когда $CB = 0$.

Доказательство. Если граф вполне несвязный (I_n), то $C_1 = C_2 = C_3 = 0$. Следовательно, $CB = 0$. Обратное также верно.

1.3. Классификация структур экспертных групп на основе спектрального анализа

Для демонстрации практической значимости предложенных критериев рассмотрим характерные структуры экспертных групп, представленные графами на четырех вершинах с целочисленными спектрами. Для всех примеров будем использовать равные весовые коэффициенты: $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \frac{1}{3}$.

Пример 1. На рис. 2 представлен граф, спектр матрицы смежности которого имеет вид: $Sp(G_E) = \{2, -1, -1, 0\}$.

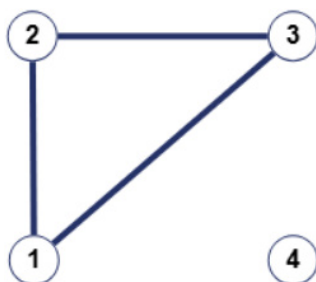


Рис. 2. Граф, состоящий из ядра и изолированной вершины

Расчет предложенных показателей дает следующие результаты: $C_1 = 0,67$, $C_2 = 0,67$, $C_3 = 0,67$, $CB = 0,67$. Таким образом, анализ структуры показывает, что в группе выделяется сильное ядро из трех экспертов и один изолированный эксперт. Комплексный показатель CB свидетельствует о высоком потенциале группы для выработки коллективного решения.

Пример 2. Для графа, представленного на рис. 3, спектр имеет вид $Sp(G_E) = \{1, 1, -1, -1\}$. Расчетные значения критериев: $C_1 = 0,33$, $C_2 = 0,67$, $C_3 = 0,33$; комплексный показатель $CB = 0,44$.

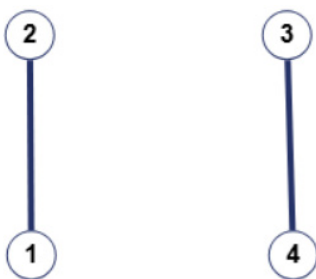


Рис. 3. Граф из двух изолированных пар экспертов

Интерпретация результатов: экспертная группа разделена на две изолированные коалиции. Низкие значения C_1 и C_3 свидетельствуют о слабой общей согласованности и отсутствии доминирующего ядра. Необходима организация диалога между конфликтующими группами.

Пример 3. Рассмотрим граф на рис. 4. Его спектр $Sp(G_E) = \{2, 0, 0, -2\}$ соответствует следующим значениям показателей: $C_1 = 0,67$, $C_2 = 1$, $C_3 = 0,33$, $CB = 0,67$.

Интерпретация результатов: группа сохраняет связность, но разделена на две подкоалиции с различающимися мнениями. Значение CB указывает на возможность достижения общего согласия при наличии координатора, способного помочь участникам прийти к согласию.

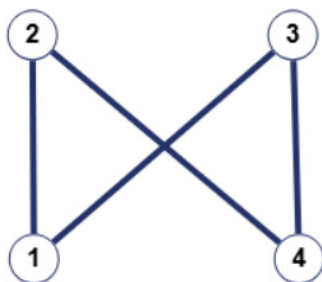


Рис. 4. Полный двудольный граф

Пример 4. Следующим объектом анализа выступает полный граф на рис. 5 со спектром $Sp(G_E) = \{3, -1, -1, -1\}$. Вычисленные показатели принимают значения: $C_1 = 1, C_2 = 1, C_3 = 1, CB = 1$.

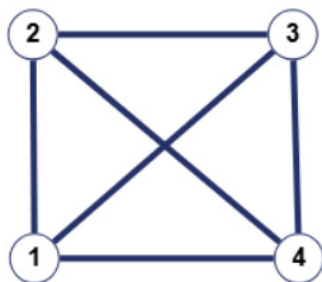


Рис. 5. Полный граф

Интерпретация результатов: группа демонстрирует абсолютное структурное единство. Все эксперты имеют попарно согласованные суждения, что создает идеальные условия для выработки коллективного решения.

Заключение

В работе предложен и обоснован спектральный подход к анализу и классификации структур экспертных групп. Ключевым результатом является разработка системы критериев (C_1, C_2, C_3) и комплексного показателя (CB), которые позволяют количественно оценить внутреннюю структуру сообщества экспертов и его потенциал для выработки согласованного решения. Практическая применимость предложенного подхода была подтверждена анализом типовых структур, представленных графами с целочисленным спектром. Результаты показали, что разработанные критерии эффективно определяют различные конфигурации экспертных групп.

Литература

1. Обзор существующих в научно-технической сфере экспертных технологий (из опыта работы отечественных экспертных систем) / Ю. Л. Рыбаков, В. П. Голубев, Н. А. Дивуева [и др.] // Инноватика и экспертиза : научные труды ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ. – 2012. – № 2(9). – С. 173–182.
2. Литвак Б. Г. Экспертные технологии в управлении / Б. Г. Литвак. – Москва : Дело, 2004. – 400 с.
3. Цветкович Д. Спектры графов. Теория и применение / Д. Цветкович, М. Дуб, Х. Захс. – Киев : Наукова думка, 1984. – 384 с.
4. Harary F. Which graphs have integral spectra / F. Harary, A. Schwenk // Graphs and Combinatorics. – 1974. – P. 45–51.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ НЕЧЕТКИХ ЭКСПЕРТНЫХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО СРОКАМ НАЧАЛА РАБОТ В РАМКАХ РЕСУРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЕКТА

Е. В. Иванова, Т. В. Азарнова

Воронежский государственный университет

Аннотация. В предложенной статье рассматривается проблема планирования ресурсов, требуемых для реализации проекта в условиях неопределенности. Авторами предлагается алгоритм обработки нечетких экспертных рекомендаций по срокам начала работ, направленный на ресурсную оптимизацию проекта. В основе алгоритма лежит применение аппарата теории нечетких множеств для моделирования временных параметров работ. Алгоритм позволяет минимизировать пиковую потребность в ресурсах за счет варьирования моментов начала работ в пределах ранних и поздних сроков, рассчитанных методом критического пути. Предложенный авторами подход направлен на снижение рисков перераспределения ресурсов и повышение устойчивости календарных планов. Представленное решение актуально для управления сложными проектами с высокой степенью неопределенности.

Ключевые слова: критический путь сетевого графа, моделирование сроков начала проекта, нечеткие временные параметры работ, оптимальное распределение ресурсов, экспертные оценки.

Введение

В современных условиях растущей сложности проектов особое значение приобретает эффективное планирование и оптимизация ресурсов.

Именно в условиях высокой неопределенности временных параметров работ актуальными становятся методы, учитывающие вариативность сроков выполнения операций для достижения устойчивого календарного плана.

В ряде научных исследований предложены подходы к решению задачи ресурсной оптимизации, основанные на теории нечетких множеств, которые позволяют моделировать временные параметры проекта и использовать экспертные оценки для задания интервалов начала работ в пределах ранних и поздних сроков. Применение нечетких трапециевидных или треугольных чисел для экспертного моделирования моментов начала работ позволяет учитывать вариативность сроков и минимизировать пиковую потребность в ресурсах, что снижает риски перераспределения и повышает устойчивость планов. Подобные механизмы актуальны для сложных проектов с высоким уровнем неопределенности и способствуют оптимизации распределения ограниченных ресурсов в рамках календарно-сетевого планирования [1–4].

Описанный в данной работе подход базируется на оценке альтернативных вариантов экспертных рекомендаций по срокам начала работ и поддержке оптимального с точки зрения привлечения дополнительных ресурсов варианта. По каждой работе оценивается вероятность реализации данной работы в каждый момент времени и с учетом данной вероятности оценивается средняя ожидаемая потребность в ресурсах суммарно по всем работам. Дается рекомендация поддержать рекомендации того эксперта, для которого потребность в течение всего срока реализации проекта в дополнительных ресурсах будет минимальной.

1. Алгоритм ресурсной оптимизации проекта на основе нечетко заданных сроков начала выполнения работ

1. Используя алгоритм критического пути определить ранние и поздние сроки начала $[t_{p.n.}, t_{n.n.}]$ и окончания $[t_{n.n.}, t_{n.o.}]$ выполнения работы.

2. Из перечня всех работ проекта выбирается следующая (по порядку) работа, для которой необходимо провести оценку.

Если все работы проекта были оценены, то перейти к шагу 15, иначе перейти к шагу 3.

3. Если работа расположена на критическом пути ($t_{p.n.} = t_{n.n.} = t_{нач.}$), то экспертные рекомендации не запрашиваются и делается вывод о необходимости планирования полного объема ресурсов на весь период выполнения работ в рамках интервала $[t_{нач.}, t_{конеч.}]$ и перейти к шагу 14. Иначе перейти к шагу 4.

4. Для времени начала выполнения работы эксперт формирует нечеткое трапециевидное число расположенное внутри модальный отрезка $[\hat{t}_{p.n.}, \hat{t}_{n.n.}]$ такое, что

$$t_{p.n.} < \hat{t}_{p.n.} < \hat{t}_{n.n.} < t_{n.n.}. \quad (1)$$

Для построение нечеткой вероятности задается значение параметра λ , в соответствии с условием $0 \leq \lambda \leq 1$.

5. На основании заданного нечеткого времени начала выполнения работы и с учетом сдвига на длительность ее выполнения формируется нечеткое трапециевидное представление времени окончания работы, в соответствии с формулой (2):

$$t_{окончания} = t_{начала} \text{timeshift } d_i, \quad (2)$$

где $t_{начала}$ — нечеткое начало выполнения i -й работы, d_i — продолжительность выполнения i -й работы, $t_{окончания}$ — нечеткое окончание выполнения i -й работы.

6. На основе заданных нечетких значений начала и окончания выполнения i -й работы вычисляется вероятность выполнения данной работы в момент времени t .

Если $t_{p.n.} = \hat{t}_{p.n.}$ и $t_{n.n.} = \hat{t}_{n.n.}$, то перейти к шагу 7.

Иначе если $t_{p.n.} = \hat{t}_{p.n.}$ и $t_{n.n.} \neq \hat{t}_{n.n.}$, то перейти к шагу 8.

Иначе если $t_{p.n.} \neq \hat{t}_{p.n.}$ и $t_{n.n.} = \hat{t}_{n.n.}$, то перейти к шагу 9.

Иначе перейти к шагу 10.

7. Если $t_{p.n.} = \hat{t}_{p.n.}$ и $t_{n.n.} = \hat{t}_{n.n.}$, то

а. Если $t_{p.n.} < t_{p.o.} \leq t_{n.n.}$, то вероятность определяется по формуле (3):

$$p(t) = \begin{cases} \lambda, & \text{если } t \in [t_{p.n.}, t_{n.o.}] \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}. \quad (3)$$

Перейти к шагу 11.

б. Если $t_{p.o.} > t_{n.n.}$ то вероятность определяется по формуле (4):

$$p(t) = \begin{cases} \lambda, & \text{если } t \in [t_{p.n.}, t_{n.n.}] \\ 1, & \text{если } t \in [t_{n.n.}, t_{p.o.}] \\ \lambda, & \text{если } t \in (t_{p.o.}, t_{n.o.}] \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}. \quad (4)$$

Перейти к шагу 11.

8. Если $t_{p.n.} = \hat{t}_{p.n.}$ и $t_{n.n.} \neq \hat{t}_{n.n.}$, то

а. Если $\hat{t}_{n.n.} \leq t_{p.o.} \leq t_{n.n.}$, то вероятность определяется по формуле (5):

$$p(t) = \begin{cases} \lambda, & \text{если } t \in [t_{p.n.}, \hat{t}_{n.n.}] \\ \frac{1}{t_{n.n.} - \hat{t}_{n.n.}} \left((t - \hat{t}_{n.n.}) + (t_{n.n.} - t)\lambda \right), & \text{если } t \in [\hat{t}_{n.n.}, t_{p.o.}] \\ \lambda, & \text{если } t \in [t_{p.o.}, \hat{t}_{n.o.}] \\ \frac{t_{n.o.} - t}{t_{n.o.} - \hat{t}_{n.o.}} \lambda, & \text{если } t \in [\hat{t}_{n.o.}, t_{n.o.}] \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad \dots \quad (5)$$

Перейти к шагу 11.

б. Если $t_{p.n.} \leq t_{p.o.} \leq \hat{t}_{p.n.}$, то вероятность определяется по формуле (6):

$$p(t) = \begin{cases} \lambda, & \text{если } t \in [t_{p.n.}, \hat{t}_{n.o.}] \\ \frac{t_{n.o.} - t}{t_{n.o.} - \hat{t}_{n.o.}} \lambda, & \text{если } t \in [\hat{t}_{n.o.}, t_{n.o.}] \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (6)$$

Перейти к шагу 11.

с. Если $t_{p.o.} > t_{n.n.}$, то вероятность определяется по формуле (7):

$$p(t) = \begin{cases} \lambda, & \text{если } t \in [t_{p.n.}, \hat{t}_{n.n.}) \\ \frac{1}{t_{n.n.} - \hat{t}_{n.n.}} \left((t - \hat{t}_{n.n.}) + (t_{n.n.} - t)\lambda \right), & \text{если } t \in [\hat{t}_{n.n.}, t_{n.n.}] \\ 1, & \text{если } t \in [t_{n.n.}, t_{p.o.}) \\ \lambda, & \text{если } t \in [t_{p.o.}, \hat{t}_{n.o.}] \\ \frac{t_{n.o.} - t}{t_{n.o.} - \hat{t}_{n.o.}} \lambda, & \text{если } t \in [\hat{t}_{n.o.}, t_{n.o.}] \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (7)$$

Перейти к шагу 11.

9. Если $t_{p.n.} \neq \hat{t}_{p.n.}$ и $t_{n.n.} = \hat{t}_{n.n.}$, то

а. Если $\hat{t}_{p.n.} < t_{p.o.} \leq t_{n.n.}$, то вероятность определяется по формуле (8):

$$p(t) = \begin{cases} \frac{t - t_{p.n.}}{\hat{t}_{p.n.} - t_{p.n.}} \lambda, & \text{если } t \in [t_{p.n.}, \hat{t}_{p.n.}] \\ \lambda, & \text{если } t \in [\hat{t}_{p.n.}, t_{n.n.}] \\ \frac{1}{\hat{t}_{p.o.} - t_{p.o.}} \left((t - t_{p.o.})\lambda + (\hat{t}_{p.o.} - t) \right), & \text{если } t \in (t_{n.n.}, \hat{t}_{p.o.}] \\ \lambda, & \text{если } t \in [\hat{t}_{p.o.}, t_{n.o.}] \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (8)$$

Перейти к шагу 11.

б. Если $t_{p.n.} \leq t_{p.o.} \leq \hat{t}_{p.n.}$, то вероятность определяется по формуле (9):

$$p(t) = \begin{cases} \frac{t-t_{p.n.}}{\hat{t}_{p.n.}-t_{p.n.}} \lambda, & \text{если } t \in [t_{p.n.}, \hat{t}_{p.n.}] \\ \lambda, & \text{если } t \in [\hat{t}_{p.n.}, t_{n.o.}] \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} . \quad (9)$$

Перейти к шагу 11.

с. Если $t_{p.o.} > t_{n.n.}$, то вероятность определяется по формуле (10):

$$p(t) = \begin{cases} \frac{t-t_{p.n.}}{\hat{t}_{p.n.}-t_{p.n.}} \lambda, & \text{если } t \in [t_{p.n.}, \hat{t}_{p.n.}] \\ \lambda, & \text{если } t \in [\hat{t}_{p.n.}, t_{n.n.}) \\ 1, & \text{если } t \in [t_{n.n.}, t_{p.o.}] \\ \frac{1}{\hat{t}_{p.o.}-t_{p.o.}} ((t-t_{p.o.})\lambda + (\hat{t}_{p.o.}-t)), & \text{если } t \in [t_{p.o.}, \hat{t}_{p.o.}] \\ \lambda, & \text{если } t \in [\hat{t}_{p.o.}, t_{n.o.}] \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} . \quad (10)$$

Перейти к шагу 11.

10. Если $t_{p.n.} \neq \hat{t}_{p.n.}$ и $t_{n.n.} \neq \hat{t}_{n.n.}$, то

а. Если $\hat{t}_{n.n.} \leq t_{p.o.} \leq t_{n.n.}$, то вероятность определяется по формуле (11):

$$p(t) = \begin{cases} \frac{\lambda}{\hat{t}_{p.n.}-t_{p.n.}} (t-t_{p.n.}), & \text{если } t \in [t_{p.n.}, \hat{t}_{p.n.}] \\ \lambda, & \text{если } t \in [\hat{t}_{p.n.}, \hat{t}_{n.n.}] \\ \frac{1}{t_{n.n.}-\hat{t}_{n.n.}} ((1-\lambda)t + \lambda t_{n.n.} - \hat{t}_{n.n.}), & \text{если } t \in [\hat{t}_{n.n.}, \alpha] \\ \frac{1}{\hat{t}_{p.o.}-t_{p.o.}} ((\lambda-1)t + \hat{t}_{p.o.} - \lambda t_{p.o.}), & \text{если } t \in [\alpha, \hat{t}_{p.o.}], \\ \lambda, & \text{если } t \in [\hat{t}_{p.o.}, \hat{t}_{n.o.}] \\ -\frac{\lambda}{t_{n.o.}-\hat{t}_{n.o.}} (t-\hat{t}_{n.o.}), & \text{если } t \in [\hat{t}_{n.o.}, t_{n.o.}] \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} , \quad (11)$$

где $\alpha = \frac{t_{n.n.} \cdot \hat{t}_{p.o.} - t_{p.o.} \cdot \hat{t}_{n.n.}}{(\hat{t}_{p.o.} - \hat{t}_{n.n.}) + (t_{n.n.} - t_{p.o.})}$.

Перейти к шагу 11.

б. Если ранее окончание $t_{p.n.} \leq t_{p.o.} \leq \hat{t}_{p.n.}$, то вероятность определяется по формуле (12):

$$p(t) = \begin{cases} \frac{\lambda}{\hat{t}_{p.n.} - t_{p.n.}}(t - t_{p.n.}), & \text{если } t \in [t_{p.n.}, \hat{t}_{p.n.}] \\ \lambda, & \text{если } t \in [\hat{t}_{p.n.}, \hat{t}_{n.o.}] \\ -\frac{\lambda}{t_{n.o.} - \hat{t}_{n.o.}}(t - t_{n.o.}), & \text{если } t \in [\hat{t}_{n.o.}, t_{n.o.}] \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (12)$$

Перейти к шагу 11.

с. Если $t_{n.n.} < t_{p.o.} \leq \hat{t}_{n.n.}$, то вероятность выполнения работы определяется по формуле (13):

$$p(t) = \begin{cases} \frac{\lambda}{\hat{t}_{p.n.} - t_{p.n.}}(t - t_{p.n.}), & \text{если } t \in [t_{p.n.}, \hat{t}_{p.n.}] \\ \lambda, & \text{если } t \in [\hat{t}_{p.n.}, \hat{t}_{n.n.}] \\ \frac{1}{t_{n.n.} - \hat{t}_{n.n.}}((1 - \lambda) \cdot t + \lambda \cdot t_{n.n.} - \hat{t}_{n.n.}), & \text{если } t \in [\hat{t}_{n.n.}, t_{n.n.}] \\ 1, & \text{если } t \in [t_{n.n.}, t_{p.o.}] \\ \frac{1}{\hat{t}_{p.o.} - t_{p.o.}}((\lambda - 1) \cdot t + \hat{t}_{p.o.} - \lambda \cdot t_{p.o.}), & \text{если } t \in [t_{p.o.}, \hat{t}_{p.o.}] \\ \lambda, & \text{если } t \in [\hat{t}_{p.o.}, \hat{t}_{n.o.}] \\ -\frac{\lambda}{t_{n.o.} - \hat{t}_{n.o.}}(t - \hat{t}_{n.o.}), & \text{если } t \in [\hat{t}_{n.o.}, t_{n.o.}] \\ 0, & \text{иначе} \end{cases} \quad (13)$$

Перейти к шагу 11.

11. Для всех экспертов повторить шаги с 4 по 10.

12. Каждый эксперт задает величину α для формирования α -срезов (возможно использование единого значения α для всех экспертов):

$$\alpha_{ji} \in [0, \max_t(p_{ji}(t))], \quad (14)$$

где α_{ji} — величина α -среза, заданная j -м экспертом по работе i , $\max_t(p_{ji}(t))$ — максимальное значение вероятностей выполнения работы i для j -го эксперта.

13. На основе заданной величины α_j определяется, выполняется ли i -я работа в k -й день реализации проекта:

$$\hat{t}_k^{ji} = \begin{cases} 1, & \text{если } p_{ji}(k) \geq \alpha_j \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (15)$$

14. Для всех работ проекта повторить шаги с 3 по 13.

15. Задать общее количество ежедневно доступных собственных ресурсов $Res = \text{const}$.

16. Общее количество ресурсов $ProjRes_k^j$, требуемое в k -й день проекта по оценке j -го эксперта определяется по формуле (16):

$$ProjRes_k^j = \sum_{i=1}^m Res_i \cdot \hat{t}_k^{ji}, \quad (16)$$

где m — количество работ в проекте, Res_i — ежедневная потребность в ресурсах для i -й работы.

17. Количество субподрядных ресурсов $SubContRes_k^j$, требуемое в k -й день проекта по оценке j -го эксперта определяется по формуле (17):

$$SubContRes_k^j = \begin{cases} ProjRes_k^j - Res, & \text{если } ProjRes_k^j > Res \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}, \quad (17)$$

где m — количество работ в проекте.

18. Общее количество субподрядных ресурсов по всем работам проекта $SubContRes^j$ по всем дням реализации проекта по оценке j -го эксперта определяется по формуле (18):

$$SubContRes^j = \sum_{k=1}^T SubContRes_k^j. \quad (18)$$

19. Выбор экспертных рекомендаций осуществляется в соответствии с критерием:

$$SubContRes = \min_{j \in n} SubContRes^j. \quad (19)$$

20. Завершить работу алгоритма.

Заключение

В рассматриваемой статье предложен алгоритм ресурсной оптимизации проекта на основе оценки экспертных рекомендаций по срокам начала работ. Использование в исследовании аппарата теории нечетких множеств позволяет моделировать нечеткость сроков начала работ в пределах ранних и поздних границ, что обеспечивает гибкость и учет факторов риска и неопределенности в процессе календарного планирования. Разработанный алгоритм минимизирует суммарное привлечение дополнительных ресурсов в проект и является эффективным средством поддержки принятия решений в управлении сложными проектами с высокой степенью неопределенности.

Литература

1. Азарнова Т. В., Аснина Н. Г., Бондаренко Ю. В., Сорокина И. О. Сетевое планирование и ресурсная оптимизация проекта в условиях нечеткого группового экспертного оценивания длительности выполнения работ // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2025. – Т. 13, № 1. – URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1861> (дата обращения: 23.11.2025).
2. Азарнова Т. В., Подвальный Е. С., Аснина Н. Г., Колосов А. И., Иванова Е. В. Алгоритм перераспределения ресурсов для оптимизации текущего календарного плана выполнения работ // Регион: системы, экономика, управление. – 2024. – № 1 (64).
3. Клименко А. Б., Клименко В. В. Разработка программного обеспечения: планирование в условиях неопределенности // Вестник ТИУиЭ. – 2010. – № 1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-programmnogo-obespecheniya-planirovanie-v-usloviyah-neopredelennosti> (дата обращения: 23.11.2025).
4. Король С. П., Король Р. А. Алгоритмический подход в сетевом моделировании в строительстве: графические решения и оптимизационные задачи // Жилищные стратегии. – 2023. – № 3. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/algoritmicheskiy-podhod-v-setevom-modelirovanii-v-stroitelstve-graficheskie-resheniya-i-optimizatsionnye-zadachi> (дата обращения: 23.11.2025).

ПРИМЕНЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ

И. А. Исаева

МИРЭА – Российский технологический университет

Аннотация. Интеллектуальный потенциал предприятия включает в себя несколько компонент и основан на гетерогенных данных. Для определения связи между разными данными при оценке интеллектуального потенциала предприятия можно использовать разные статистические методы, как параметрические, так и непараметрические. В данной работе приводится методологическая основа применения статистических методов для оценки интеллектуального потенциала, и приведено три практических примера связи между параметрами набора данных, на основе которого можно оценивать возможности развития интеллектуального потенциала предприятия.

Ключевые слова: интеллектуальный потенциал, оценка сотрудников, анализ данных, параметрическая статистика, непараметрическая статистика, организационная система.

Введение

С учетом развития информационных технологий, а также цифровой трансформации производственных процессов, для предприятий одним из ключевых преимуществ является его интеллектуальный потенциал, который складывается из знаний, опыта, квалификации всех сотрудников этого предприятия.

Оценка интеллектуального потенциала каждого из сотрудников, позволяющая в дальнейшем провести оценку интеллектуального потенциала предприятия — важная задача, которую надо выполнять в предприятии и которая позволяет оценить, есть ли необходимость что-то менять. Для повышения интеллектуального потенциала организации можно либо повышать интеллектуал имеющихся сотрудников за счёт дополнительного обучения, организации мероприятий по обмену опытом, участия в семинарах и круглых столах, либо нанимать новых сотрудников (на один проект или в организацию на долгое время), чтобы иметь возможность решать профессиональные задачи нужного уровня [1]. Определение профессионально-квалификационного потенциала для каждого позволит подбирать организации новых сотрудников, которые необходимы для решения профессиональных задач именно в этой организации [2].

Термин «интеллектуальный потенциал предприятия» отличает от классического термина «человеческий капитал предприятия» тем, что включает в себя несколько компонентов, в том числе:

1. Человеческий потенциал, в который входят профессиональные знания сотрудников, а также креативность и способность к обучению;
2. Структурный потенциал, куда входят базы знаний предприятий, корпоративные онтологии, устоявшиеся методы обмена знаниями, уровень задокументированности используемых в предприятии практик, количество имеющихся патентов;
3. Реляционный потенциал, куда входят существующие сети взаимодействий между сотрудниками и заключенные партнерства с внешними экспертами.

Интеллектуальный потенциал можно привести к формализованному виду, где будут учтены все эти компоненты. Каждому из компонентов добавляется вес, сумма всех весов равна 1.

Можно использовать различные подходы к оценке интеллектуального потенциала предприятия: это и методы параметрической статистики, которые позволяют оценить связь обучения и КРІ (на основе корреляции Пирсона), разницу между отделами (t-тест), влияние стажа

на инновации (линейная регрессия); и методы непараметрической статистики, которые позволяют оценить ранжирование компетенций (корреляция Спирмена), удовлетворенность до и после тренинга (тест Уилкоксона).

С помощью применения статистических методов для оценки интеллектуального потенциала предприятия в рамках данной работы будем решать такие задачи, как:

1. Оценка влияния программ обучения на показатели эффективности сотрудников;
2. Выявление различия в инновационной активности между несколькими исследовательскими отделами;
3. Исследование взаимосвязи между уровнем компетенций сотрудников и их карьерным продвижением.

В целом, оценка интеллектуального потенциала предприятия требует применения адекватных статистических методов. Особенностью данных для этой предметной области является их гетерогенность, не всегда нормальное распределение и наличие качественных показателей. Это обуславливает необходимость комплексного использования как параметрических, так и непараметрических статистических методов.

1. Методологическая основа исследования

Статистические методы являются одним из наиболее важных инструментов анализа данных в различных областях бизнеса. Они позволяют изучать закономерности, тенденции и взаимосвязи в больших объемах данных [2].

Методы статистики можно разделить на параметрические и непараметрические. Параметрические методы статистики основаны на предположениях о распределении данных. В контексте оценки интеллектуального потенциала предприятия эти методы могут использоваться для анализа количественных и качественных показателей, таких как уровень образования сотрудников, их опыт работы, результаты тестов на интеллект и другие метрики.

Для оценки интеллектуального потенциала предприятия можно использовать следующие статистические методы:

Параметрические методы:

– Корреляционный анализ Пирсона: можно использовать для оценки линейной зависимости между количественными показателями интеллектуального потенциала предприятия. Например, с помощью этого метода можно оценить связь между уровнем профессиональных компетенций и уровнем производительности (KPI), или между плотностью коммуникационных сетей и инновационной активностью подразделений;

– Множественный регрессионный анализ: может быть использован для построения комплексных моделей интеллектуального потенциала предприятия, где учитывается несколько факторов одновременно. Например, он может позволить спрогнозировать динамику изменения интеллектуального потенциала предприятия при различных методах управления;

– t-тест Стьюдента для независимых выборок: можно использовать при сравнении показателей интеллектуального потенциала у разных сотрудников / отделов;

– t-тест Стьюдента для зависимых выборок: может быть использован тогда, когда измеряются одни и те же показатели у одной группы до и после каких-то изменений, например, у сотрудников отдела до и после прохождения обучения;

– Однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA): данный вид теста расширяет возможности t-теста Стьюдента, так как позволяет сравнивать данные трех и более групп. Позволяет оценить влияние различных факторов (например, отделов или уровней должностей) на интеллектуальный потенциал.

Также существуют непараметрические статистические методы, которые также могут быть использованы при оценке интеллектуального потенциала предприятия. Непараметрические

методы статистики не требуют выполнения строгих предположений о распределении данных. Они особенно полезны в случаях, когда данные имеют ненормальное распределение, содержат выбросы или когда выборка мала. В контексте оценки интеллектуального потенциала предприятия эти методы могут использоваться для анализа различных показателей, таких как результаты тестов, опросы и другие метрики.

Непараметрические методы:

– Ранговые корреляции Спирмена и Кендалла: это непараметрические аналоги корреляции Пирсона, применяются, если в данных распределение не является нормальным или присутствуют значительные выбросы. Эти методы можно использовать для анализа связи между порядковыми показателями, например для оценки взаимосвязи между позицией сотрудника в организационной структуре и его центральностью в коммуникационной сети;

– U-критерий Манна — Уитни: можно использовать для сравнения показателей интеллектуального потенциала (на данных, у которых ненормальное распределение), например, для сотрудников прошедших и не прошедших обучение, при условии, что распределение сетевой активности имеет перекося на какую-то из групп;

– Критерий Краскела — Уоллиса: может быть использован для анализа данных трех и более групп, например, позволяет оценить различия в инновационной активности между подразделениями, у которых применяются разные практики управления активами организации (знаниями).

2. Практические примеры применения статистических методов

Для демонстрации практического применения статистических методов был сгенерирован реалистичный синтетический набор данных (датасет), отражающий все компоненты интеллектуального потенциала, содержащий данные 150 сотрудников по ключевым показателям интеллектуального потенциала. Описание полей датасета приведено в табл. 1.

Таблица 1

Описание полей датасета

№	Название	Описание
1.	employee_id	уникальный идентификатор сотрудника
2.	department	отдел (отдел_1, отдел_2, отдел_3)
3.	years_exp	опыт работы (количество лет)
4.	prof_knowledge	профессиональные знания (0–10)
5.	creativity	креативность (0–10)
6.	learning_ability	способность к обучению (0–10)
7.	training_completed	прошел ли обучение (0 или 1)
8.	kpi_score	показатель эффективности (0–1)
9.	innovation_score	инновационная активность (0–10)
10.	network_density	плотность коммуникационных сетей (0–1)
11.	career_growth	карьерный рост (количество повышений за 5 лет)
12.	competence_level	уровень компетенций (0–10)

Был разработан программный модуль на языке программирования Python, который позволяет оценить интеллектуальный потенциал предприятия при комплексном применении параметрических и непараметрических статистических методов.

В качестве примеров задач для практического применения статистических методов было выделено 3 задачи:

1. Анализ связи между обучением и эффективностью сотрудников
2. Сравнение инновационной активности между отделами
3. Анализ связи между компетенциями и карьерным ростом

Вначале проведения каждого теста необходимо определить, параметрическими или непараметрическими методами анализа данных будем пользоваться, для этого необходимо оценить нормальность распределения данных. Если данные распределены нормально, то будут использоваться методы параметрической статистики, если распределение данных не соответствует нормальному, то непараметрические.

Рассмотрим результаты практических задач более подробно.

2.1. Анализ связи между обучением и эффективностью сотрудников

Задача: оценить влияние программ обучения на показатели эффективности сотрудников.

Сравнивалось значение kpi_score для двух независимых групп, где $training_completed==0$ (сотрудники, не прошедшие обучение) и где $training_completed==1$ (сотрудники, прошедшие обучение).

Метод: для используемого набора данных выбран U — критерий Манна — Уитни

Результаты: КРІ без обучения: $M = 0.679$, КРІ после обучения: $M = 0.854$, $p < 0.001$

Вывод: программы обучения приводят к статистически значимому повышению эффективности сотрудников ($p < 0.001$). Разница в КРІ соответствует относительному улучшению на 25.8 %. Использование U -критерия Манна — Уитни вместо t -теста обусловлено нарушением предположений о нормальности распределения данных. Визуализация результатов представлена на рис. 1а.

2.2. Сравнение инновационной активности между отделами

Задача: выявить различия в инновационной активности между тремя исследовательскими отделами.

Сравнивалось значение $innovation_score$ для трех групп выборок, где каждая группа относится к определенному отделу (в представленном датасете это отдел_1, отдел_2, отдел_3).

Метод: Однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) (так как данные распределены нормально, иначе был бы использован Критерий Краскела — Уоллиса).

Также был произведен Тест Тьюки, который относится к методам Post Hoc анализа, которые применяются после обнаружения статистически значимых результатов в ходе первичного анализа и используются для определения, между какими конкретно группами существуют различия, обнаруженные общим тестом (к которым относится и ANOVA).

Результаты: $F = 23.9$, $p < 0.001$

Тест Тьюки: Отдел_1, Отдел_2: $p < 0.001$; Отдел_1, Отдел_3: $p < 0.001$; Отдел_2, Отдел_3: $p = 0.969$

Вывод: существуют статистически значимые различия в инновационной активности между отделами, где отдел_1 демонстрирует наивысшую инновационную активность, отдел_2 занимает промежуточное положение, а отдел_3 уступает обоим другим отделам. При этом различия между Отделом_2 и Отделом_3 статистически не значимы ($p = 0.9687$), что указывает на схожий уровень инновационного потенциала в этих подразделениях. Визуализация результатов представлена на рис. 1б.

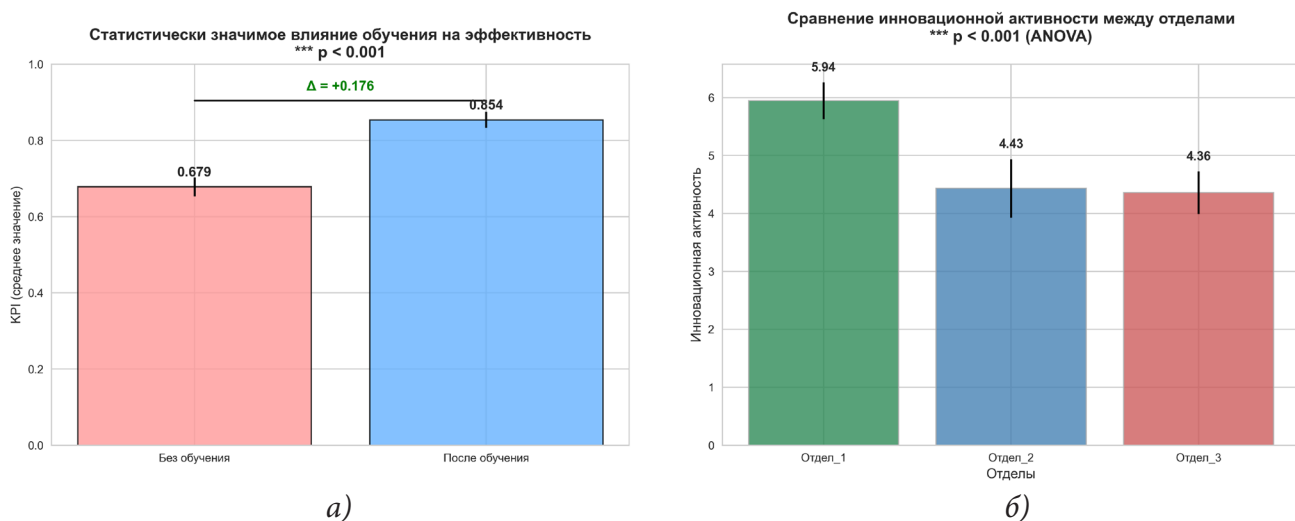


Рис. 1. а) Визуализация результата анализа связи между обучением и эффективностью сотрудников, б) Визуализация проведенного сравнения инновационной активности между отделами

2.3. Анализ связи между компетенциями и карьерным ростом

Задача: исследовать взаимосвязь между уровнем компетенций сотрудников и их карьерным продвижением.

Для проведения этого теста можем корреляцию Спирмена и корреляцию Кендалла, так как они подходят для порядковых данных. Определяем корреляции между двумя показателями: *competence_level* и *career_growth*. Анализируем, связан ли уровень компетенций с карьерным успехом.

Метод: Ранговая корреляция Спирмена показала результаты $P = 0.623$, $p < 0.001$

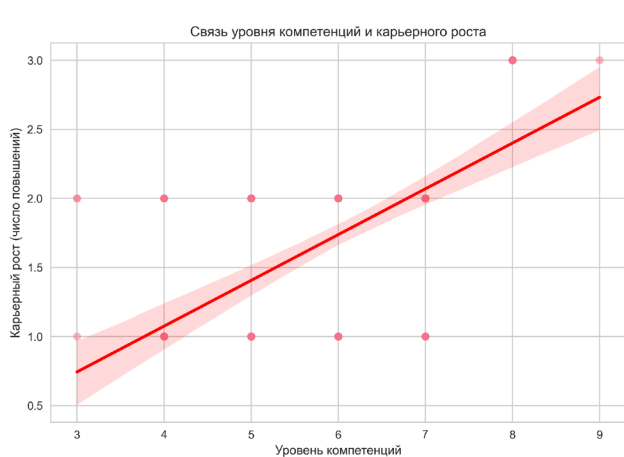
Ранговая корреляция Кендалла показала результаты $T = 0.571$, $p < 0.001$

Вывод: Сильная положительная корреляция между уровнем компетенций и скоростью карьерного роста, где уровень компетенций объясняет 38.9 % вариации карьерного роста. Развитие компетенций - ключевой фактор карьерного успеха. Сотрудники с компетенциями уровня 3–5 имеют в среднем меньше 2 повышений за последние 5 лет, тогда как сотрудники с компетенциями уровня 8–9 имеют 3 и больше повышений за последние 5 лет. Визуализация результатов представлена на рис. 2а.

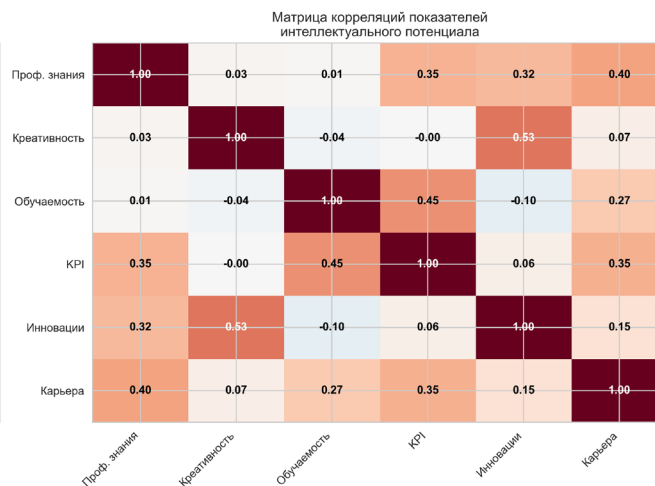
Полученные результаты имеют высокую практическую ценность для управления интеллектуальным потенциалом предприятия и могут служить основой для разработки программ развития персонала и организационных изменений. Также можем оценить корреляцию показателей интеллектуального потенциала предприятия. Матрица корреляции представлена на рис. 2б.

Также представлена система рекомендаций по выбору статистических методов (табл. 2).

Можно отметить, что для оценки интеллектуального потенциала предприятия необходимо использовать различные статистические методы, связанные с тем, что данные, которые могут лечь в основу оценки, часто неоднородны, поступают из разных источников, и, соответственно, требуют разного подхода к их обработке.



а)



б)

Рис. 2. а) Визуализация результатов анализа связи между компетенциями и карьерным ростом, б) Матрица корреляции показателей интеллектуального потенциала предприятия

Таблица 2

Сравнительный анализ методов и рекомендации по выбору

Тип задачи	Условия для выбора метода параметрической статистики	Условия для выбора метода непараметрической статистики	Предлагаемый метод
Сравнение двух групп данных	Нормальное распределение, гомогенность дисперсий	Нарушение предположений о нормальном распределении, порядковые данные	t -тест или U -критерий Манна — Уитни
Сравнение трех и более групп	Нормальное распределение, гомогенность дисперсий	Нарушение предположений о нормальном распределении	ANOVA или Критерий Краскела — Уоллиса
Анализ связей	Линейная зависимость, нормальное распределение	Монотонная зависимость, порядковые данные	Корреляция Пирсона или Корреляция Спирмена
Анализ изменений во времени	Нормальное распределение	Нарушение предположений о нормальном распределении, порядковые данные	Парный t -тест или Тест Уилкоксона

Заключение

В рамках данной работы было определено, что для определения интеллектуального потенциала предприятия можно использовать как параметрические, так и непараметрические статистические методы. Более того, именно комплексное применение параметрических и непараметрических методов позволяет получать полные результаты при оценке интеллектуального потенциала предприятия.

Был создан реалистичный набор данных, на основе которого представлены практические примеры оценки интеллектуального потенциала предприятия (решено 3 задачи), которые позволили продемонстрировать возможность использования статистических методов. Также можно отметить, что автоматизация оценки интеллектуального потенциала предприятия позволяет, во-первых, оценивать данные в режиме реального времени и принимать корректные управленческие данные на свежих данных, а также способствует повышению объективности результатов оценки.

Литература

1. *Исаева И. А.* Применение ИТ-трендов для оценки интеллектуального потенциала сотрудника / И. А. Исаева // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики. – 2024. – С. 1546–1549.
2. *Исаева И. А.* Оценка интеллектуального потенциала сотрудников в организациях / И. А. Исаева // Новые информационные технологии в научных исследованиях. – 2023. – С. 26–28.
3. *Аннаева М., Мередов А.* Основные статистические методы и их применение / М. Аннаева, А. Мередов // Вестник науки. – 2023. – №10 (67).
4. Post Hoc анализ: определение, применение и ключевые принципы: [сайт] – URL: <https://sky.pro/wiki/analytics/post-hoc-analiz-opredelenie-primenenie-i-klyuchevye-printsipy> (дата обращения: 20.11.2025)
5. Применение комбинаторных методов для оценки выполнимости проектов предприятия высоко компетентным персоналом / Е. Г. Андрианова, Ю. В. Буланова // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 8-3. – С. 449–453.

ПРИОРИТИЗАЦИЯ ЗАДАЧ В УСЛОВИЯХ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ

А. В. Калач^{1,2}, С. М. Трушин²

¹Воронежский институт ФСИН России

²МИРЭА – Российский технологический университет

Аннотация. Рассмотрен вариант решения задачи приоритизации в условиях многокритериальной неопределённости, возникающей при работе современных информационных систем. Показано, что неполнота и изменчивость данных, асинхронность поступления информации и каскадные зависимости между задачами приводят к снижению устойчивости и точности принятия решений. Проведён анализ возможностей существующих подходов (эвристические, оптимизационные и интеллектуальные методы) в решении задачи приоритизации. Показано, что применение традиционных методов не обеспечивает одновременно адаптивность, интерпретируемость и устойчивость при работе в условиях неопределённости и неполноты данных. Сделан вывод о необходимости разработки гибридных моделей, сочетающих преимущества различных подходов.

Ключевые слова: приоритизация задач, неопределённость, многокритериальный выбор, системы поддержки решений.

Введение

Современные информационные системы функционируют в условиях растущих объёмов данных и высокой динамики среды. Задачи характеризуются множеством критериев: срочностью, важностью, рисками, ресурсной ёмкостью и взаимными зависимостями [1].

Данные для их оценки часто неполные, изменчивые и поступают асинхронно, что затрудняет объективное ранжирование. Основные источники неопределённости включают неполноту и изменчивость данных, асинхронность поступления задач и каскадные зависимости между ними приведены на рис. 1.



Рис. 1. Факторы неопределённости, влияющие на процесс приоритизации задач

На рисунке показаны четыре ключевых фактора, которые определяют сложность формирования приоритетов. Неполнота данных и изменчивость параметров приводят к снижению точности оценивания задач. Асинхронность поступления информации затрудняет сравнение задач в едином временном контексте. Каскадные зависимости формируют дополнительные ограничения на порядок выполнения, когда одни задачи напрямую влияют на выполнение других [2].

На основе анализа представленных факторов сделан вывод о том, что процесс приоритизации задач не является статичным, а зависит от текущего состояния данных, контекста и взаимных влияний между задачами. Традиционные методы ранжирования задач, основанные на фиксированных весах критериев и предположении о полноте исходной информации, демонстрируют ограниченную применимость в реальных условиях. Их использование приводит к снижению устойчивости процессов обработки данных, высокой чувствительности к пропускам информации и недостаточной надёжности вычислений.

Необходимо отметить, что в таких условиях использование фиксированных правил и постоянных весовых коэффициентов приводит к снижению точности и устойчивости решений. Это обуславливает необходимость анализа существующих подходов к приоритизации и определения их ограничений в условиях многокритериальной неопределённости.

1. Анализ существующих подходов

Проблема приоритизации задач активно изучается в управлении проектами, распределённых вычислениях и системах поддержки решений. Известно, что существующие методы делятся на три группы: эвристические, оптимизационные и интеллектуальные (на основе машинного обучения) [3].

Эвристические подходы основаны на экспертных правилах и фиксированных весах критериев, что обеспечивает простоту, но ограничивает гибкость [4].

Оптимизационные модели трактуют приоритизацию как задачу многокритериальной оптимизации, обладая формальной строгостью, однако требуя полной информации о критериях.

Методы машинного обучения (регрессия, деревья решений, бустинг, нейросети) выявляют скрытые зависимости между параметрами, но зависят от объёма обучающих данных и часто теряют интерпретируемость [5].

Таким образом, ни один из подходов не обеспечивает одновременно устойчивости, адаптивности и прозрачности, что подчёркивается в табл. 1 и подтверждает необходимость разработки гибридной адаптивной модели.

Таблица 1

Сравнение классов методов приоритизации задач

Подход	Гибкость	Требования к полноте данных	Интерпретируемость	Адаптивность
Эвристические	Средняя	Низкие	Высокая	Низкая
Оптимизационные	Средняя	Высокие	Средняя	Низкая
Машинное обучение	Высокая	Высокие	Низкая	Средняя

Из табл. 1 следует, что перспективным направлением является интеграция преимуществ различных подходов: строгости математических моделей, гибкости ML-методов и объяснимости эвристик. Такой синтез реализуется в адаптивных моделях приоритизации, где веса критериев и параметры алгоритма динамически изменяются в зависимости от данных и контекста.

Переход к адаптивному подходу продиктован ростом сложности информации и требованиями к устойчивости, масштабируемости и прозрачности решений в интеллектуальных системах.

2. Проблема многокритериальной неопределённости

При нехватке данных оценка задач становится нестабильной: отдельные критерии получают разный вес, и итоговый приоритет может искажаться. Ситуацию усложняют каскадные зависимости, когда выполнение одной задачи влияет на возможность или эффективность выполнения других. Тогда задача получает дополнительный «вес» не за счёт собственных свойств, а из-за последствий её выполнения или откладывания.

Кроме того, критерии оценки могут иметь разную природу: количественные показатели (время, трудоёмкость), качественные и экспертные оценки (значимость, риск), а также структурные параметры (зависимости и ограничения). Их совместная нормализация усложняет сравнение и требует выбора правил преобразования данных. Неподходящий метод нормирования или весовые коэффициенты могут существенно изменить итоговый приоритет задач.

В условиях быстро меняющейся информационной среды модели с фиксированными весами и стабильными входными данными становятся малоэффективными. Поэтому современная система приоритизации должна обеспечивать:

1. Поддержка работы с неполными данными.
2. Динамическое изменение весов критериев.
3. Учёт структурных зависимостей между задачами.
4. Сохранение интерпретируемости решения.

Такие требования формируют основу для перехода к адаптивным гибридным моделям, способным изменять параметры в процессе работы [6].

Заключение

Проведённый анализ показывает, что проблема приоритизации задач в условиях многокритериальной неопределённости остаётся актуальной. Существующие методы недостаточно адаптивны и не учитывают изменчивость информационных условий.

Перспективным направлением является разработка гибридных моделей, объединяющих статистические процедуры определения весов, корректировку приоритета с учётом полноты данных и механизм анализа зависимостей между задачами.

Результаты исследования могут быть использованы при проектировании систем поддержки принятия решений, диспетчерских сервисов, систем управления проектами и распределённых вычислительных комплексов, где требуется надёжная и обоснованная приоритизация задач.

Литература

1. Турлыгул Н. К. Многокритериальный выбор в условиях неопределённости / Н. К. Турлыгул // Синергия Наук. – 2020. – № 54. – С. 754–769.
2. Трушин С. М. Информационно-алгоритмические принципы приоритизации задач в условиях многокритериальной неопределённости / С. М. Трушин // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». – 2025. – № 3. – С. 147–155. – DOI 10.61260/2218-130X-2025-3-147-155.
3. Карделов Н. В. Приоритизация задач в современном управлении проектами / Н. В. Карделов, Л. С. Шаховская // Евразийское пространство: экономика, право, общество. – 2024. – № 6. – С. 36–38.
4. Farakhutdinov R. A. Heuristic optimization methods for linear ordering of automata / R. A. Farakhutdinov // Izvestiya of Saratov University. Mathematics. Mechanics. Informatics. – 2025. – Vol. 25, No 2. – P. 295–302. – DOI 10.18500/1816-9791-2025-25-2-295-302.

5. *Febrio A.* Aplikasi pemberian kredit menggunakan metode technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) / A. Febrio, Sh. Rachmatullah // *Insand Comtech : Information Science and Computer Technology Journal*. – 2022. – Vol. 6, No. 1. – DOI 10.53712/jic.v6i1.1668.

6. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025685457 Российская Федерация. Распределённая система адаптивной приоритизации задач (DistributedPriority) : заявл. 16.09.2025 : опубл. 23.09.2025 / С. М. Трушин, А. В. Калач.

АДАПТИВНАЯ МОДЕЛЬ ПРИОРИТИЗАЦИИ ЗАДАЧ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

А. В. Калач^{1,2}, С. М. Трушин², Т. Е. Саратова²

¹Воронежский институт ФСИН России

²МИРЭА – Российский технологический университет

Аннотация. Разработана адаптивная модель приоритизации задач для интеллектуальных систем поддержки принятия решений, функционирующих в условиях многокритериальной неопределённости и неполноты данных. Предложен авторский подход к нормализации критериев автоматического определения весов по статистической вариативности, учёта степени полноты информации и каскадных зависимостей между задачами. Верификация модели показала снижение ошибки приоритизации и повышение устойчивости вычислений по сравнению с традиционными методами.

Ключевые слова: адаптивный алгоритм, приоритизация задач, весовые коэффициенты, оценка значимости, нормализация критериев.

Введение

В условиях динамичной и взаимосвязанной глобальной экономики вопросы эффективного функционирования организационных систем актуальный характер, что обуславливает расширение применения интеллектуальных систем для поддержки принятия решений (СППР) путём комбинированного использования анализа данных, машинного обучения (МО) и экспертных знаний. Как известно интеллектуальные системы поддержки принятия решений функционируют в условиях динамичной информационной среды, при этом решаемые задачи, как правило, различаются по значимости, срочности, рискам и ресурсной ёмкости, а данные о них поступают асинхронно и часто являются неполными [1, 2].

Использование фиксированных весов критериев в таких условиях не обеспечивает адаптацию к изменяющимся характеристикам задач и информационной среды, что приводит к снижению точности ранжирования и устойчивости принимаемых решений [3]. При появлении новых данных или изменении контекста такие модели сохраняют прежние параметры и, соответственно, дают приоритеты, не соответствующие текущему состоянию системы.

Для устранения указанных ограничений предлагается адаптивный подход к приоритизации, основанный на автоматической корректировке весовых коэффициентов и расчёта приоритета в процессе функционирования модели. Такой подход позволяет системе учитывать динамику входных данных и поддерживать согласованность решений при изменяющихся условиях.

1. Формальная модель приоритизации

Пусть множество задач обозначено $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$, каждая задача описывается вектором критериев:

$$t_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}), \quad (1)$$

где x_{ij} — значение j -го критерия задачи t_i , m — число критериев.

Критерии могут быть количественными, категориальными, бинарными или структурными. При неполных данных пропуски допускаются и компенсируются нормализацией всех признаков к шкале $[0; 1]$. В зависимости от характера критерия применяются три типа преобразований: линейное, обратное и симметричное.

Вес критериев определяется автоматически по статистической вариативности:

$$w_j = \frac{\sigma_j}{\sum_{k=1}^m \sigma_k}, \quad (2)$$

где σ_j — стандартное отклонение значений критерия j .

Такое определение весов позволяет системе адаптироваться к изменяющемуся контексту данных без участия эксперта.

Для учёта степени достоверности информации вводится коэффициент полноты данных:

$$K_i = \frac{\text{число доступных значений критериев для } t_i}{m}, \quad (3)$$

который отражает долю доступных признаков для задачи t_i . Учёт данного коэффициента позволяет автоматически снижать приоритет задач с недостаточной информационной определённостью, повышая устойчивость модели при неполных данных.

Итоговый приоритет задачи:

$$P_i = K_i \cdot \sum_{j=1}^m w_j \cdot x_{ij}. \quad (4)$$

Также учитываются структурные зависимости между задачами. Если выполнение одной задачи влияет на другие, её приоритет усиливается каскадным коэффициентом:

$$P'_i = P_i \cdot (1 + \alpha \cdot d_i), \quad (5)$$

где d_i — количество зависимых задач, α — коэффициент каскадного влияния.

Такой механизм позволяет системе учитывать не только индивидуальные характеристики задач, но и их взаимное влияние, обеспечивая баланс локальных и глобальных приоритетов [4].

Модель содержит механизм самообучения: после выполнения задач анализируется корреляция значений критериев с успешностью решения, и весовые коэффициенты обновляются по принципу экспоненциального сглаживания:

$$w_j^{new} = (1 - \beta) \cdot w_j + \beta \cdot r_j. \quad (6)$$

Параметр β задаёт скорость адаптации и позволяет учитывать как накопленный опыт системы, так и новые данные. Такой подход обеспечивает плавную корректировку параметров без резких изменений и предотвращает переобучение модели.

2. Экспериментальная проверка

Эксперименты проводились в распределённой вычислительной среде на наборе из 500 задач, каждая из которых описывалась 5–10 критериями различного типа. Доля пропусков в данных изменялась от 10 до 40 %, что позволило оценить устойчивость модели к неполноте информации. Для сравнения использовались методы с фиксированными весами и базовые алгоритмы машинного обучения.

На рис. 1 приведена схема функционирования адаптивного алгоритма приоритизации [5].

Результаты сравнения эффективности исследуемых методов представлены на рис. 2.

Адаптивная модель показала плавное снижение качества решений при росте неполноты данных и ускорение вычислений примерно на 25 % за счёт автоматической нормализации и обновления весов без участия эксперта.

При асинхронном поступлении информации в распределённой архитектуре из трёх узлов алгоритм сохранял согласованность решений (коэффициент $> 0,9$) даже при задержках 200–300 мс, что подтверждает его устойчивость.

Практическая апробация в прототипе системы поддержки решений показала повышение точности и скорости обработки задач. Разработанный метод эффективен для систем диспет-

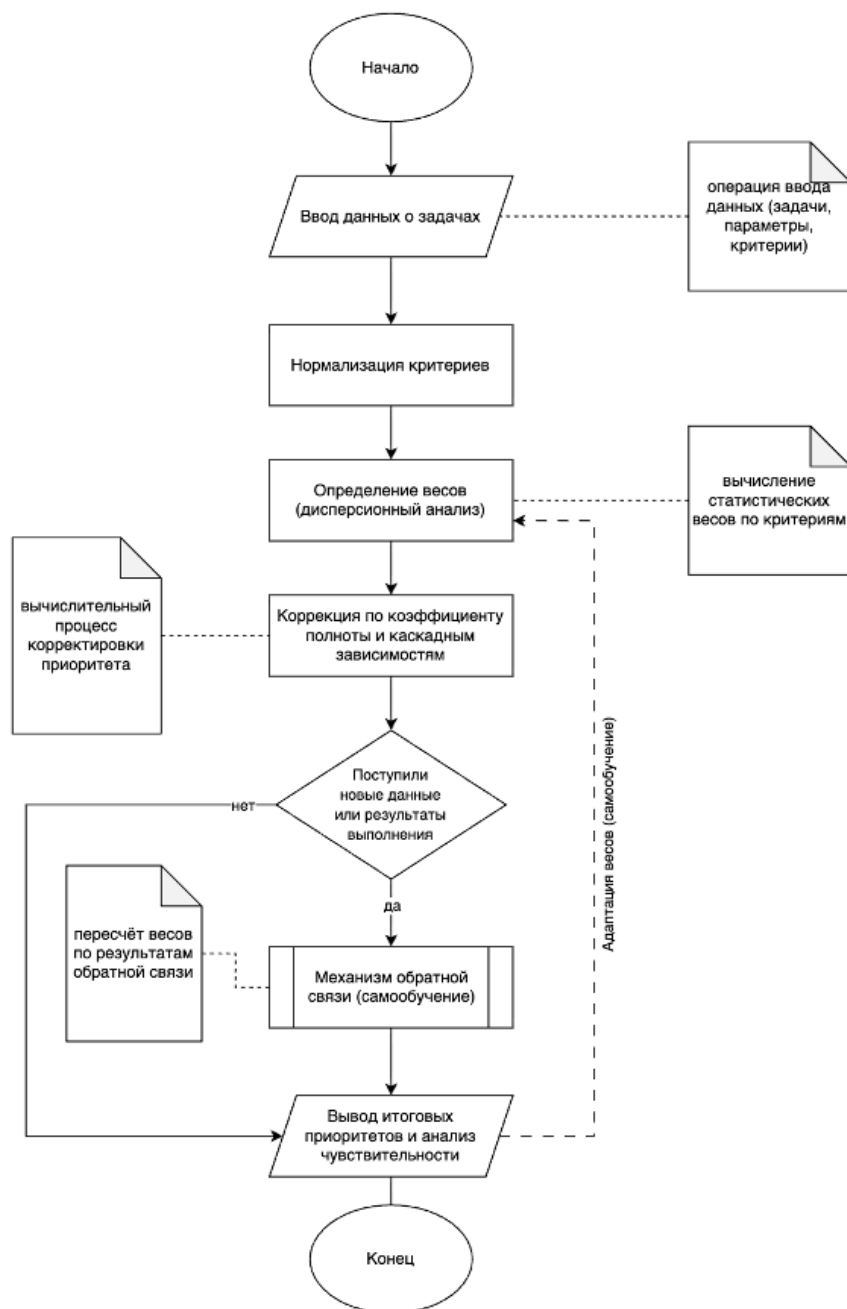


Рис. 1. Общая схема адаптивного алгоритма приоритизации задач

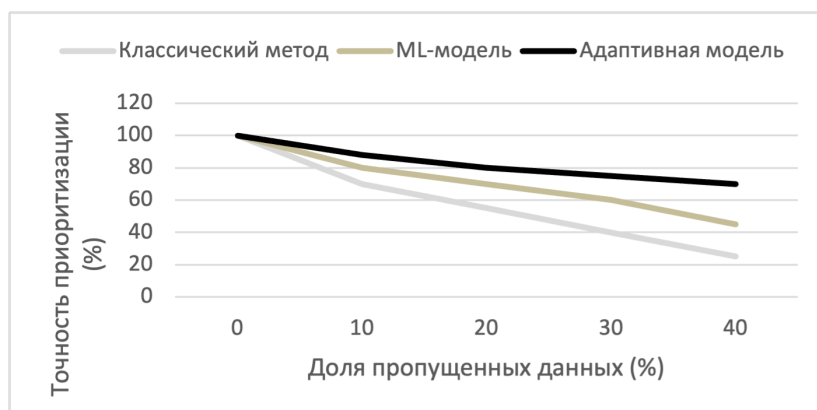


Рис. 2. Сравнение эффективности методов при неполных данных

черизации, проектного управления, аналитики контента и интеллектуальных платформ в критически важных инфраструктурах.

Заключение

Предложенная адаптивная модель приоритизации позволяет учитывать неполноту данных, изменчивость среды и взаимные зависимости задач. Динамическое определение весов, коэффициент полноты и каскадный механизм обеспечивают устойчивость решения, а встроенное самообучение — адаптацию в процессе эксплуатации. Эксперименты подтвердили эффективность модели для использования в СППР, системах диспетчеризации и управления проектами.

Литература

1. Орлов С. П. Интеллектуальная система поддержки принятия решений при реконструкции крупных производственных систем / С. П. Орлов // Перспективные информационные технологии (ПИТ 2015) : труды Международной научно-технической конференции, Самара, 28–30 апреля 2015 года / СГАУ. Том 1. – Самара : Самарский научный центр РАН, 2015. – С. 191–194.
2. Старостин М. А. Особенности использования информационных технологий и автоматизированных систем управления на промышленных предприятиях в современных условиях / М. А. Старостин // Научный аспект. – 2023. – Т. 11, № 7. – С. 1350–1359.
3. Глинский В. В. Адаптация и координация - взаимосвязанные процессы управления изменениями / В. В. Глинский, Е. В. Фрейдина, Л. К. Серга // Известия Байкальского государственного университета. – 2024. – Т. 34, № 2. – С. 216–231. – DOI 10.17150/2500-2759.2024.34(2).216-231.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025685457 Российская Федерация. Распределённая система адаптивной приоритизации задач (DistributedPriority) : заявл. 16.09.2025 : опубл. 23.09.2025 / С. М. Трушин, А. В. Калач.
5. Трушин С. М. Информационно-алгоритмические принципы приоритизации задач в условиях многокритериальной неопределенности / С. М. Трушин // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». – 2025. – № 3. – С. 147–155.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЦИКЛОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ

А. В. Калач^{1,2}, В. И. Трушина¹

¹*МИРЭА – Российский технологический университет»*

²*Воронежский институт ФСИН России*

Аннотация. Представлена архитектура информационной системы мониторинга циклонической активности, объединяющей полный цикл обработки данных космического зондирования: от получения спутниковых изображений и выделения структур циклона до пространственного анализа, прогнозирования динамики и оценки циклонической опасности. Проведён анализ существующих систем, выявлены их ограничения, связанные с фрагментарностью обработки, отсутствием автоматического выделения зон опасности и недостаточной интеграцией с ГИС-ресурсами.

Ключевые слова: циклоническая активность; циклоны; космические снимки; обработка изображений; прогнозирование; зоны опасности; оценка циклонической опасности; информационные системы.

Введение

Мониторинг циклонической активности является одной из ключевых задач метеорологических служб, особенно в регионах, подверженных воздействию циклонов [1, 2]. Нарастающая частота и интенсивность опасных атмосферных явлений обуславливает необходимость создания комплексных систем, способных объединять космические данные, методы автоматической обработки изображений и геоинформационные технологии.

Несмотря на значительное развитие спутниковых наблюдений, современные решения остаются фрагментарными: международные центры предоставляют оперативную информацию, но опираются преимущественно на экспертный анализ изображений; автоматизированные алгоритмы выполняют выделение структур циклона, но не формируют прогнозов и картографических слоёв; ГИС-платформы обеспечивают визуализацию, но не выполняют анализ изображений и не оценивают опасность.

В этих условиях возникает необходимость в разработке интегрированной информационной системы, объединяющей полный цикл анализа: от получения спутниковых данных до оценки циклонической опасности и формирования аналитических продуктов для специалистов. Настоящая работа посвящена проектированию и описанию такой архитектуры.

1. Анализ существующих подходов

Современные системы, применяемые для наблюдения и прогнозирования циклонов, значительно различаются по возможностям, глубине анализа и степени автоматизации.

Центры, такие как NOAA/NHC, JTWC и JMA, обладают развитой инфраструктурой приёма спутниковых данных и демонстрируют высокую точность прогностических оценок. Однако их работа основана на методах визуальной интерпретации изображений, где ключевую роль играет эксперт. Это делает процесс зависимым от субъективных факторов, усложняет воспроизводимость и автоматизацию, а также не позволяет интегрировать результаты в единую вычислительную архитектуру [3–5].

Нейросетевые подходы, компьютерное зрение и автоматизированные реализации классических методов обеспечивают точное выделение структур циклона и оценку стадии развития.

Однако эти решения функционируют изолированно, не формируют пространственных слоёв опасности, не прогнозируют динамику и не включены в архитектуры, объединяющие архивы данных, аналитические подсистемы и интерфейсы мониторинга.

ГИС-платформы позволяют эффективно визуализировать и анализировать пространственные данные, но их возможности по обработке изображений минимальны. Они не предназначены для выделения структур циклона, построения временных рядов, прогнозирования и оценки опасности.

В табл. 1 приведена сравнительная характеристика существующих систем.

Таблица 1

Сравнительная характеристика существующих систем

Характеристика	Международные центры	Автоматические алгоритмы	ГИС-платформы
Автоматическая обработка снимков	Частично	Да	Нет
Выделение структур циклона	Ограничено	Да	Нет
Прогнозирование	Да	Нет	Нет
Формирование опасных зон	Нет	Нет	Нет
Пространственный анализ	Ограниченно	Ограниченно	Да
Интегрированная архитектура	Нет	Нет	Нет

Полученные результаты анализа показывают, что существующие решения не обеспечивают полный цикл обработки данных о циклоне. Наиболее значимыми остаются разрывы, связанные с отсутствием автоматического анализа структуры циклона на изображении, отсутствием подсистем, отвечающих за выделение и классификацию опасных зон, недостатком комплексных методов прогнозирования, объединяющих космические изображения и ГИС-данные, а также отсутствием единой архитектуры, интегрирующей архивирование данных, их обработку, аналитический блок, прогнозные модели и средства визуализации.

Эти ограничения определяют необходимость проектирования информационной системы, обеспечивающей непрерывный поток данных и комплексный анализ циклонической активности.

2. Архитектура информационной системы

Архитектура системы представлена как последовательность модулей, обеспечивающих полный цикл обработки данных: от поступления космических снимков до формирования оценки циклонической опасности (рис. 1).

Система получает спутниковые данные и помещает их в архив космических снимков. Архив обеспечивает хранение временных рядов, доступ к историческим данным и возможность анализа эволюции циклона.

На следующем этапе изображения проходят автоматическую обработку, в рамках которой выполняются операции фильтрации и нормализации, позволяющие улучшить качество входных данных, затем определяется положение центра циклона, после чего производится идентификация спиральных полос облачности как ключевых структурных элементов атмосферной системы.

Результатом являются обработанные изображения и зоны циклонической активности в картографическом виде.

Выделенные зоны помещаются в модуль атрибутивного и картографического хранения, где они преобразуются в слои пространственных данных. Это обеспечивает доступность информации для аналитических подсистем и интеграцию с ГИС-ресурсами.

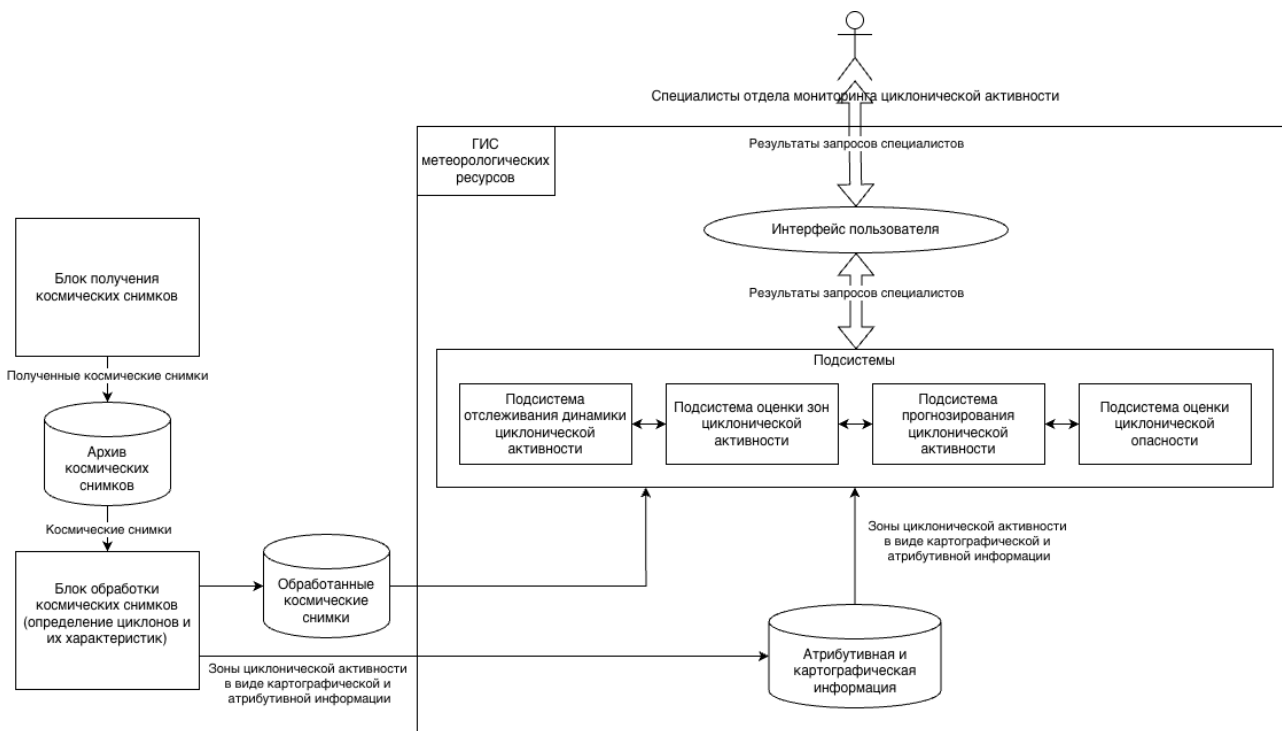


Рис. 1. Структура информационной системы мониторинга циклонической активности

Система включает четыре взаимосвязанных модуля:

1. Подсистема отслеживания динамики: анализирует изменения структуры циклона.
2. Подсистема оценки зон циклонической активности: определяет значимые области воздействия.
3. Подсистема прогнозирования: рассчитывает вероятные траектории и интенсивность.
4. Подсистема оценки циклонической опасности: интегрирует результаты и формирует итоговый уровень риска.

Оценка циклонической опасности реализуется на основании структурных параметров циклона, выделенных на изображении [6]. Первичные критерии были получены для изображений размером 500×500 пикселей. Для корректного применения метода к снимкам других размеров пороговые значения пересчитываются по формуле:

$$K_o = K_u \times \sqrt{\frac{S_o}{S_u}},$$

где K_o — пороговое значение для текущего изображения;

K_u — критический порог, рассчитанный для 500×500 пикселей;

S_o — площадь обрабатываемого изображения;

S_u — площадь эталонного изображения.

После вычисления значений K_o выполняется классификация опасных зон. Она осуществляется по таблице, в которой приведены диапазоны значений для различных категорий тропических циклонов [6]. Пороговые значения «особо опасных зон», «опасных зон» и «зон повышенного наблюдения» адаптируются под площадь изображения посредством формулы 1.

Таким образом, метод позволяет выполнять количественную оценку опасности, сравнение зон на изображениях разных размеров, отслеживание изменения опасности во времени.

Это делает систему пригодной для оперативного мониторинга и раннего предупреждения.

Результаты анализа отображаются в пользовательском интерфейсе, обеспечивающем визуализацию картографических слоёв, просмотр динамики развития циклона, доступ к прогнозам и оценку опасности.

Интеграция с метеорологическими ГИС-ресурсами обеспечивает объединение данных о циклоне с атмосферными характеристиками.

Заключение

Предложенная архитектура обеспечивает комплексный подход к мониторингу циклонической активности. В отличие от существующих решений, разработанная информационная система объединяет в едином контуре автоматическую обработку спутниковых изображений, пространственный анализ зон циклонической активности, прогнозирование динамики развития циклона и оценку степени опасности с учётом масштабных характеристик изображения. Кроме того, она интегрируется с метеорологическими ГИС-ресурсами и предоставляет удобный интерфейс для специалистов, что обеспечивает полноту и оперативность анализа.

Это делает её перспективным инструментом для гидрометеорологических служб, центров мониторинга чрезвычайных ситуаций и научного анализа атмосферных процессов.

Литература

1. *Вязилова Н. А.* Мониторинг циклонической активности в Северной Атлантике на основе показателей ЕСИМО / Н. А. Вязилова // Труды Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации - Мирового центра данных. – 2023. – № 191. – С. 88–98.

2. *Парамонов А. А.* Проектирование информационной системы для сбора, хранения и обработки метеоданных и параметров эволюции циклонов / А. А. Парамонов, А. В. Калач, В. И. Трушина // Арктика: перспективы, инновации и развитие регионов : IX Международный Арктический Саммит: сборник материалов, Москва – Санкт-Петербург, 22–25 апреля 2025 года. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (федеральный центр науки и высоких технологий), 2025. – С. 170–174.

3. Алгоритм определения высотного распределения температуры и влажности атмосферы по данным спутниковых и полигонных измерений в тропических широтах океана / А. Г. Гранков, А. А. Мильшин, Е. П. Новичихин [и др.] // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. – 2013. – № 3. – С. 31–37.

4. *Юрчак Б. С.* Оценка интенсивности тропического циклона по инфракрасным спутниковым изображениям его спиральных облачных полос / Б. С. Юрчак // Метеорология и гидрология. – 2018. – № 9. – С. 36–48.

5. *Бернадо А. В.* Краткосрочные изменения океанических характеристик при прохождении атмосферного циклона вдоль Курильской островной дуги / А. В. Бернадо, Т. В. Белоненко, М. В. Будянский // Океанологические исследования : Материалы XI Всероссийской конференции молодых ученых с международным участием, Владивосток, 26–30 мая 2025 года. – Владивосток: Тихоокеанский океанологический институт, ТОИ ДВО РАН, 2025. – С. 30.

6. *Калач А. В.* Оценка опасности зон структуры тропических циклонов на основе почти периодического анализа / А. В. Калач, А. А. Парамонов, А. Л. Шкерин // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2025. – № 2. – С. 16–28.

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К СОГЛАСОВАННОМУ РАСПРЕДЕЛЕНИЮ РЕСУРСОВ В СИСТЕМАХ АГРЕГАЦИИ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ: МОДЕЛИ, АЛГОРИТМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

В. И. Карташов

Воронежский государственный университет

Аннотация. В статье рассматриваются современные подходы к согласованному распределению ресурсов в системах агрегации и обработки данных. Выполнен анализ и сравнительная оценка классических, эвристических, мультиагентных и децентрализованных методов. Обоснована перспективность распределённых и агентно-ориентированных моделей. Определены направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: распределение ресурсов, системы агрегации и обработки данных, мультиагентные системы, децентрализованные алгоритмы, оптимизация, согласованность, масштабируемость, отказоустойчивость.

Введение

Развитие цифровых технологий и повсеместное внедрение IoT-устройств, распределённых систем мониторинга и высоконагруженных вычислительных платформ приводит к необходимости организации эффективных механизмов распределения ресурсов. Особенно актуальной становится задача согласованного (координированного) распределения, при котором учитываются не только локальные параметры узлов, но и глобальные характеристики системы в целом.

Системы агрегации и обработки данных (САОД) представляют собой распределённые платформы, предназначенные для сбора, фильтрации, агрегации и последующей обработки данных из различных источников. В подобных системах необходимо решать задачи управления ограниченными ресурсами: вычислительными, сетевыми, энергетическими и др., обеспечивая при этом согласованность и оптимальность принимаемых решений.

1. Постановка проблемы

Одной из ключевых задач в системах агрегации и обработки данных является обеспечение рационального распределения ресурсов между всеми компонентами. Эта задача осложняется тем, что поступающие данные зачастую обладают высокой степенью разнородности, различаются по приоритетности и могут изменяться во времени. Кроме того, распределение ресурсов должно учитывать необходимость согласованных действий между различными уровнями и узлами системы, чтобы сохранялась целостность и эффективность обработки информации в масштабах всей платформы.

Однако существующие подходы часто сталкиваются с рядом проблем, среди которых:

- Нехватка методов динамического анализа потребностей пользователей,
- Ограниченность существующих моделей представления информации о ресурсах,
- Недостаточная гибкость традиционных подходов к управлению нагрузкой,
- Сложность учёта специфики разнородных сред функционирования.

Цель настоящей статьи заключается в изучении современных подходов к решению проблемы согласованного распределения ресурсов в системах агрегации и обработки данных, рассмотрении ключевых моделей и алгоритмов, используемых для оптимизации процессов управления ресурсами, а также выделения перспективных направлений дальнейшего исследования и разработки.

2. Анализ существующих моделей и алгоритмов

2.1. Классические модели оптимизации

Классические методы оптимизации широко применяются в задачах распределения ресурсов и базируются, как правило, на строго формализованных математических моделях. Наиболее известными подходами являются линейное программирование (LP), целочисленное линейное программирование (ILP), а также стохастическое программирование. Эти методы предполагают, что все параметры системы известны заранее, либо могут быть аппроксимированы с достаточной степенью точности. Решение задачи, как правило, формулируется в виде системы ограничений и целевой функции, минимизирующей или максимизирующей некоторый критерий эффективности — например, время выполнения задач, затраты вычислительных ресурсов или пропускную способность системы.

Однако, несмотря на точность, такие модели имеют ряд существенных ограничений. Во-первых, они плохо адаптируются к изменениям во времени, что критично для динамически развивающихся распределённых систем. Во-вторых, они слабо масштабируются при увеличении количества узлов и параметров, что делает их применение затруднительным в высоконагруженных и гетерогенных инфраструктурах. Кроме того, классические методы зачастую предполагают централизованное управление, что противоречит самой природе распределённых вычислений.

Несмотря на указанные недостатки, классические модели остаются востребованными инструментами, особенно в качестве базовых строительных блоков для разработки более продвинутых методик и подходов, интегрирующих элементы распределённости и адаптивности.

2.2. Эвристические и метаэвристические подходы

В отличие от строго математических методов, эвристические и метаэвристические алгоритмы направлены на получение «достаточно хорошего» решения в условиях неопределённости и высокой размерности пространства поиска. К данной категории относятся генетические алгоритмы, алгоритмы роя частиц, метод имитации отжига и различные их гибриды. Эти методы особенно эффективны в случаях, когда невозможно построить точную модель объекта управления или когда пространство решений слишком велико для полного перебора.

Эвристики не требуют строгой формализации задачи и могут работать с неполной или изменяющейся информацией. Это делает их популярным выбором при проектировании адаптивных систем, функционирующих в реальном времени. Однако при всех преимуществах у данных методов есть и существенные недостатки. Основной из них — отсутствие гарантий оптимальности и, в ряде случаев, даже стабильности решения. Более того, применительно к задачам согласованного распределения ресурсов, эвристические алгоритмы могут приводить к несогласованным или конфликтующим решениям между разными частями системы, если не предусмотрены механизмы координации между узлами.

2.3. Агентно-ориентированные и мультиагентные системы

Мультиагентный подход представляет собой одну из наиболее перспективных стратегий в проектировании распределённых вычислительных систем. В этом случае система моделируется как совокупность автономных программных агентов, каждый из которых имеет собственные цели, ресурсы и средства достижения задач. Взаимодействие между агентами осуществляется через обмен сообщениями, договорные протоколы, аукционы или контракты, что обеспечивает возможность гибкой и децентрализованной координации.

Преимуществом мультиагентных систем является их адаптивность: агенты могут принимать локальные решения, реагируя на изменения окружающей среды, и в то же время стремиться к достижению глобальных целей системы за счёт коллективного поведения. Особенно актуальны такие системы в задачах с высокой степенью неопределённости, неполной информацией и необходимостью распределённого управления. Однако создание эффективных мультиагентных систем требует разработки сложных протоколов взаимодействия, а также методов предотвращения конфликтов и достижения консенсуса, что само по себе является нетривиальной задачей.

2.4. Децентрализованные и распределённые алгоритмы

Одним из ключевых вызовов в распределённых системах является обеспечение согласованности между компонентами без единой точки отказа и централизованного координатора. Децентрализованные алгоритмы, такие как Paxos, Raft, Gossip-протоколы и распределённые графовые модели, решают эту задачу путём внедрения механизмов согласования и репликации между равноправными участниками. Основная идея заключается в достижении общего состояния системы на основе локальных обменов и синхронизации между узлами.

Такие алгоритмы играют решающую роль в обеспечении отказоустойчивости, устойчивости к сетевым задержкам и динамической перестройке системы. В отличие от централизованных стратегий, децентрализованные решения могут продолжать функционировать даже при выходе из строя отдельных компонентов, что критически важно для высоконагруженных и географически распределённых инфраструктур. Они также способствуют масштабируемости, позволяя системе увеличиваться без существенного роста издержек на координацию. Однако реализация таких протоколов требует глубокой проработки механизмов синхронизации и защиты от гонок, ошибок времени и непредсказуемого поведения отдельных узлов.

3. Классификация и сравнение подходов

Классификация и сравнение подходов к решению задач оптимизации и распределения ресурсов позволяют выделить четыре основных метода: LP/ILP, эвристики, многоагентные системы (MAS) и распределённые алгоритмы. Каждый из них обладает своими характеристиками, преимуществами и ограничениями в зависимости от контекста применения.

Линейное и целочисленное программирование (LP/ILP) обеспечивает высокий уровень согласованности решений благодаря строгой математической формализации. Однако данный подход плохо масштабируется: при увеличении количества переменных и ограничений резко возрастает вычислительная сложность. Кроме того, устойчивость к сбоям у LP/ILP находится на среднем уровне — такие модели чувствительны к изменяющимся условиям и неполноте данных. Существенным недостатком является высокое время отклика, что делает LP/ILP мало пригодными для задач, требующих оперативного принятия решений. Тем не менее, они отлично подходят для off-line оптимизации, где важна точность результата, а время выполнения не критично.

Эвристические методы в этом плане более гибкие. Они обеспечивают среднюю масштабируемость и устойчивость к сбоям, позволяя адаптироваться к различным ситуациям за счёт приближённых стратегий поиска решений. Однако за счёт этого страдает согласованность: эвристики нередко приводят к приближённым или субоптимальным решениям. Время отклика при этом также находится на среднем уровне, что делает этот подход приемлемым для ряда практических задач, особенно там, где строгая оптимальность не критична, а требуется баланс между скоростью и качеством.

Многоагентные системы (MAS) демонстрируют высокую масштабируемость и устойчивость к сбоям благодаря своей распределённой природе и способности агентов действовать независимо друг от друга. Согласованность в таких системах может варьироваться от средней до высокой в зависимости от уровня координации между агентами. Время отклика, как правило, среднее: оно выше, чем у распределённых алгоритмов, но ниже, чем у LP/ILP. MAS особенно эффективны в динамичных средах, где необходимо децентрализованное принятие решений с возможностью адаптации к изменениям.

Распределённые алгоритмы являются наиболее сбалансированным подходом с точки зрения всех рассматриваемых характеристик. Они обеспечивают высокую масштабируемость и отказоустойчивость, так как способны продолжать функционирование даже при выходе отдельных узлов из строя. Согласованность данных в таких системах, как правило, поддерживается на высоком уровне за счёт встроенных механизмов синхронизации. Главное преимущество распределённых алгоритмов заключается в низком времени отклика, что делает их незаменимыми в системах реального времени, где важна мгновенная реакция на события.

Таким образом, выбор подхода определяется требованиями к системе: для задач, где требуется высокая точность и решения можно получать не мгновенно, предпочтительны LP/ILP; если же на первый план выходит скорость реагирования и адаптивность, наиболее эффективными являются распределённые алгоритмы и MAS. Эвристики занимают промежуточное положение и применимы в случаях, когда необходим разумный компромисс между качеством решения и затратами на его получение.

Заключение

Анализ показал, что в современных условиях распределённые и агентно-ориентированные модели наиболее перспективны для построения согласованных алгоритмов управления ресурсами в САОД. Будущие исследования будут посвящены разработке гибридной модели, включающей в себя как методы оптимизации, так и адаптивные протоколы координации на основе анализа текущего состояния системы. Также необходимо формализовать понятие согласованности в контексте распределённых вычислений и разработать метрики для количественной оценки эффективности распределения ресурсов.

Литература

1. Dominant Resource Fairness: Fair Allocation of Multiple Resource Types / A. Ghodsi [et al.] // Proceedings of NSDI. – 2011.
2. Multi-agent Reinforcement Learning for Resource Allocation in Edge Computing / W. Zhang [et al.] // Future Generation Computer Systems. – 2022.
3. Кушнаренко Н. И. Алгоритмы распределения ресурсов в распределённых вычислительных системах / Н. И. Кушнаренко, П. М. Дьяченко // Известия РАН. – 2019.
4. Пивоваров А. М. Методы согласованного управления в многокомпонентных системах / А. М. Пивоваров, А. В. Белоусов // Вестник ВГУ. – 2021.
5. Li X. A Resource Allocation Method in Cloud Computing Based on Multi-Agent Coordination // IEEE Transactions on Services Computing. – 2020.

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ИННОВАЦИОННЫХ СИСТЕМ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Н. Н. Карякин

Воронежский государственный университет

Аннотация. В статье рассматривается роль региональных инновационных систем как ключевого фактора обеспечения устойчивого социально-экономического развития Российской Федерации в условиях растущей внешней волатильности и перехода к модели глокализации. Проанализированы подходы к оценке экономической сложности регионов и выявлению структурных дисбалансов, определяющих траектории их развития. Особое внимание уделено вопросам финансово-экономического обеспечения инновационных систем и трансформации бюджетной политики в сторону поддержки приоритетных высокотехнологичных проектов. Сделан вывод о значимости комплексного государственного планирования и совершенствования инструментов стимулирования инновационной активности.

Ключевые слова: региональные инновационные системы; экономическая сложность; виды экономической деятельности; технологический суверенитет; стратегическое планирование; бюджетная политика; инновационная инфраструктура; математическое моделирование; диверсификация экономики; региональное развитие; высокотехнологичные отрасли; ресурсное обеспечение; государственная поддержка; коммерциализация инноваций; инновационно-технологический прорыв.

Введение

Вопросы определения траектории социального развития Российской Федерации в условиях неопределенности и высокой волатильности степени и характера воздействия различных факторов являются в настоящий момент объектом исследований многих отечественных специалистов. На фоне нарастающего уровня дестабилизации мировой экономики и формирования новых вызовов, связанных в том числе со сменой вектора глобализации на глокализации (адаптации глобальных тенденций к региональным рынкам с учетом местных особенностей и сохранением региональной идентичности) для государства критически важным становится разработка новых социально-экономических приоритетов и, что более значимо, выработка инструментов, направленных на их научное обоснование.

1. Теоретические основы развития региональных инновационных систем

Глазьев С. Ю. подчеркивал, что инновационно-технологический прорыв, способный обеспечить устойчивый системный рост национальной экономики, является ключевым фактором обеспечения конкурентного преимущества, в первую очередь в части формирования нового технологического уклада, обеспеченного собственными технологическими разработками, которые в свою очередь способны сформировать необходимый и достаточный уровень социальных гарантий для населения Российской Федерации [1]. Нельзя не согласиться с точкой зрения автора и дополнить, что в текущих условиях создание и интенсивное развитие научно-технической базы, обеспечивающей формирование инновационных систем как на федеральном, так и на региональном уровнях является первостепенной задачей, требующей мобилизации имеющихся ресурсов.

2. Факторы и методологические подходы к оценке регионального развития

Наращивание темпов социально-экономического развития России в текущих условиях лежит сегодня в поле формирования связанного комплекса стратегических мер, где государственные инициативы имеют научное экономическое, технико-технологическое и социальное обоснование. Определяя приоритетные направления обеспечения технологической независимости через создание инновационных систем, в т. ч. региональных и оценивая уровень их ресурсного-обеспечения должны использоваться инструменты математического моделирования, которые позволят оценивать разнородные явления, оказывающие преимущественно деструктивное воздействие на всю социально-экономическую систему Российской Федерации. К таким явлениям следует отнести:

- коррупционные проявления;
- уровень налоговой нагрузки;
- волатильность ключевой ставки и уровня инвестиционной активности;
- дисбалансы регионального развития;
- демографические явления (внутренняя трудовая миграция);
- отраслевая дифференциация оплаты труда и т. д.

Вопросы учета этих и многих других факторов при определении стратегических приоритетов экономического развития, в том числе, в части наращивания объемов производства высокотехнологичной продукции рассматривались в работах Афанасьева М. Ю. Он ввел в терминологический аппарат понятие «экономическая сложность региона», под которой понимается оценочная характеристика уровня технологического развития региона, рассчитываемая на основе показателя структуры производства по видам экономической деятельности (ВЭД) [2]. Экономическая сложность региона в соответствии с концепцией Афанасьева М. Ю. пропорциональна среднему уровню экономической сложности сильных ВЭД в его структуре. Под сильным ВЭД автор понимает вид деятельности, который занимает доминирующее положение в структуре экономике региона по объему отгруженной продукции. Результаты эмпирического исследования по сравнению уровня экономической сложности, проведенного автором, показали, что траектория регионального развития может опираться на выявление сильных ВЭД и увеличение уровня экономической сложности с целью максимизации вклада региона в национальную экономику, но вместе с тем справедливо подчеркивается, что между регионами существует корреляционная взаимосвязь — рост сильных ВЭД в одном регионе приводит к их снижению в других регионах. Это свидетельствует о наличии комплексных диспропорций в региональном развитии, которое связано с различными факторами, в том числе уровнем ресурсного обеспечения, где ключевым является бюджетное обеспечение региона.

Концепция оценки экономической сложности Афанасьева М. Ю. применительно к региональным инновационным систем нашла свое отражение и в другой его работе, где посредством применения инструментария ситуационного моделирования автор приходит к выводу о том, что диверсификация структуры региональной экономики может давать противоречивые эффекты, а именно, усиление отдельных секторов (ВЭД) может иметь негативные последствия для динамики экономического развития других регионов. Это создает необходимость проведения более глубокого и детализирования моделирования экономического развития с целью получения обоснования о необходимости диверсификации экономики и поддержке конкретных отраслей и сфер деятельности на уровне региона [3].

3. Финансово-экономические и институциональные механизмы формирования инновационных систем

Немаловажным аспектом формирования эффективных инновационных систем, способных обеспечить технологическую независимость является их финансово-экономическое обеспечение, в том числе через стратегию государственной бюджетной политики. Афанасьев М. П. и Шаш Н. Н. подчеркнули, что необходимость комплексного учета макроэкономических параметров при определении стратегии бюджетной политики сформировалась еще в период пандемии, где «необходимость адекватно реагировать на экономические, социальные, экологические и технологические вызовы» стала отправной точкой принятия нестандартных решений и перехода к стратегической модели бюджетного прорыва, целью которой является достижение темпов роста выше среднемировых за счет активного развития секторов с высокой добавленной стоимостью на основе увеличения бюджетной поддержки приоритетных проектов федеральных и региональных инновационных систем [4]. В первую очередь это касается системообразующих инфраструктурных и промышленных проектов.

Социально-экономическое развитие регионов, в том числе через формирование конкурентоспособных инновационных систем невозможно без разработки системы государственного планирования, которая должна обеспечивать координацию региональных систем и, как отмечают ведущие отечественные эксперты, должна являться «важнейшим институтом развития страны» [5]. При этом общегосударственная система государственного планирования должна обеспечивать преимущество региональных систем планирования, где ключевыми требованиями должны стать:

- устойчивость регионального экономического роста посредством активного развития сильных ВЭД;
- консолидированность составляющих региональной экономики, которые обеспечивают синхронность развития ключевых отраслей;
- инновационность региональной экономики как совокупность характеристик, обеспечивающих восприимчивость экономической среды к различного рода инновациям (технологическим, институциональным, организационным);
- сбалансированность и организованность посредством выстраивания высокоэффективных управленческих систем.

Создание инновационных систем на уровне регионов в значительной степени зависит и от других немаловажных факторов. Гарибов А.Г. отмечает, что с учетом значительного сокращения жизненных циклов технологий все более значимую роль начинают инструменты налогового стимулирования инновационных процессов [6]. При этом автор подмечает значимую проблему — превалирование стимулирующих мер на начальных стадиях создания инноваций, что негативно сказывается на поддержке финальных этапов, включая коммерциализацию. Нельзя не согласиться с точкой зрения автора, что инновационно-ориентированные предприятия, будучи ключевым элементом региональных инновационных систем, в последние годы получили значительный объем государственной поддержки, включая налоговое стимулирование на ранних этапах (формирование концепции, создание MVP), но мер, обеспечивающих их продвижение на рынки и содействие в коммерческих поставках, в том числе на ограниченные внешние рынки значительно меньше.

Заключение

Развитие региональных инновационных систем является ключевым условием технологического суверенитета и устойчивого социально-экономического развития России. Формирование сильных высокотехнологичных видов экономической деятельности и использование

концепции экономической сложности позволяют выявлять структурные дисбалансы, оценивать взаимное влияние регионов и обосновывать стратегические меры, направленные на повышение эффективности региональной экономической политики.

Эффективность инновационных систем во многом определяется качеством государственного планирования и достаточностью финансово-экономической поддержки, включая корректировку бюджетной политики в пользу приоритетных технологических проектов. Вместе с тем сохраняются проблемы недостаточной поддержки заключительных стадий инновационного цикла, что требует совершенствования механизмов стимулирования и укрепления управленческих инструментов для обеспечения устойчивого вклада регионов в национальное развитие.

Литература

1. Глазьев С. Ю. Рывок в будущее. Россия в новых технологическом и мирохозяйственных укладах / С. Ю. Глазьев. – Москва : Книжный мир, 2018. – 768 с.

2. Афанасьев М. Ю., Гусев А. А. Экономическая сложность: траектории регионального развития / М. Ю. Афанасьев, А. А. Гусев // Анализ и моделирование экономических и социальных процессов: Математика. Компьютер. Образование. – 2024. – № 31. – С. 28–46.

3. Афанасьев М. Ю., Гусев А. А. Ситуационное моделирование траекторий регионального развития на основе концепции экономической сложности / М. Ю. Афанасьев, А. А. Гусев // Региональная экономика и управление : электронный научный журнал. – 2024. – № 2 (78). – С. 10.

4. Афанасьев М. П., Шаш Н. Н. Бюджетная политика формирования технологического суверенитета / М. П. Афанасьев, Н. Н. Шаш // Вопросы государственного и муниципального управления. – 2025. – № 1. – С. 64–92.

5. Полтерович В. М. На пути к общей теории социально-экономического развития: к синтезу двух канонов / В. М. Полтерович // Вопросы теоретической экономики. – 2022. – № 1. – С. 48–57.

6. Гарибов А. Г. Налоговые стимулы обеспечения технологического суверенитета / А. Г. Гарибов // Налоги и налогообложение. – 2025. – № 4. – С. 14–25.

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА СБАЛАНСИРОВАННОГО ОБРЕЗАНИЯ

А. В. Кащенко

Воронежский государственный университет

Аннотация. В статье рассматривается метод сбалансированного обрезания для линейных динамических систем. Данный метод основан на анализе грамианов управляемости и наблюдаемости и позволяет понижать порядок математической модели без существенной потери точности. Приводится краткое описание теоретических основ метода, включающее вычисление грамианов, разложение Холецкого и сингулярное разложение. Для численного исследования разработана программа на языке Wolfram Mathematica, демонстрирующая применение алгоритма на тестовых примерах. Полученные результаты подтверждают эффективность метода при построении упрощённых моделей, сохраняющих динамические свойства исходных систем.

Ключевые слова: линейные динамические системы, понижение размерности, сбалансированное обрезание, грамиан управляемости, грамиан наблюдаемости, разложение Холецкого, сингулярное разложение, балансировка системы, модель пониженного порядка.

Введение

Одной из актуальных задач современной теории управления является построение моделей, сочетающих точность описания и вычислительную простоту. Реальные технические и физические системы нередко описываются уравнениями с матрицами высокого порядка, что затрудняет анализ, управление и моделирование таких систем. В этих условиях особое значение приобретают методы понижения размерности, позволяющие заменить исходную модель более простой без существенной потери её свойств.

Одним из наиболее надёжных и теоретически обоснованных подходов является метод сбалансированного обрезания [1, 2, 4–9, 12]. Его суть состоит в приведении системы к сбалансированным координатам, в которых грамианы управляемости и наблюдаемости принимают одинаковый диагональный вид. Диагональные элементы, называемые сингулярными числами, определяют степень важности каждого состояния. Исключая состояния с малыми сингулярными числами, получают модель меньшего порядка, сохраняющую устойчивость и динамические характеристики исходной системы.

В представленной работе реализован алгоритм сбалансированного обрезания в среде Wolfram Mathematica [10, 11, 3]. Показаны этапы построения преобразующих матриц, приведены расчёты для тестовых данных и сравнение результатов до и после понижения размерности. Работа демонстрирует практическое применение метода и подтверждает его эффективность для упрощения моделей динамических систем.

1. Алгоритм сбалансированного обрезания

Рассматривается линейная стационарная динамическая система в пространстве состояний:

$$\begin{aligned}\dot{x}(t) &= Ax(t) + Bu(t), \\ \dot{y}(t) &= Cx(t) + Du(t),\end{aligned}\tag{1}$$

где $A \in R^{N \times N}$, $B \in R^{N \times q}$, $C \in R^{p \times N}$, $D \in R^{p \times q}$ — постоянные матрицы; $x(t)$ — вектор состояния, $u(t)$ — вход, $y(t)$ — выход.

При большом порядке N модель становится вычислительно сложной. Задача понижения размерности состоит в построении приближённой системы меньшего порядка $n < N$, сохраняющей поведение исходной системы:

$$\begin{aligned}\dot{\hat{x}}(t) &= \hat{A}\hat{x}(t) + \hat{B}u(t), \\ \hat{y}(t) &= \hat{C}\hat{x}(t) + Du(t),\end{aligned}\tag{2}$$

такой, что выход приближённой системы $\hat{y}(t)$ отличается от выхода исходной системы $y(t)$ лишь на малую величину [1, 2, 4–9, 12].

Метод сбалансированного обрезания основан на анализе управляемости и наблюдаемости системы. Для системы (1) определим грамианы:

$$P = \int_0^{\infty} e^{At} B B^H e^{A^H t} dt,\tag{3}$$

$$Q = \int_0^{\infty} e^{A^H t} C^H C e^{At} dt,\tag{4}$$

Матрицы P и Q положительно определены, если система управляема и наблюдаема.

Метод включает два шага [4]:

1. *Балансировка*. Находится невырожденное преобразование T , при котором оба грамиана принимают одинаковый диагональный вид:

$$T P T^H = T^{-H} Q T^{-1} = \Sigma,\tag{5}$$

где Σ является диагональной матрицы:

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sigma_2 & \dots & 0 \\ \vdots & \dots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \sigma_N \end{pmatrix},\tag{6}$$

где $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_N > 0$ — сингулярные числа, характеризующие вклад каждого состояния в поведение системы.

2. *Обрезание*. Из сбалансированной системы исключаются состояния, соответствующие наименьшим σ_i , что приводит к системе пониженного порядка n .

2. Реализация в Wolfram Mathematica

Реализация алгоритма оформлена в виде отдельного пакета Mathematica, чтобы им можно было пользоваться из других программ. В начале файла открывается пакет конструктором:

```
BeginPackage["BalancedPruning"];
```

и сразу задаётся краткое описание основной функции через `BalancedPruning::usage = ...`, а также задаётся опция по умолчанию:

```
Options[BalancedPruning] = { op -> "Cholesky" };
```

Это значит, что функция может работать с разными способами построения балансирующего преобразования, но если пользователь ничего не укажет, будет выбран вариант с разложением Холецкого. Далее открывается приватная часть пакета:

```
Begin["Private"];
```

в которой реализуется вся логика.

Сама функция объявляется так, чтобы на вход она принимала четыре матрицы системы A , B , C , D , число n — требуемый порядок пониженной модели — и набор опций:

```
BalancedPruning[a_?MatrixQ, b_?MatrixQ, c_?MatrixQ, d_?MatrixQ,
               n_Integer, OptionsPattern[]] :=
  Module[ {...}, ... ]
```

Проверки `_?MatrixQ` нужны, чтобы сразу отсеять некорректные вызовы: функция рассчитана именно на матрицы.

Дальше исходные матрицы превращаются во встроенный объект динамической системы:

```
ssm = StateSpaceModel[{a0, b0, c0, d0}];
```

Это сделано потому, что в Mathematica уже есть готовые функции для вычисления грамианов от объекта `StateSpaceModel` и мы хотим их использовать. Поэтому сразу посчитаем оба грамиана:

```
pGramian = ControllabilityGramian[ssm];
qGramian = ObservabilityGramian[ssm];
```

После вычисления грамианы симметризируются усреднением с сопряжённо-транспонированной матрицей — это чисто числовая поправка, чтобы грамианы были заведомо строго эрмитовыми:

```
pGramian = (pGramian + ConjugateTranspose[pGramian]) / 2;
qGramian = (qGramian + ConjugateTranspose[qGramian]) / 2;
```

По значению опции `or` выбирается способ построения балансирующего преобразования. Если задан вариант `Cholesky`, то для грамиана управляемости вычисляется разложение Холецкого, и по его результатам формируется матрица u , которая в дальнейшем используется для балансировки обоих грамианов.

Далее, после построения матрицы u , выполняется приведение грамиана наблюдаемости к базису, связанному с грамианом управляемости. Для этого вычисляется матрица:

```
uQ = ConjugateTranspose[u].qGramian.u;
```

то есть к Q применяется то же преобразование, которое использовалось для грамиана управляемости.

Следующим шагом для полученной матрицы $u^H Q u$ выполняется сингулярное разложение:

```
{k, sigma, kH} = SingularValueDecomposition[uQ];
```

Так мы получаем ортогональные (унитарные) матрицы k, k^H и диагональную матрицу Σ с сингулярными числами, которые и будут служить мерами значимости состояний при последующем обрезании.

Для подготовки балансирующего преобразования сингулярные числа нормируются:

```
sigmaHalf = Sqrt[Sqrt[sigma]];
```

то есть берётся матричная степень $\sigma^{\frac{1}{4}}$.

Балансирующее преобразование и его обратная матрица задаются формулами:

```
t = sigmaHalf.ConjugateTranspose[k].Inverse[u];
tinv = u.k.PseudoInverse[Sqrt[Sqrt[sigma]]];
```

что соответствует переходу к сбалансированным координатам.

В этих координатах исходная система переписывается умножением на T и T^{-1} :

```
aTilde = t.a0.tinv;
bTilde = t.b0;
cTilde = c0.tinv;
```

Получаем сбалансированные матрицы $\tilde{A}, \tilde{B}, \tilde{C}$.

Чтобы оставить только первые n наиболее значимых состояний, вводится проекционная матрица Λ :

```
lambda = Table[If[i == j, 1, 0], {i, 1, n0}, {j, 1, dim0}];
lambdaH = ConjugateTranspose[lambda];
```

Она выбирает первые n строк и столбцов в сбалансированном представлении.

Матрицы системы пониженного порядка получаютс­я проецированием сбалансированных матриц:

```
aReduced = lambda.aTilde.lambdaH;
bReduced = lambda.bTilde;
cReduced = cTilde.lambdaH;
dReduced = d0;
```

В результате образуется система порядка n с матрицами A_r , B_r , C_r , D_r .

Для наглядной проверки формируются два объекта состояния — исходный и обрезанный — и для них вычисляются отклики на одно и то же входное воздействие. Затем результаты отображаются на одном графике, что позволяет сравнить точность аппроксимации:

```
sysOriginal = StateSpaceModel[{a0, b0, c0, d0}];
sysReduced = StateSpaceModel[{aReduced, bReduced, cReduced, dReduced}];
```

```
Clear[input];
input[xt_] := HeavisideTheta[xt - 1];
```

```
Print[Style[«Результат», 24]];
Print[Style[StringForm[«Размерность исходной системы: ``», dim0], 16]];
Print[Style[StringForm[«Размерность пониженной системы: ``», n0], 16]];
```

```
outputOriginal = OutputResponse[sysOriginal, input[xt], {xt, 0, 50}];
outputReduced = OutputResponse[sysReduced, input[xt], {xt, 0, 50}];
```

```
Print @ Plot[
  {Re @ outputOriginal, Re @ outputReduced},
  {xt, 0, 50},
  PlotStyle -> {
    Directive[Darker[Red], AbsoluteThickness[5]],
    RGBColor[0.10, 0.45, 0.85]
  },
  PlotLegends -> {«Исходная система», «Обрезанная система»},
  AxesLabel -> {«Время», «Выход»},
  PlotLabel -> «Сравнение выходных данных»
];
```

3. Результаты

Для проверки работоспособности разработанного модуля была сгенерирована искусственная линейная система высокого порядка. В эксперименте задавалась размерность исходной системы $N = 100$, требуемый порядок пониженной модели $n = 25$.

Матрица A формировалась как подобная случайной диагональной матрице (через умножение на случайную невырожденную матрицу и её обратную), что позволяет получить управляемую и наблюдаемую систему. Матрицы B и C задавались в виде столбца и строки единичного вида, матрица D принималась нулевой. После этого весь набор матриц приводился к повышенной точности вычислений:

```
BalancedPruning[a, b, c, d, n, op → "Cholesky"];
```

Результат

Размерность исходной системы: 100

Размерность пониженной системы: 25

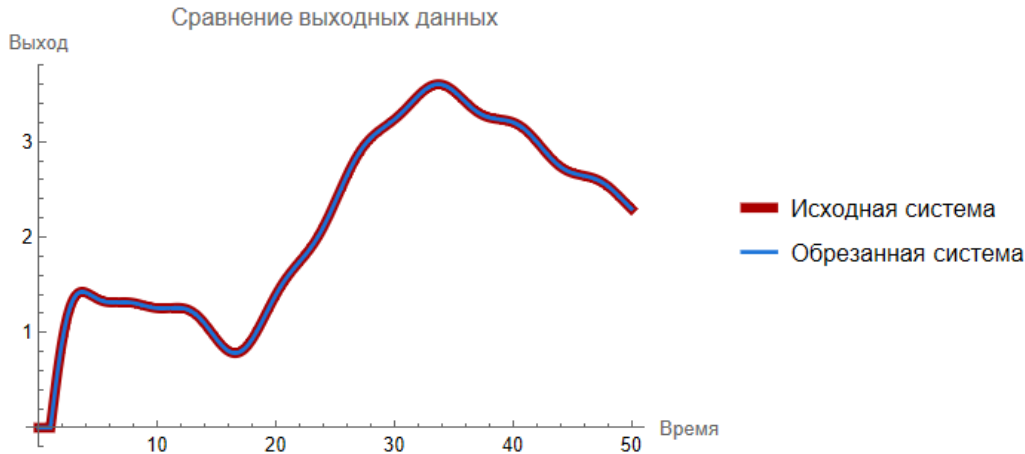


Рис. 1. Результат работы программы

Заключение

В ходе работы проведено построение модели пониженного порядка для линейной динамической системы на основе метода сбалансированного обрезания. Выполнено вычисление грамианов управляемости и наблюдаемости и переход к сбалансированным координатам, после чего исключены состояния с наименьшими сингулярными числами. Полученная система сохраняет динамическое поведение исходной при меньшей размерности, что подтверждается численным сравнением откликов.

Литература

1. Беломытцева Е. Г. Метод сбалансированного обрезания для задачи об ограниченных решениях / Е. Г. Беломытцева, В. Г. Курбатов, Е. Б. Туленко // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Серия: Физ.-мат. науки. – 2018. – № 3. – С. 91–104.
2. Курбатов В. Г. Вычислительные методы спектральной теории : учебное пособие / В. Г. Курбатов, И. В. Курбатова. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2022. – 326 с.
3. Курбатов, В. Г. Пакет «Математика» в задачах математической и теоретической физики : учебное пособие / В. Г. Курбатов, В. Е. Чернов. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2025. – 292 с.
4. Antoulas A. C. Approximation of large-scale dynamical systems / A. C. Antoulas. – Philadelphia, PA : Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), 2005. – Vol. 6 of Advances in Design and Control. – 479 p.
5. Projection methods for balanced model reduction : Technical Report : 01-03 / Rice university, Department of Computational and Applied Mathematics ; Executor: A. C. Antoulas, D. C. Sorensen. – Houston : 2001. – March.
6. Gugercin S. A survey of model reduction by balanced truncation and some new results / S. Gugercin, A. C. Antoulas // Internat. J. Control. – 2004. – Vol. 77, No 8. – P. 748–766.
7. Polderman J. W. Introduction to mathematical systems theory. A behavioral approach / J. W. Polderman, J. C. Willems. – New York : Springer-Verlag, 1998. – Vol. 26 of Texts in Applied Mathematics. – 424 p.

8. *Reis T.* Balanced truncation model reduction of second-order systems / T. Reis, T. Stykel // *Math. Comput. Model. Dyn. Syst.* – 2008 .– Vol. 14, No 5. – P. 391–406.
9. *Roberts J. D.* Linear model reduction and solution of the algebraic Riccati equation by use of the sign function / J. D. Roberts // *Internat. J. Control.* – 1980. – Vol. 32, No 4. – P. 677–687.
10. *Wolfram S.* *The Mathematica book* / S. Wolfram. – Fifth edition. – New York : Wolfram Media, 2003. – 1488 p.
11. *Wolfram S.* *An elementary introduction to the Wolfram Language* / S. Wolfram. – Second edition. – Champaign, IL : Wolfram Media, 2017. – 339 p.
12. *Zhou K.* Balanced realization and model reduction for unstable systems / K. Zhou, G. Salomon, E. Wu // *Internat. J. Robust Nonlinear Control.* – 1999.– Vol. 9, No 3. – P. 183–198.

ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

Ю. А. Клименко¹, А. П. Преображенский¹, Я. Б. Кораблев²

¹*Воронежский институт высоких технологий*

²*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж*

Аннотация. В данной работе рассматриваются вопросы проведения информационного мониторинга с целью определения энергоэффективности энергетических объектов во взаимосвязи а показателями безопасности энергетической структуры при воздействии внешних угроз. Разработана и исследована функциональная структура системы информационного мониторинга энергетических объектов. Определены основные структурные подсистемы для качественного проведения информационного мониторинга. Выявлена зависимость энергоэффективности системы при постоянно изменяющихся параметрах технологического процесса в сравнении с математической моделью протекания идеального процесса. Приведены структурные схемы взаимодействия между основными компонентами распределенной энергетической системы. Проведено исследование определения качественных и количественных оценок результатов проведения информационного мониторинга.

Ключевые слова: мониторинг, информация, система, энергетика, энергоэффективность, анализ, объект, процесс, оценка.

Введение

Определение энергоэффективности функционирования энергетических объектов возможно на основе проведения информационного мониторинга. Одним из важных показателей энергоэффективности является безопасность энергетической структуры [1].

Проведение информационного мониторинга не только собирает информацию о состоянии энергетических объектов, но в конечном итоге выявляет уязвимые места энергетической структуры, которые являются причиной аварий, проявлений неисправностей, технических ошибок обслуживающего персонала и организационных промахов в принятии решений руководящим звеном энергетических и промышленных предприятий [2].

Поэтому проведение глубокого информационного мониторинга в разных областях деятельности позволяет выявить угрозы целостности энергетической структуры и исключить большое количество нештатных ситуаций, которые прямым образом влияют на процесс постоянного энергообеспечения широкого круга потребителей и на качество поставляемого энергетического ресурса.

Функциональная структура системы мониторинга

Функциональная структура системы мониторинга включает в себя следующие подсистемы:

- 1) подсистема мониторинга;
- 2) подсистема прогнозирования;
- 3) подсистема технического сопровождения.

Подсистема мониторинга занимается вопросами сбора и анализа информации о текущем состоянии энергетической системы, анализа и оценки потенциальных возможностей ее отдельных элементов и всей системы в целом [3].

Подсистема прогнозирования занимается вопросами дальнейшей обработки и актуализации полученной информации для определения основных направлений деятельности в области оптимизации.

Подсистема технического сопровождения занимается вопросами методического, организационного и технического обеспечения подсистем мониторинга и прогнозирования.

Организационная структура системы информационного мониторинга включает в себя следующие блоки:

- координационный;
- исполнительный;
- экспертный;
- технический;
- программный;
- аналитический.

Основным принципом определения энергоэффективности при проведении информационного мониторинга является непрерывность сравнительного анализа постоянно измеряемых параметров технологического процесса на входе и выходе системы с аналогичными параметрами математической модели идеального процесса, т. е. определение достижимой энергоэффективности в текущих условиях внешней среды.

На рис. 1 отображена структурная схема мониторинга энергетической структуры.



Рис. 1. Структурная схема информационного мониторинга энергетической структуры

На структурной схеме видно, что на входной стадии потребляемые энергетические ресурсы обеспечивают протекание технологического процесса и на выходной стадии, после переработки и максимально полного возможного использования, производят определенный результат в виде выполняемой работы, выделении вторичной энергии или создания нового энергетического ресурса.

Производимые измерения параметров показывают происходящие изменения энергетического баланса производственного процесса и показывают результаты на основании которых делается расчет энергоэффективности всего технологического процесса [4]. При воздействии определенных внешних факторов и изменении условий их влияния на технологический процесс вырабатывается стратегия адаптивной подстройки под наиболее приближенную математическую модель протекания идеального расчетного процесса.

Исследование проблем при проведении анализа делится на два больших направления:

- 1) качественная оценка вариантов развития систем энергетики;

2) количественная оценка последствий возможных возмущений в работе ЭС в целом, выявление слабых мест в энергоснабжении потребителей и формирование возможных решений по обеспечению качества электроэнергии.

Схема исследований проблем проведения информационного мониторинга, представленная на рис. 2, разделена на два этапа: качественного и количественного анализа. Исходной базой для проведения исследований являются технико-экономические характеристики энергетических объектов и отчётные данные о состоянии энергетической структуры (ЭС) в целом [5].

На этапе качественного анализа на основе исходных данных и анализа состояний формируются расчётные условия для вычислительного эксперимента на этапе количественного анализа.

Качественная оценка ситуации определяется из проведенного анализа и оценки уровня потребления электроэнергии, когда на основании полученных данных происходит формирование сценариев расчетных ситуаций при воздействии угрозы целостности энергетической структуры.

Количественная оценка складывается из оценки состояний после реализации сценариев расчетных ситуаций, на основании последних производится определение мест возможных аномалий в энергетической структуре, а также реализуется прогноз на дальнейшее изменение состояния энергетической структуры и вырабатывается стратегия дальнейшего мониторинга.

Для выбора эффективных мероприятий производится отбор наиболее эффективных действий, удовлетворяющих в полной или частичной мере множеству всех сценариев развития событий.



Рис. 2. Схема исследований проблем проведения информационного мониторинга

На основании вышеизложенных мероприятий и действий вырабатываются и принимаются решения с учетом воздействия на энергетическую структуру различных дополнительных факторов.

Информационный мониторинг необходимо проводить как в крупных централизованных энергетических структурах, так и в распределенных, которые являются по сути децентрализованными отдельными элементами энергетической системы.

2. Взаимодействие между различными компонентами распределительной энергетической системы

Распределенные энергетические объекты могут управляться на основе некоторого центра. При этом необходимо соблюдать определенные требования к качеству электрической энер-

гии, которая будет доходить до потребителей. Их можно обеспечить на основе использования алгоритмов принятия решений, которые реализованы в рамках соответствующих информационных ресурсов.

Можно для того, чтобы осуществлять оценку энергетических объектов в распределенной среде, опираться на комплексную среду, в которой осуществляются процессы информационного мониторинга. Это реализуется в рамках эффективного использования современных цифровых систем.

Особенности комплексной среды, на базе которой проводится информационный мониторинг, оказывают влияние на выбор методов оптимизации и математического моделирования. Кроме того, важно учесть возможности учета различных экспертных подходов при описании механизмов взаимодействия между потребителями и центром принятия решений. Такие подходы должны быть использованы на самых разных уровнях, связанных с моделированием [6].

Необходимо рассматривать в рамках единого системного подхода в виде единого целого распределенные энергетические системы, в которых выделяются отдельные элементы, которые функционируют однородным образом. Эти элементы могут быть соответствующим образом пронумерованы.

С точки зрения осуществления процедур мониторинга можно указать следующие характеристики энергетических объектов, для которых происходят процессы цифровой трансформации:

- по качеству работы энергетических объектов проведение опросов потребителей с точки зрения того, насколько они удовлетворены, при результате соответствует множеству режимов функционирования объектов; $n_{2m} = 1, N_{2m}$ — соответствует множеству вопросов для m -го режима.

- для энергетических объектов по потребителям оценивается соответствующая удовлетворенность y_{in_1} , с учетом того, что общее число показателей, связанных с качеством будет $n_1 = 1, N_1$;

- энергетические объекты при их качественном описании могут быть соотнесены с факторами x_{ji} , имеющими определенные значения, при этом $j_l = 1, J_l$ — множество факторов; $l = 1, L$ — множество режимов работы.

- для энергетических объектов могут быть получены экспертные оценки их работы.

При создании модели информационного мониторинга и экспертной системы распознавания взаимосвязанных функциональных узлов оборудования необходимы следующие элементы структуры:

- автоматизированная система анализа данных о состоянии оборудования;
- автоматизированная система измерения протекающих процессов;
- комплементарная система хранения полученной информации;
- адаптированная система анализа распределённых вычислений;
- интерактивная экспертная система представления результатов в визуализированном виде.

То есть, в конечном счете, решить средствами созданного программного продукта реальную задачу автоматического построения аналитической матрицы для нескольких групп функциональных узлов оборудования энергетической инфраструктуры

На рис. 1 показано, каким образом происходит взаимодействие энергетических объектов с управляющим центром. Со стороны потребители электрической энергии формируются соответствующие критерии y_{in_1}, y_{in_2} .

Взаимодействие между энергетическими объектами и потребителями описывается на основе показателей $r_i, i = 1, I$.

Для того, чтобы обеспечить работоспособность системы, необходимо применить определенный объем ресурсов $V_i, i = 1, I$.

Можно использовать два подхода, чтобы обеспечить соответствующие характеристики качества в распределительной энергетической системе [6]:



Рис. 3. Схема взаимодействия между различными компонентами распределенной энергетической системы

1) Существующий ресурс V_i оптимальным образом перераспределяется между компонентами в системе. Это происходит при участии управляющего центра.

2) Используются дополнительным образом вводимые ресурсы.

Для энергетических объектов могут быть выделены соответствующие функции качества. Тогда при осуществлении распределения ресурсов возникает следующая оптимизационная задача

$$\sum_{j=1}^J Y_j(v_{ij}) \rightarrow \max$$

$$\sum_{j=1}^J v_{ij} \leq V_i, \quad v_{ij} \geq 0, \quad j = \overline{1, J}.$$

Общее число комбинаций значений варьируемых параметров в таких задачах, как правило, чрезвычайно велико, что является общей особенностью исследований энергоэффективности. Таким образом, комбинаторный характер методов проведения таких исследований обоснованно требует использования распределённых вычислений при исследовании проблем проведения информационного мониторинга.

Заключение

В результате проведения краткого исследования по проблеме проведения информационного мониторинга с целью определения оценки энергоэффективности энергетических объектов были достигнуты следующие результаты:

1) определены взаимосвязи энергоэффективности и безопасности энергетических структур и их зависимости от внешних воздействий;

2) исследована функциональная структура системы информационного мониторинга энергетических объектов;

3) выявлена зависимость структуры системы информационного мониторинга от изменения параметров технологического процесса при проведении сравнительного анализа с математической моделью идеального процесса.

Литература

1. Тульский В. Н. Управление качеством электроэнергии в электрических сетях / В. Н. Тульский, И. И. Карташев, М. Г. Симуткин, Х. Б. Назиров, Н. М. Кузнецов // Горный журнал. – 2012. – № 12. – С. 52–55.

2. Савина Н. В. Системный анализ потерь электроэнергии в электрических распределительных сетях: моногр. / Н. В. Савина; отв. ред. Н. И. Воропай. – Новосибирск : Изд-во Наука, 2008. – 228 с.

3. Жилина А. А., Кострова В. Н., Преображенский Ю. П. Разработка методики постановки задачи выбора управленческого решения на основе оптимизационного подхода // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2018. – Т. 6, № 1 (20). – С. 243–253.

4. Львович Я. Е., Львович И. Я., Чопоров О. Н., Горячко В. В., Каширина И. Л., Сорокин С. О., Тишуков Б. Н., Михель А. А., Чернышов Б. А., Швиндт А. Н., Преображенский А. П., Сапожников Г. П., Львович Э. М., Львович К. И., Преображенский Ю. П., Бершадский А. М. Оптимизация цифрового управления в организационных системах. – Воронеж, 2021. – 191 с.

5. Клименко Ю. А., Преображенский А. П. О системном анализе энергетического предприятия // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2022. – № 1 (40). – С. 122–124.

6. Клименко Ю. А., Преображенский А. П. Анализ некоторых методов управления энергетическими системами // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2021. – № 1 (36). – С. 100–102.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ, СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ

И. Д. Коток

Воронежский государственный университет

Аннотация. Статья представляет собой подробный обзор двух популярных методов оценки качества предоставляемых услуг — метода «Тайный покупатель» и метода критических случаев. Оба метода проанализированы с точки зрения их применимости, преимуществ и ограничений при оценке качества образовательных услуг в заведениях высшего образования. Особое внимание уделено специфике вузов как сложных систем, где качество достаточно большого количества параметров, а не только от отдельных взаимодействий. Рассматриваются алгоритмы работы методов, примеры применения, а также причины их ограниченной эффективности для комплексной оценки. В заключение предлагаются рекомендации по комбинированию с другими подходами, такими как SERVQUAL, для выявления точек роста и оптимизации образовательного процесса.

Ключевые слова: оценка качества, образование, тайный покупатель, маркетинговая стратегия, метод критических случаев, CIT, SERVQUAL, оптимизация процессов, анализ данных.

Введение

Оценка качества предоставляемых услуг не новое явление, в реальной практике существует достаточно большое количество попыток оптимизировать это действие. В университетской среде сейчас одним из основных механизмов воздействия на образовательные организации является система менеджмента качества. К сожалению, она больше направлена не на оптимизацию процессов, а создание бюрократических рамок для работы организации. Во многом – это хорошо, когда документооборот выдержан в одной стилистике. С другой стороны, накладывается дополнительное количество организационных проблем на исполнителей в то время, как должна облегчать их работу.

Помимо этого, оценка качества предоставляемых образовательных услуг регулярно проходит в каждом университете нашей страны, но общей какой-то системы нет, так как основная задача не найти точки роста и работать над ними, а скорее определить их и сделать менее заметными, но решение первопричиной проблемы ставиться только в идеи всего процесса. В нашем университете каждый год и студенты, и выпускники, и преподаватели проходят подобные анкетирования, которые в дальнейшем обрабатываются и выявляются наиболее проблемные моменты в организации, но опять же нет общей картины, не сводиться единый мониторинг по всем вузам, а если такой и есть, то к сожалению он скрыт от абитуриентов, они не могут увидеть реальное положение дел в той или иной образовательной организации, чем и могут воспользоваться некоторые вузы, используя высокопарные слова и красивые картинки. В связи с этим хотелось бы определить, какой-то наиболее удобный метод оценки качества для разработки программного продукта, который будет обрабатывать данные об образовательной организации и в дальнейшем выступать в качестве рекомендательной системы.

В следующих двух примерах будут рассмотрены наиболее известные методы оценки качества предоставляемых услуг, а также проанализированы основные плюсы и минусы при оценке качества предоставления образовательных услуг.

1. Методы оценки качества

1.1. Тайный покупатель

Метод тайного покупателя (mystery shopping) — это инструмент маркетинговых исследований для объективной оценки качества обслуживания клиентов в различных сферах. Суть метода заключается в том, что специально обученный представитель под видом обычного покупателя посещает магазин, салон или звонит в колл-центр, совершает тестовую покупку или запрашивает услугу, фиксируя детали взаимодействия: приветствие, знание ассортимента, скорость обслуживания и соблюдение стандартов. Процесс начинается с постановки цели, разработки брифа и чек-листа критериев оценки; агент анонимно ведет себя естественно, чтобы избежать влияния на персонал, и собирает доказательства в виде фото, видео или аудио. После визита заполняется отчет с баллами по шкале, который анализируется для выявления проблем, помогая мотивировать сотрудников, сравнивать сервис с конкурентами и снижать отток клиентов. Преимущества включают объективность и точность данных, хотя метод требует квалифицированных агентов и затрат; научные работы подтверждают его эффективность в HoReCa и ритейле для улучшения клиентского опыта при регулярных визитах от ежемесячных до квартальных [1].

Структура отчета охватывает заполненную анкету или чек-лист с оценками по этапам взаимодействия, аудиозаписи разговоров, фото фасада, товаров, чеков и раздаточных материалов, завершаясь аналитической сводкой в табличном и графическом виде с итоговыми процентами выполнения стандартов. Чек-лист делится на блоки: внешний вид магазина, состояние торгового зала и выкладка товаров; основной раздел — процесс обслуживания, включая приветствие, установление контакта, выявление потребностей, презентацию, преодоление возражений и завершение сделки.

Дополнительно оценивают работу на кассе, возвраты, примерочную (для одежды) или расчеты (для стройматериалов); помимо основных этапов, отчет включает специфические проверки, адаптированные под тип бизнеса.

Для розничной торговли проверяют кассу на точность расчетов, скорость и вежливость, правила возврата (информирование о сроках, документах, обработка претензий) и состояние примерочной (чистота, конфиденциальность, наличие зеркал, вешалок); в строительных магазинах акцентируют расчеты материалов (точность замеров, консультации по количеству, совместимости), наличие инструментов для примерки и упаковку заказов.

Пример: в отчете по одежному магазину фиксируют, была ли примерочная проветрена, открыты ли шторы и предложены аксессуары для комплекта, снижая баллы за грязь или отсутствие помощи; для автосервисов оценивают зону ожидания клиентов, информирование о ходе работ и передачу ключей. Оценка ведется по 100-балльной шкале, где каждый критерий имеет вес (например, приветствие — 10 баллов, выявление потребностей — 20 баллов). Итоговый процент рассчитывается исходя из того, что сумму набранных баллов делят на максимальный бал и приводят к процентному соотношению с выделением цветовой индикацией в зависимости от набранных баллов (зеленый более 90 %, желтый 70 — 90 %, красный менее 70 %).

Пример: если максимум 500 баллов, а набрано 420, результат 84 % — «хорошо, но требуется доработка в презентации товаров»; дополнительно применяют весовые коэффициенты для приоритетных блоков (обслуживание $\times 1.5$), а график динамики сравнивает текущий визит с предыдущими для выявления трендов, позволяя руководству фокусироваться на слабых местах, например, если «преодоление возражений» стабильно ниже 80 %. Итоговый анализ отчета приводит к корректировкам в обучении персонала и стандартах компании.

Как уже было сказано ранее система имеет достаточно большую популярность и результативность в некоторых сферах, но что касается образовательных услуг — тут немного сложнее. Здесь выделяются три основные проблемы:

1. Длительность и сложность процесса — образовательные услуги в высших учебных заведениях растягиваются на несколько лет и включают в себя достаточно много различных этапов, который каждый по-своему уникален, начиная с поступления, заканчивая защитой диплома и трудоустройством. Также тайный покупатель не может приобрести образовательные услуги просто так, нужно пройти процедуру поступления, предоставить документы и посещать мероприятия, что делает процесс практически невозможным.

2. Проблема анонимности и квалификации — в вузах профессорско-преподавательский состав и административно управленческий персонал достаточно быстро смогут выявить агента среди общей массы студентов. Также агент должен обладать рядом навыков и знаний, которые необходимы для обучения. Помимо этого, возрастные ограничения агента тоже вызывают сложности, выбрать подростка на эту роль по этическим соображениям невозможно, также, как и с его стороны возможно предвзятое оценивание ситуации.

3. Субъективность и этическая составляющая — качество образования субъективно и зависит от долгосрочных результатов (знания, навыки), а не от разового взаимодействия, что снижает надежность метода, зависящего от памяти агента и его интерпретации. Вузы часто сопротивляются проверкам из страха за репутацию, а этические нормы запрещают обман преподавателей; метод лучше подходит для административного сервиса (приемная комиссия), но не для учебного процесса.

1.2. Метод критических случаев

Метод критических случаев (Critical Incident Technique, CIT) представляет собой качественный исследовательский подход к сбору и анализу данных о реальных ситуациях успеха или неудачи в предоставлении услуг. Он фокусируется на конкретных наблюдаемых событиях — «критических инцидентах», которые существенно повлияли на восприятие качества, помогая выявить ключевые факторы поведения персонала или процессов без обобщенных или абстрактных оценок вроде «хороший/плохой».

Метод основан на описании наблюдаемых действий или событий с четкими положительными или отрицательными последствиями для клиента. Разработанный психологом Джоном Фленеганом в 1954 году для анализа поведения пилотов, CIT адаптирован для сферы услуг, где субъективные впечатления клиентов определяют лояльность [2]. Ключевой принцип — объективность: респонденты (клиенты, сотрудники или наблюдатели) описывают только наблюдаемые факты — что произошло, кто участвовал, какие действия были предприняты и какой был результат, — без интерпретаций или предположений. Инцидент считается «критическим», если его последствия четко наблюдаемы (клиент ушел довольным/недовольным, купил/отказался).

CIT выявляет конкретные поведения или процессы, ведущие к успеху, например, быстрая реакция на жалобу, или провалу, игнорирование запроса клиента. Результаты практически применимы для разработки стандартов обслуживания, программ обучения или корректировки процедур. Метод гибок и подходит для любых отраслей — от здравоохранения и туризма до розничной торговли и госслужб. В отличие от количественных подходов вроде SERVQUAL (опросы с шкалами и средними баллами), CIT дает детализированные нарративы, упрощая выявление редких, но критичных проблем; он контекстно-ориентированный, разбирает цепочку событий, а не общее удовлетворение. Для работы метода достаточно 50–100 описаний для надежных выводов.

Алгоритм работы этого метода выглядит следующим образом:

1. Планирование: Определите цель и выберите респондентов — сотрудников, клиентов или экспертов.

2. Сбор данных: Через интервью или анкеты попросите описать конкретные случаи: «Расскажите о ситуации, где ваше поведение привело к успеху или неудаче. Укажите обстоятельства, действия, участников и результат».

3. Анализ: Классифицируйте инциденты по категориям, например, «отзывчивость», оцените по шкале (1 — неэффективно, 5 — эффективно) и выявите общие паттерны поведения.

4. Интерпретация: Составьте рекомендации для обучения или стандартов на основе выявленных конструкторов успеха.

В ресторане клиент описывает положительный инцидент: «Официант заметил мою аллергию на орехи, хотя я не упомянул, сразу заменил блюдо и принес новое без доплаты — результат: восторг и повторный визит». Анализ выявляет навык «эмпатии и бдительности», который включают в обучение персонала. Отрицательный пример: задержка заказа без объяснений приводит к жалобе, подчеркивая нужду в коммуникации.

Какие сложности может вызвать этот метод при оценке качества образования в высших учебных заведениях? Как и в предыдущем методе можно выделить несколько моментов, которые затрудняют его использование при работе

1. Отсутствие количественной оценки. Метод качественный и базируется на нарративах, а не на измеримых метриках. В российском высшем образовании преобладают внешние оценки (лицензирование, аттестация, мониторинг), требующие количественных показателей эффективности, которых СИТ не предоставляет без дополнительной обработки [3]. Также это усложняет оптимизацию системы предоставления услуги для улучшения ситуации.

2. Метод СИТ опирается на воспоминания людей о ярких случаях, что делает его субъективным: студенты и преподаватели помнят только экстремальные успехи или провалы, а не повседневную рутину обучения. В вузах качество зависит от системных вещей — стандартов, аккредитации и правил, — а не от отдельных историй, и СИТ не дает для этого объективных цифр [4].

3. Метод критических инцидентов, ориентированный на фиксацию единичных взаимодействий, обладает ограниченной валидностью для комплексной оценки качества высшего образования. Его ключевое методологическое противоречие заключается в рассогласовании временных масштабов: оценка основывается на краткосрочных эпизодах, в то время как реальное качество образовательных результатов проявляется кумулятивно — в завершённых семестрах и программах, знаниях, компетенциях и карьерных успехах выпускников. Данный метод не релевантен для измерения структурных и долгосрочных факторов качества, таких как содержание учебных планов, состояние инфраструктуры или развивающее влияние академической среды, а также сопряжён с практической сложностью масштабируемого и репрезентативного сбора данных на протяжении всего периода обучения.

Заключение

Таким образом, два рассмотренных метода не удовлетворяют запросу на качественное оценивание образовательных услуг в такой большой информационной системе, как высшее образование. Эти методы можно было бы использовать для отдельных процессов, но сведение их в единую составляющую было бы достаточно сложным. Помимо этого, основная задача исследования — оптимизация оценки качества и выявление конкретных точек роста системы, проработав которые, можно действительно изменить конкурентную ситуацию.

Наиболее близким для решения этой проблемы является метод SERVQUAL, но у него также есть ряд недостатков, которые сложно, но уже реально обойти для оптимизации всего процесса. Работа над обратным расчетом качественной интегральной оценки сможет помочь найти те самые точки роста, а также поможет разработать стратегию по улучшению этой оценки, что в свою очередь поспособствует улучшению всей системы.

Литература

1. Сафонова Я. В. Метод маркетингового исследования «Тайный покупатель (Mystery Shopping./ Secret Shopper)»: сущность и история возникновения // Экономические исследования и разработки. – 2017. – № 9-3 (84-3). URL: <http://edrv.ru/article/03-09-2017> (дата обращения: 12.10.2025).
2. Белобжецкий В. В. Методы оценки качества услуг // РИСК: Ресурсы, информация, снабжение, конкуренция. – 2012. – № 1. URL: <https://beintrend.ru/2012-10-03-15-34-58> (дата обращения: 15.10.2025).
3. Кутыева Ф. И., Позднякова И. Р. Проблемы оценки качества образования в высшей школе России // Международный журнал экспериментального образования. – 2010. – № 4. – С. 30–31. URL: <https://expeducation.ru/ru/article/view?id=356> (дата обращения: 20.10.2025);
4. Нанавян А. М., Рыбакова И. С. Проблемы оценки качества высшего образования и динамика приема и выпуска в вузах в регионах России // Региональная экономика и управление: электронный научный журнал. – 2025. – № 2 (82). URL: <https://eee-region.ru/article/8206/> (дата обращения: 05.11.2025).

ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ ЦЕНТРОВ ЗАБОТЫ О ЖИВОТНЫХ В РОССИИ

А. Р. Красикова, М. О. Гладких

Воронежский государственный университет

Аннотация. В статье рассматриваются проблемы внедрения и использования информационных систем в центрах заботы о животных в России. Анализируется роль CRM-систем как ключевого инструмента управления, их базовые функции и требования к автоматизации отраслевых бизнес-процессов. Выявляются основные барьеры цифровизации: финансовые, технические, адаптационные и отраслевые. Предлагаются критерии выбора эффективных решений и определяются перспективы развития отечественных платформ, учитывающих специфику российского рынка. Статья будет полезна руководителям и IT-специалистам организаций, работающих в сфере заботы о животных.

Ключевые слова: CRM-система, информационные системы, центры заботы о животных, ветеринарные клиники, приюты для животных, груминг-салоны, автоматизация бизнес-процессов, электронная медицинская карта, управление волонтерами, цифровизация, российская практика, отраслевые решения, интеграция, управление данными.

Введение

Современные центры заботы о животных в России — ветеринарные клиники, приюты, груминг-салоны, тренировочные площадки — сталкиваются с необходимостью эффективно управлять комплексными бизнес-процессами. Рост числа питомцев и повышение стандартов их содержания предъявляют новые требования к организации работы таких учреждений. Ключевыми задачами становятся ведение медицинских карт, запись на услуги, управление специалистами. Успешное решение этих задач невозможно без применения специализированных информационных систем.

В данном контексте CRM-система (Customer Relationship Management) выступает в адаптированном для сферы заботы о животных формате, превращаясь в централизованное ядро для управления всеми аспектами взаимодействия: от учета подопечных и их здоровья до коммуникации с владельцами и сторонними организациями. Такая система призвана автоматизировать рутинные операции, минимизировать человеческие ошибки и обеспечить целостность данных, что напрямую влияет на качество предоставляемых услуг.

Целью данной статьи является анализ проблем, связанных с обеспечением центров заботы о животных в России эффективными информационными системами. В работе будет рассмотрена роль и базовые функции CRM-системы применительно к специфике отрасли, определены ключевые бизнес-процессы центров заботы о животных. На основе проведенного анализа существующих на рынке программных решений будут выявлены их общие недостатки и преимущества.

1. CRM-система как ключевой инструмент управления: сущность и основные функции

CRM-система — это функциональный инструмент, который помогает выстраивать и поддерживать отношения с клиентами. С ее помощью можно отслеживать все взаимодействия организации с клиентом от начала до конца в любом временном промежутке.

CRM-система призвана обрабатывать информацию о клиенте, его заявках, хранить данные специалиста, обслуживающего клиента, а также автоматизировать многие бизнес-процессы,

например, отправку уведомлений с напоминанием о визите в организацию, контроль задач специалиста.

Данные информационные системы помогают бесперебойной работе бизнеса, контролю руководства за деятельностью предприятия в целом или над отдельными процессами и сотрудниками. Информация хранится и обрабатывается в одном месте с удобством ее использования, эффективность работы компании повышается.

Применительно к сфере заботы о животных, «клиентом» становится не только владелец животного, но и сам питомец, а также волонтеры, доноры. Таким образом, отраслевая CRM-система становится единым информационным ядром, которое аккумулирует данные обо всех аспектах деятельности. К ее *базовым функциям*, критически важным для центров заботы о животных, относятся:

1. *Централизованная база данных подопечных и контрагентов*. В карточке хранится полная информация о животном (кличка, вид, порода, возраст, особые приметы, чип, фото) и его владельце (ФИО, контактные данные). Для приютов эта функция расширяется до учета всей истории животного: от поступления до пристройства в новую семью. Также в базе ведутся профили волонтеров, доноров и сотрудников организации.

2. *История обращений и медицинская карта*. Система фиксирует каждое взаимодействие: будь то визит к ветеринару, процедура груминга или тренировочное занятие. Для ветеринарных клиник это, по сути, электронная медицинская карта, содержащая анамнез, диагнозы, назначения, историю вакцинаций и обработок. Это обеспечивает преемственность лечения и исключает утерю критически важной информации.

3. *Планирование задач и автоматизация напоминаний*. CRM позволяет эффективно управлять расписанием сотрудников и ресурсами: записывать на прием, распределять нагрузки, планировать процедуры. Ключевое преимущество — автоматическая рассылка напоминаний владельцам о предстоящем визите, необходимости повторной вакцинации или обработки от паразитов, что значительно повышает лояльность и качество сервиса.

4. *Управление услугами и складом*. Система может интегрировать прайс-листы на предоставляемые услуги (ветеринарные, груминг, тренировки) и вести учет расходных материалов, кормов и медикаментов, что позволяет оптимизировать запасы и контролировать финансовые потоки.

2. Ключевые бизнес-процессы центров заботы о животных и требования к их автоматизации

Эффективность работы центров заботы о животных определяется слаженностью ключевых бизнес-процессов, которые имеют ярко выраженную отраслевую специфику. Их успешная автоматизация требует от информационной системы не просто универсальных функций, а глубокого понимания уникальных операционных задач каждого типа учреждения.

2.1. Ветеринарные клиники

Бизнес-процессы ветеринарных клиник характеризуются высокой ответственностью и необходимостью безупречного документооборота.

1. Ведение электронной медицинской карты (ЭМК):

Процесс: фиксация полной истории жизни и здоровья животного: анамнез, результаты осмотров, диагнозы, назначения, протоколы операций, данные рентген- и УЗИ-исследований, история вакцинаций и обработок.

Требования к автоматизации: система должна обеспечивать структурированное и легко-заполняемое шаблонами внесение данных, мгновенный поиск по истории, прикрепление файлов (анализы, снимки).

2. Запись на прием и управление расписанием:

Процесс: регистрация первичных и повторных обращений, распределение времени врачей, учет типа приема (консультация, процедура, операция), предотвращение накладок.

Требования к автоматизации: наличие интуитивного календаря с цветовой кодировкой, возможность онлайн-записи через сайт или мобильное приложение для клиентов, автоматическое напоминание о визите (SMS, email).

3. Учет процедур, лекарств и управление складом:

Процесс: списание медикаментов и материалов, использованных во время приема, контроль остатков на складе, формирование заказов поставщикам при достижении минимального порога.

Требования к автоматизации: интеграция ЭМК со складским модулем для автоматического списания при назначении лечения.

2.2. Приюты для животных

Процессы в приютах направлены на управление жизненным циклом животного от поступления до пристройства и вовлечение сторонней поддержки.

1. Учет поступления, содержания и пристройства животных:

Процесс: фиксация данных о новом подопечном (дата, место находки, состояние здоровья), присвоение идентификатора (чип/клеймо), ведение карты содержания (вольер, диета, наблюдения), полное документирование процесса пристройства (анкета нового владельца, договор).

Требования к автоматизации: система должна позволять легко отслеживать статус каждого животного («на карантине», «готов к пристройству», «пристроен»), хранить сканы документов и фотографии. Необходима функция формирования статистики по пристройству и возвратам.

2. Управление волонтерами, донорами и пожертвованиями:

Процесс: регистрация волонтеров, их контактов и графика работы, учет поступивших пожертвований (денежные, натуральные), ведение базы доноров и регулярных спонсоров.

Требования к автоматизации: наличие модуля для планирования задач волонтеров и учета их выполненных работ. Система должна упрощать фиксацию пожертвований, выдачу благодарственных писем и формирование отчетов для спонсоров.

2.3. Груминг-салоны и тренировочные площадки

Для этих учреждений ключевыми являются процессы, связанные с сервисом и эффективным планированием времени специалистов.

1. Запись на услуги и планирование загрузки:

Процесс: прием заявок от клиентов, распределение записей между грумерами или тренерами с учетом их специализации и продолжительности процедуры, предотвращение простоев и накладок.

Требования к автоматизации: понятное расписание с возможностью «перетаскивания» записей, учет типа услуги (например, «мытьё мелкой породы», «стрижка под машинку») и ее расчетной длительности. Желательна интеграция с онлайн-записью.

2. Учет предоставленных услуг и клиентская база:

Процесс: фиксация оказанной услуги, предпочтений клиента и питомца (например, особая косметика, особенности поведения), ведение истории посещений.

Требования к автоматизации: система должна быстро создавать чеки, хранить историю услуг по каждому животному и напоминать о необходимости повторного визита (например, о плановой стрижке). Это позволяет предоставлять персонализированный сервис.

3. Анализ проблем внедрения и использования информационных систем в российской практике

Несмотря на очевидные преимущества цифровизации, массовое внедрение специализированных информационных систем в центрах заботы о животных в России сталкивается с рядом системных барьеров. Эти проблемы носят комплексный характер и затрагивают финансовые, технические, организационные и отраслевые аспекты

3.1. Финансовые барьеры

Ключевым сдерживающим фактором для подавляющего большинства организаций является вопрос финансирования.

1. *Высокая стоимость лицензионного ПО.* Коммерческие CRM-системы, особенно с развитым отраслевым функционалом, часто требуют существенных первоначальных инвестиций в лицензии, а также регулярных затрат на обновление и техническую поддержку. Для малых ветеринарных клиник, груминг-салонов и для некоммерческих приютов такие расходы часто являются неподъемными.

2. *Скрытые затраты на внедрение.* Помимо прямой стоимости ПО, возникают значительные сопутствующие расходы: настройка системы под нужды организации, интеграция с другим софтом, возможная модернизация аппаратного обеспечения. Эти издержки могут в несколько раз превысить первоначальный бюджет проекта.

3.2. Технические и адаптационные сложности

Даже при наличии финансирования процесс интеграции новой системы наталкивается на сопротивление среды.

1. *Несоответствие функционала локальным требованиям.* Популярны зарубежные аналоги могут не поддерживать российские особенности документооборота, не иметь интерфейса на русском языке или не быть адаптированными под требования местного ветеринарного законодательства.

2. *Низкая цифровая грамотность и сопротивление персонала.* Часть сотрудников, особенно в сфере ухода за животными, может иметь невысокий уровень компьютерной грамотности. Это порождает страх перед новыми технологиями, нежелание осваивать сложный интерфейс и возврат к привычным, но неэффективным методам работы (бумажные журналы, Excel-таблицы). Процесс обучения требует дополнительных временных и финансовых ресурсов.

3.3. Проблемы, обусловленные отраслевой спецификой

Универсальные CRM-системы часто не в состоянии удовлетворить узкопрофильные потребности сферы.

1. *Отсутствие специализированных модулей.* Стандартные системы управления клиентами не содержат таких критически важных элементов, как электронная медицинская карта (ЭМК) животного с историей болезней, вакцинаций и обработок, модуль управления жизненным циклом животного в приюте или инструменты для учета индивидуальных особенностей питомца в груминге и тренировках.

2. *Неадаптированность для некоммерческого сектора.* Большинство CRM заточены под коммерческие продажи и не имеют встроенных механизмов для учета волонтеров, управления пожертвованиями (как денежными, так и натуральными) и формирования отчетности для благотворителей.

3.4. Информационные риски и проблемы интеграции

1. *Проблемы консолидации данных.* Большинство организаций начинают автоматизацию, уже имея разрозненные массивы данных: архивы бумажных карточек, многочисленные Excel-файлы, записи в различных приложениях. Перенос и унификация этой информации в единую систему — крайне трудоемкая и дорогостоящая задача, которая часто становится камнем преткновения.

2. *Риски потери данных и кибербезопасности.* Недостаток технических экспертиз приводит к выбору ненадежных решений или неправильной настройке системы. Это создает риски потери данных из-за сбоев, а также утечки конфиденциальной информации о клиентах и их питомцах. Вопросы резервного копирования и защиты данных часто остаются без должного внимания.

4. Критерии выбора и перспективы развития отраслевых информационных систем

Преодоление проблем, связанных с автоматизацией центров заботы о животных, требует как взвешенного подхода к выбору существующих решений, так и понимания вектора развития технологий в данной сфере. На основе анализа ключевых барьеров можно сформулировать систему критериев, которым должна соответствовать современная и эффективная информационная система.

4.1. Ключевые критерии выбора отраслевой CRM-системы

При оценке потенциальных решений руководителям и специалистам центров заботы о животных следует ориентироваться на следующие параметры:

1. *Доступность и экономическая эффективность:* система должна иметь модель ценообразования, посылную для малого бизнеса и некоммерческих организаций.

Практическое применение: приоритет следует отдавать SaaS-решениям (Software as a Service) по подписке, которые не требуют крупных единовременных инвестиций в лицензии и серверное оборудование. Важным фактором является наличие гибких тарифных планов, в том числе льготных или специальных предложений для приютов.

2. *Специализация и возможность кастомизации:* система должна быть изначально адаптирована под специфику отрасли или легко настраиваться под уникальные бизнес-процессы организации.

Практическое применение: обязательным является наличие встроенных модулей: электронной медицинской карты, учета животных в приюте, инструментов для управления волонтерами и донорами. Система должна позволять добавлять пользовательские поля, статусы.

3. *Удобство использования и низкий порог входа:* интерфейс системы должен быть интуитивно понятным даже для сотрудников с невысоким уровнем технической подготовки.

Практическое применение: оценивать следует логичность навигации, простоту выполнения рутинных операций (запись на прием, внесение данных о процедуре), наличие русскоязычного интерфейса и встроенных подсказок. Это минимизирует затраты на обучение персонала.

4. *Наличие квалифицированной технической поддержки:* поставщик должен гарантировать оперативную помощь на русском языке.

Практическое применение: критически важно наличие нескольких каналов связи (телефон, email), разумного времени реакции и способности службы поддержки решать не только технические, но и консультационные вопросы по работе с системой.

5. *Надежность и безопасность данных:* система должна гарантировать сохранность и конфиденциальность информации.

Практическое применение: необходимо обращать внимание на регулярность автоматического резервного копирования, соответствие требованиям законодательства о защите персональных данных, наличие системы разграничения прав доступа для разных сотрудников.

4.2. Перспективы развития отраслевых информационных систем

Текущие вызовы формируют запрос на качественно новые решения, что определяет несколько ключевых тенденций в развитии рынка:

1. *Развитие отечественных платформ.* В условиях импортозамещения и специфики российского рынка ожидается рост ниши доступных CRM, разработанных отечественными компаниями именно для нужд ветеринарии, приютов и других учреждений сферы заботы о животных. Это позволит решить проблемы с локализацией, поддержкой и соответствием местным нормам.

2. *Интеграция и экосистемность.* Перспективные системы не будут существовать изолированно. Ключевым трендом станет развитие API-интерфейсов для интеграции со смежными сервисами: онлайн-запись через агрегаторы, телефония, бухгалтерские программы, маркетплейсы зоотоваров, что создаст единую цифровую среду для бизнеса.

4.3. Существующие информационные решения

На текущий момент существует большое количество IT-решений, помогающих работать организациям данной сферы.

1. *Petstory (Mars)* — сервис представляет собой оказание телемедицинских услуг для питомцев, напоминания, запись в клиники-партнеры.

Сильные стороны: бренд/экосистема.

Слабые стороны: фокус на консультациях, не затрагивает иные сегменты.

2. *Dogsy* — крупнейший сервис выгула/передержки (70+ городов).

Сильные стороны: сеть проверенных исполнителей, доверие потребителей.

Слабые стороны: узкая вертикаль (выгул/передержка), без вет-модуля.

3. *YCLIENTS* (в т. ч. решение для груминга) — лидирующий SaaS-календарь/запись, интеграции, маркетинг. Минусы — это не потребительский «маркетплейс», а платформа для отдельных точек.

4. *EasyWeek* (ветклиники) — онлайн-расписание/запись; аналогично, это инструмент для одной клиники, а не единый городской агрегатор.

5. *Vetmanager* (CRM для ветклиник) — сильный медицинский контур, учет/карты/финансы. Минусы сервиса — B2B-фокус, нет маркетплейсного спроса «извне».

Данные информационные системы не удовлетворяют полностью потребностям бизнеса, при этом не представляют собой универсальную платформу с интеграцией с сайтом.

Заключение

Проведенный анализ показал, что обеспечение центров заботы о животных в России эффективными информационными системами сопряжено с комплексом взаимосвязанных проблем. Ключевыми барьерами на пути цифровизации отрасли являются финансовые ограничения, техническая и адаптационная сложность внедрения, несоответствие функционала универсальных CRM-систем отраслевой специфике, а также риски, связанные с консолидацией и безопасностью данных.

Несмотря на это, потенциал цифровой трансформации для ветеринарных клиник, приютов, груминг-салонов и тренировочных площадок остается значительным. Внедрение специализи-

рованной CRM-системы, выступающей в роли единого информационного ядра, позволяет автоматизировать ключевые бизнес-процессы — от ведения электронной медицинской карты до управления волонтерами и пожертвованиями. Это не только повышает операционную эффективность и снижает количество ошибок, но и напрямую влияет на качество заботы о животных.

Перспективы развития связаны с появлением на рынке доступных и гибких решений, ориентированных на потребности российских организаций. Приоритетными направлениями являются развитие отечественных платформ, углубление их отраслевой специализации и обеспечение возможности интеграции в экосистему смежных сервисов. Выбор системы должен основываться на строгих критериях, включающих доступность, специализацию, удобство использования, наличие поддержки и надежность.

Таким образом, преодоление существующих барьеров и грамотный подход к внедрению информационных систем позволят центрам заботы о животным не только оптимизировать свою деятельность, но и вывести на новый уровень качество предоставляемых услуг, что в конечном итоге будет способствовать повышению стандартов благополучия животных в России.

Литература

1. Что такое CRM-система и как она работает? // CRM: [веб-сайт]. – 2025. – URL: <https://crm.ru/blog/crm-что-это-такое/> (дата обращения: 25.09.2025).
2. Будущее IT // Сколково: [веб-сайт]. – 2025. – URL: <https://skolkovo-resident.ru/buduschee-it/> (дата обращения: 08.10.2025).
3. CRM для ветеринарной клиники // CRMIndex: [веб-сайт]. – 2025. – URL: https://crmindex.ru/for/vet_clinika (дата обращения: 09.10.2025).
4. Pet Story // Mars.com: [веб-сайт]. – 2025. – URL: <https://rus.mars.com/en/pet-story> (дата обращения: 1.10.2025).
5. Dogsy.ru: все о собаках: [веб-сайт]. – 2025. – URL: <https://dogsy.ru/> (дата обращения: 3.10.2025).
6. YCLIENTS: система для автоматизации бизнеса: [веб-сайт]. – 2025. – URL: <https://www.yclients.com/> (дата обращения: 5.10.2025).
7. EasyWeek: онлайн-запись клиентов: [веб-сайт]. – 2025. – URL: <https://easyweek.ru/> (дата обращения: 7.10.2025).
8. VetManager: программа для ветеринарных клиник: [веб-сайт]. – 2025. – URL: <https://vetmanager.ru/> (дата обращения: 10.10.2025).

ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СЕРВИСА ВЫБОРА ИСТОЧНИКОВ ФИНАНСИРОВАНИЯ ИТ-ПРОЕКТОВ

А. Е. Лесунова, В. В. Уклова

Воронежский государственный университет

Аннотация. Сложность выбора методов финансирования не только делает процесс подбора источника финансирования трудоемким по времени, но может привести и к ошибкам в выборе. Предлагаемое решение представляет собой сервис выбора источников финансирования с учетом не только основных требований заказчика, таких как объем и условия предоставления денежных средств, но и с учетом типа проекта, стадии его реализации. В данной работе рассматриваются особенности программной реализации сервиса. Среди основных выделены необходимость разработки математических процедур метода многокритериальной оптимизации, средств визуализации интерактивного режима «опросника», а также необходимость интеграции сервиса в цифровые веб-платформы.

Ключевые слова: программная реализация, технологический стек, финансирование ИТ-проектов, цифровая платформа.

Введение

В работе в качестве модели финансирования рассматривается проектное финансирование. Процесс выбора источников финансирования основан на поиске решения с использованием метода многокритериальной оптимизации, в частности, методе анализа иерархий. Задача поиска оптимального варианта финансирования решается за два такта. На первом такте определяется метод финансирования, на втором — источник финансирования. Поиск решений производится отдельно для каждого этапа проекта. В качестве альтернатив на первом такте рассматриваются методы финансирования, на втором – конкретные продукты финансового рынка. Программная реализация такого инструментария предполагает разработку сервиса, который интегрируется в цифровую веб-платформу. Это может быть платформа-агрегатор, веб-ресурс банка или информационная платформа для предпринимателей.

1. Постановка задачи

Ставится задача: разработать сервис, который позволит выполнять подбор источников финансирования для ИТ-проектов согласно модели проектного финансирования. При подборе следует учесть тип проекта, стадию проекта, финансовую модель бизнес-плана, предложения рынка. С учетом того, что решений может быть несколько, решение может быть представимо в виде рейтингового списка методов, источников финансирования. Концептуальная модель разрабатываемого решения представлена на рис. 1.

2. Функциональные требования и особенности технического задания на разработку

Согласно постановке задачи, реализуемый сервис должен обеспечивать следующую функциональность:

- 1) выбор типа проекта;
- 2) загрузка бизнес-плана;
- 3) выбор стадии проекта;
- 4) загрузка списка методов финансирования;

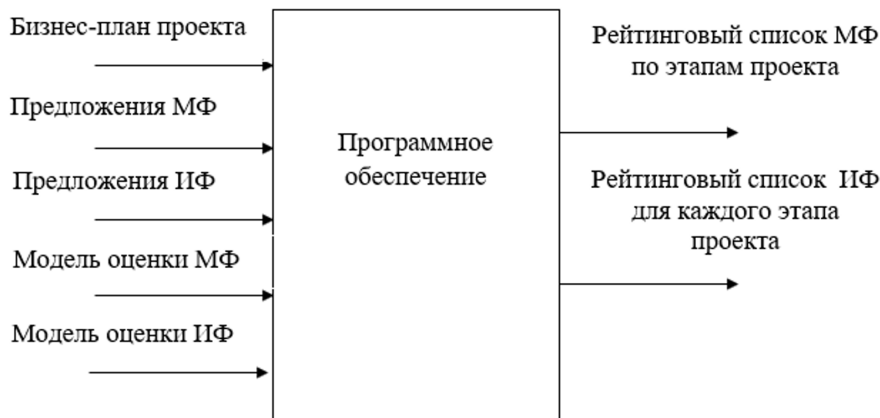


Рис. 1. Концептуальная модель сервиса

- 5) формирование нового или загрузка существующего сценария выбора метода финансирования (ВМФ);
- 6) оценка вариантов из списка предложенных методов финансирования и их ранжирование;
- 7) загрузка списка источников финансирования;
- 8) формирование нового или загрузка существующего сценария выбора источника финансирования (ВИФ);
- 9) оценка вариантов из списка предложенных источников финансирования и их ранжирование.

Сценарий использования представим в виде диаграммы, представленной на рис. 2.

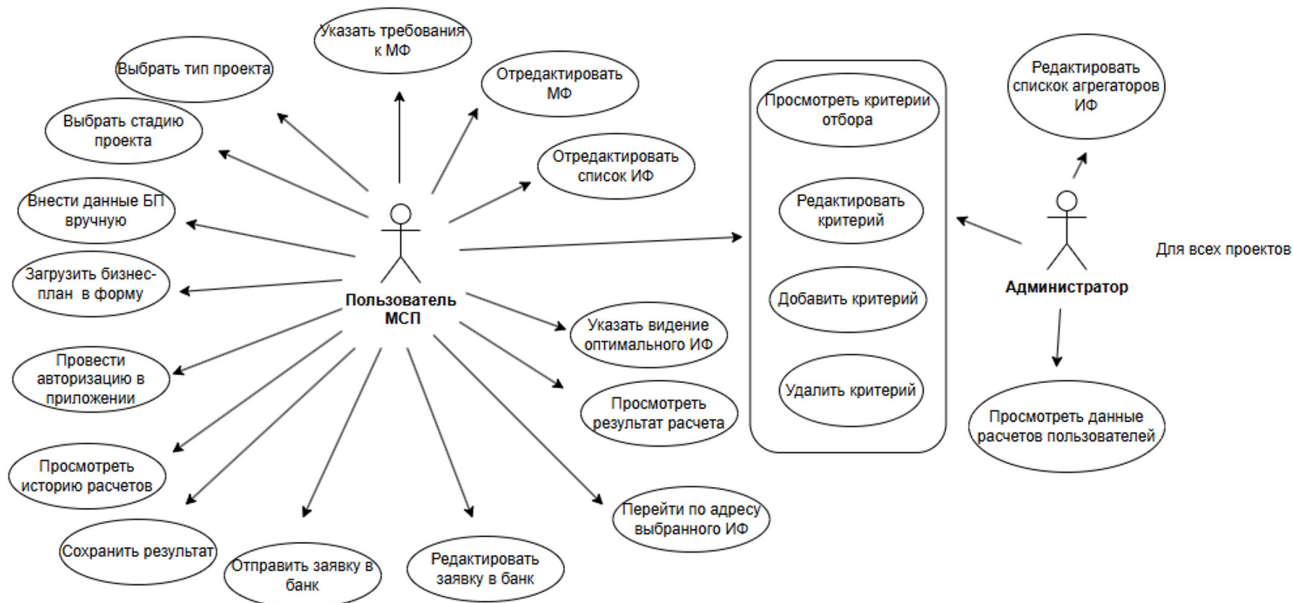


Рис. 2. Сценарии использования сервиса

Учитывая, что сервис будет интегрироваться в какую-либо цифровую платформу, он должен наследовать все основные ее свойства, ориентированные на массовое использование. В большинстве случаев это кроссплатформенность, доступность для работы через десктоп и мобильные интерфейсы. Кроме того, следует предусмотреть гостевой и стандартный (расширенный) пользовательский режим, а для реализации метода многокритериальной оптимизации — вход как эксперта (доступный и из гостевого, и из пользовательского режимов). Для реализации стандартного пользовательского режима в решение должна быть заложена возможность интеграции сервиса с личным кабинетом пользователя и системами защиты персональных данных.

3. Архитектура приложения и технологический стек

Для подбора технологического стека рассмотрена реализация и интеграция сервиса в Цифровую платформу МСП.РФ. МСП.РФ является государственной платформой поддержки предпринимателей, самозанятых и тех, кто планирует начать свой бизнес. Она бесплатная, является кроссплатформенной, реализована с десктопным и мобильным интерфейсами, имеет гостевой (неавторизованный) и стандартный (авторизованный) режим, доступ в который возможен через личный кабинет. Архитектура предлагаемого решения представлена на рис. 3.

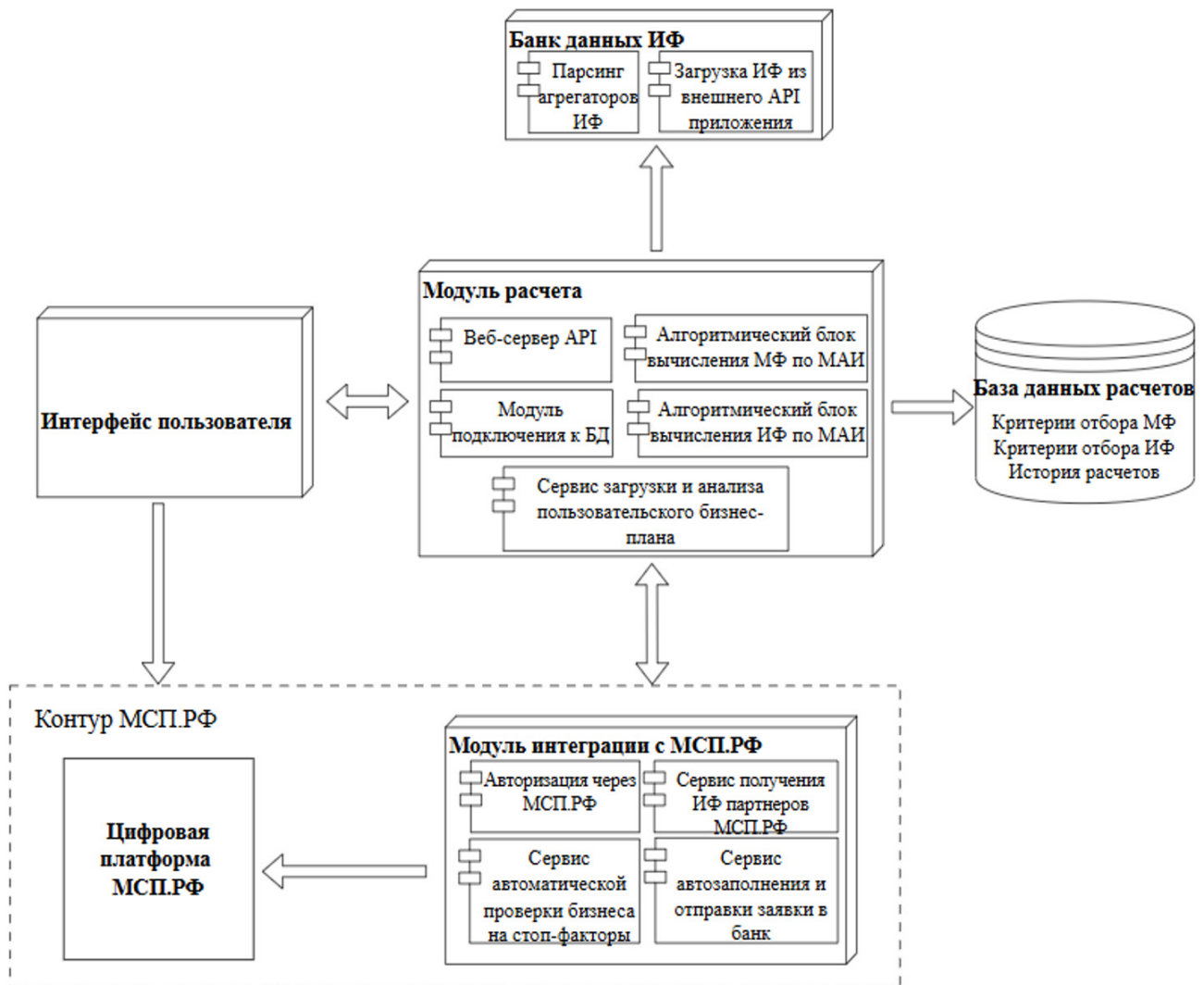


Рис. 3. Архитектура сервиса

Согласно требованиям, описанным выше, технологический стек представим следующими программными средствами:

- 1) язык программирования Python;
- 2) фреймворк для создания API Fast API;
- 3) реляционная система управления базами данных PostgreSQL;
- 4) язык программирования JavaScript;
- 5) библиотека для создания пользовательских интерфейсов React.js;
- 6) набор компонентов на JavaScript и PHP для создания расширения Bitrix24
- 7) интерактивная среда разработки Visual Studio Code;
- 8) веб-сервер Nginx;

9) программное обеспечение для контейнеризации Docker.

Технологический стек в привязке к компонентам реализуемого сервиса представлен на рис. 4.

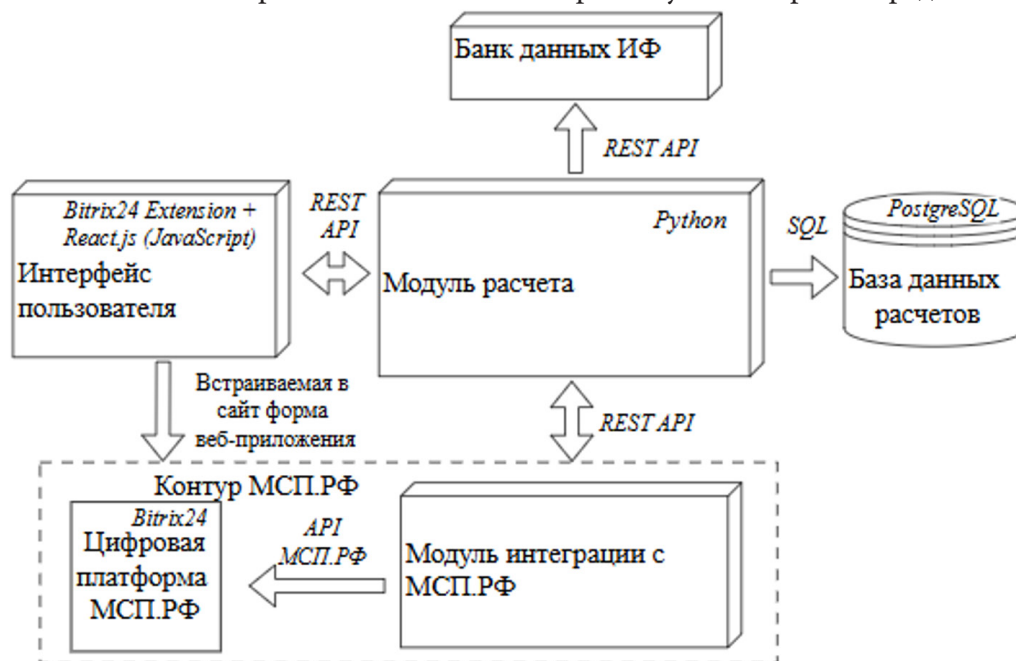


Рис. 4. Технологический стек сервиса

Серверная часть реализуется на основе FastAPI — современного асинхронного фреймворка Python. Его архитектура обеспечивает высокую пропускную способность за счет неблокирующих операций ввода-вывода, что критически важно для приложений с интенсивной нагрузкой.

Система управления базами данных PostgreSQL выбрана как реляционная СУБД с расширенной поддержкой стандарта SQL и гарантиями ACID. Ее архитектура обеспечивает надежную транзакционность и целостность данных, а поддержка json-форматов позволяет комбинировать реляционную и документную модели данных, где это необходимо.

Клиентская часть реализована на React.js с использованием JavaScript. Данный подход позволяет создавать компонентную архитектуру пользовательского интерфейса с динамической типизацией. JavaScript обеспечивает гибкость разработки и позволяет быстро прототипировать интерфейсы. Использование языка способствует упрощению начальной настройки проекта и ускорению разработки за счет отказа от дополнительного шага компиляции. Расширение для CRM-системы Bitrix24, на которой построен веб-интерфейс Цифровой платформы МСП.РФ, также реализуется на JavaScript с использованием поставляемых официальных библиотек. Этот подход обеспечивает глубокую интеграцию с интерфейсом, гарантируя совместимость со всеми версиями Bitrix.

Инфраструктурная часть включает Docker для контейнеризации сервисов. Это обеспечивает изоляцию окружений и повторяемость развертывания. Nginx функционирует как обратный прокси и сервер статического контента, обеспечивая эффективное распределение нагрузки и кеширование.

Заключение

Выбор представленного технологического стека обусловлен требованиями к созданию высокопроизводительного, масштабируемого и поддерживаемого веб-приложения с четким разделением клиентской и серверной частей. Он соответствует современным практикам веб-раз-

работки и обеспечивает устойчивую основу для дальнейшего масштабирования приложения. Технологический стек является универсальным, что позволяет его применять не только для разработки сервиса под Цифровую платформу МСП.РФ, но и для интеграции в платформы любых коммерческих банков, а также цифровых платформ Мойбизнес.рф или аналогов.

Литература

1. Азарнова Т. В. Метод анализа иерархий как средство поддержки принятия решений в стратегическом аналитическом планировании / Т. В. Азарнова, О. Ю. Пономарева, В. В. Ухлова // Экономическое прогнозирование: модели и методы: сб. тр. IX международной науч.-практ. конф. (Воронеж, 26 апреля 2013 г.). – Воронеж, 2013. – С. 9–12.
2. Гениатулина Е. В. CMS – системы управления контентом: учеб. пособие / Е. В. Гениатулина. – Новосибирск : Издательство НГТУ, 2024. – 316 с.
3. Любанович Б. Простой Python. Современный стиль программирования / Б. Лобанович. – Санкт-Петербург : Питер, 2022. – 591 с.
4. Панфилов Г. Е. Разработка алгоритма выбора источника финансирования корпоративным сектором на основе критерия доступности / Г. Е. Панфилов // Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки. – 2023. – № 1. – С. 310-321.
5. Флэнаган Д. JavaScript. Полное руководство / Д. Флэнаган. – Москва: Диалектика-Вильямс, 2021. – 720с.
6. Цуй Ю. Рецепты Python. Коллекция лучших техник программирования / Ю. Цуй. – Санкт-Петербург : Питер, 2024. – 544с.
7. Bitrix24 REST API // Bitrix24: [сайт]. – 2025. – URL: <https://apidocs.bitrix24.ru/> (дата обращения: 01.10.2025).
8. Выбор технологического стека: общие советы // Хабр [сайт]. – 2025. – URL: <https://habr.com/ru/companies/sberbank/articles/780288/> (дата обращения: 01.10.2025).
9. Как выбрать технологический стек при разработке цифрового сервиса // Uplab – разработка цифровых сервисов [сайт]. – 2025. – URL: <https://www.uplab.ru/blog/tehnologicheskij-stek/> (дата обращения: 01.10.2025).
10. Лучшие технологические стеки для стартапов в 2025 году // Purrweb [сайт]. – 2025. – URL: <https://www.purrweb.com/ru/blog/tech-stack-dlya-startapov/> (дата обращения: 01.10.2025).
11. Цифровая платформа МСП.РФ: официальный сайт. – Москва, 2025. – URL: <https://corpmsp.ru/> (дата обращения: 10.09.2025).

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ВЫСШЕГО УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ

Н. М. Маренков, А. П. Преображенский

Воронежский институт высоких технологий

Аннотация. Целью данной работы является исследование метода разработки унифицированного цифрового двойника на базе высшего учебного заведения. Инновационность метода заключается в применении технологии OSTIS (Open Semantic Technology for Intelligent Systems). Использование данной технологии позволило разобрать основные бизнес-процессы образовательного учреждения и представить их в едином формате в виде графов. В рамках работы были произведены типизации рабочих процессов учебной организации с помощью инструментов системы OSTIS.

Ключевые слова: ВУЗ, система OSTIS, цифровой двойник, образовательное учреждение, типизация, образование, структура, графы, система образования, компоненты.

Введение

Разработка автоматизированных информационных систем трудоёмкая задача, но необходимая для оптимизации рабочего процесса. Данный процесс чаще всего является уникальным для каждой организации, в том числе и для образовательных учреждений [1]. Это приводит к проблеме трудоёмкости процесса создания единой образовательно-информационной системы.

В рамках работы был исследован метод с применением технологии OSTIS [2], целью которого является решение вышеуказанной проблемы. Такой подход должен обеспечить стандартизацию систем и приведение их к единому виду. В рамках работы эта технология была использована для онтологического описания различных бизнес-процессов в высших учебных заведениях.

1. Систематизация данных для цифрового двойника

Систематизация данных подразумевает необходимость проведения унификации параметров в рамках высшего учебного заведения. Для этого на рис. 1 был изображён ключевой узел, содержащий в себе некоторое множество образовательных учреждений, в дальнейшем «ОУ». Данный узел включает в себя некоторое подмножество организаций высшего образования или же «ОУ ВО». Целевым предметом изучения в таком случае является институт или университет.

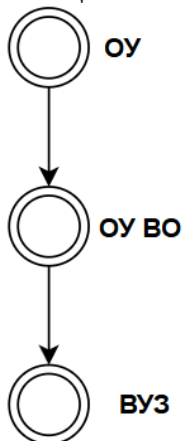


Рис. 1. Типизация деятельности высшего учебного заведения в системе OSTIS

Использование меток алфавита SC-кода [3] позволило спроектировать графовую онтологию. Такие метки включают в себя:

- Метка sc-узла;
- Метка sc-ребра;
- Метка sc-дуг общего вида;
- Метка sc-дуг основного вида;
- Метка sc-дуг принадлежности.

Описание структуризации высшего учебного заведения подразумевает применениеразделений на более детальные составляющие. Такое разбиение можно представить в виде графика (рис. 2).

В данной работе для множества «Высшее учебное заведение» были выделены следующие структурные компоненты:

- Высшее руководство;
- Учебное подразделение;
- Научные подразделения;
- Административно-хозяйственное подразделение;
- Студенческие организации и объединения;
- Отдел кадров.

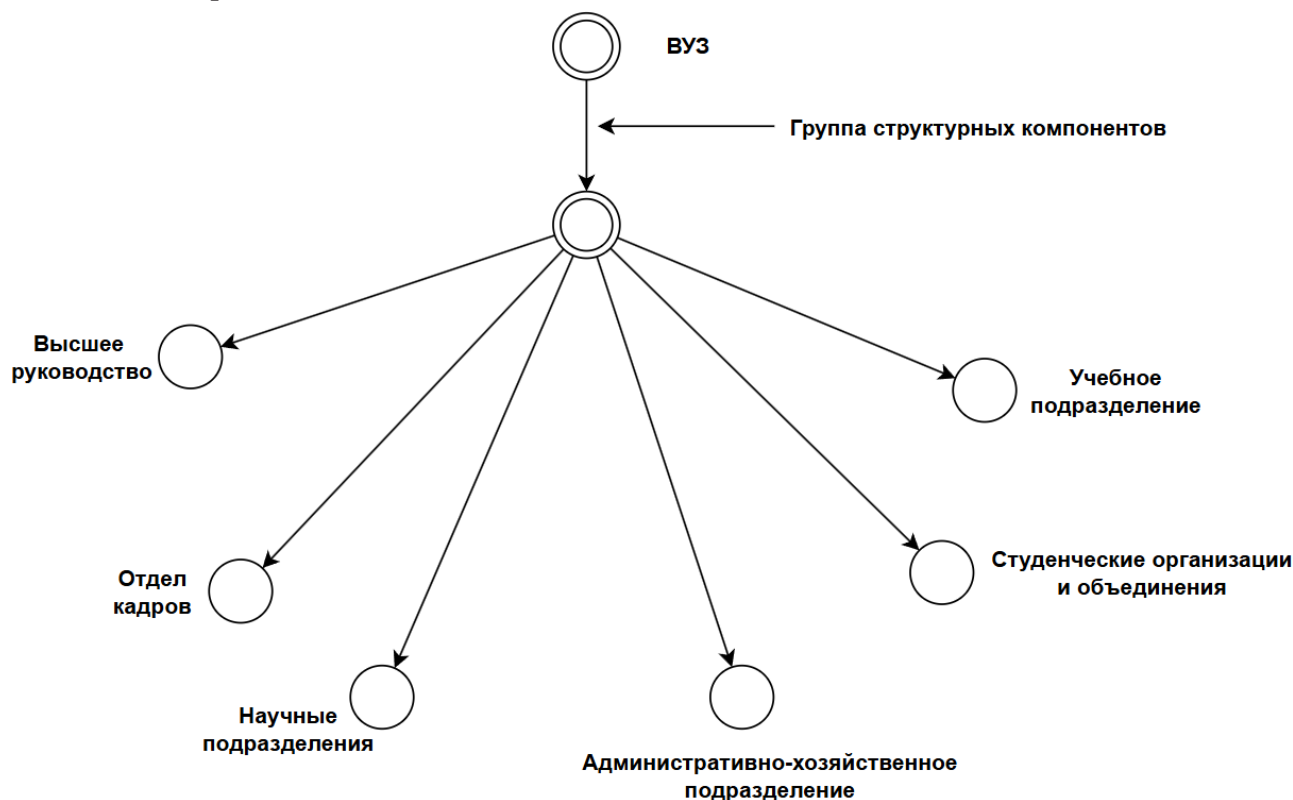


Рис. 2. Типизация структурных компонентов высшего учебного заведения в системе OSTIS

Множество направлений содержит в себя некоторое подмножество кафедр. Узел «множество направлений» можно описать ролевым отношением, которое выполняет функцию репрезентаций соответствующих им классов сущностей. На рис. 3 в рамках работы были следующие отношения между ключевыми ролями:

- Декан;
- Заведующий кафедрой;
- Преподаватель.

Так же направления можно разбить на подмножества, в зависимости от целевых специальностей, преподаваемых в ВУЗе, которые, в свою очередь, делятся на кафедры.

По аналогии с рис. 3 можно представить формализацию категорий преподавателя в ВУЗах (рис. 4).

Учебная организация прежде всего нацелена на образовательный процесс [4]. Поэтому одним из ведущих структурных компонентов ВУЗа являются направления подготовки. Специальность, которую студент изучает по выбранному направлению можно охарактеризовать набором образовательной документации, среди которых образовательная программа, учебный план, дисциплины и выделенные на изучение часы. Ориентируясь на эти данные, был построен график, отражающий типизацию работы научного направления в системе OSTIS (рис. 5).

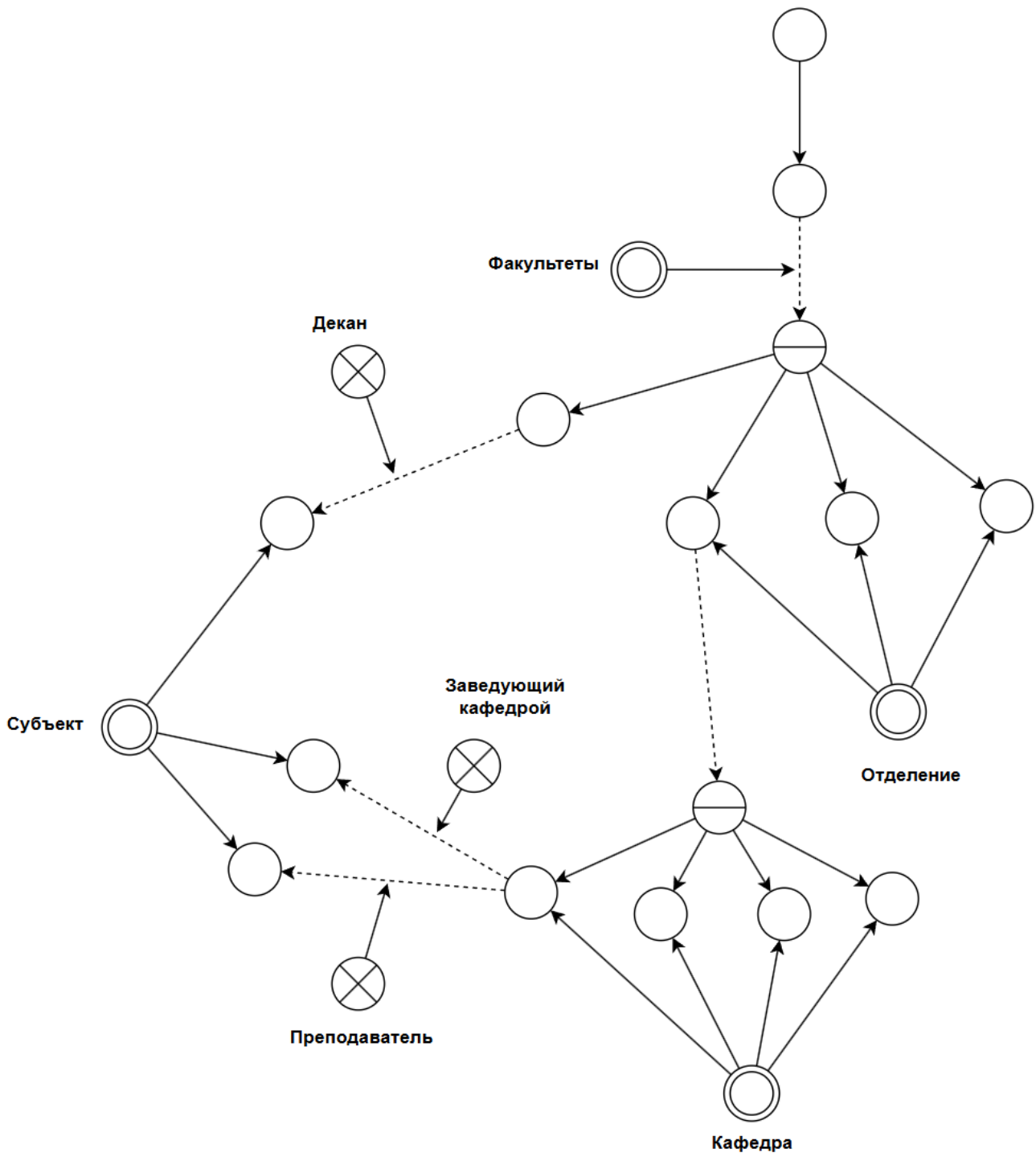


Рис. 3. Типизация структуры направления высшего учебного заведения в системе OSTIS

Заключение

Итогом данного исследования является исследование области применения метода построения цифрового двойника высшего учебного заведения с использованием системы OSTIS. В рамках работы были сформированы онтологические описания ключевых компонентов образовательного учреждения.

Данный метод позволит детальнее проводить анализ бизнес-процессов и разрабатывать необходимые рекомендации по оптимизации рабочего процесса и повышению качества образовательного процесса.

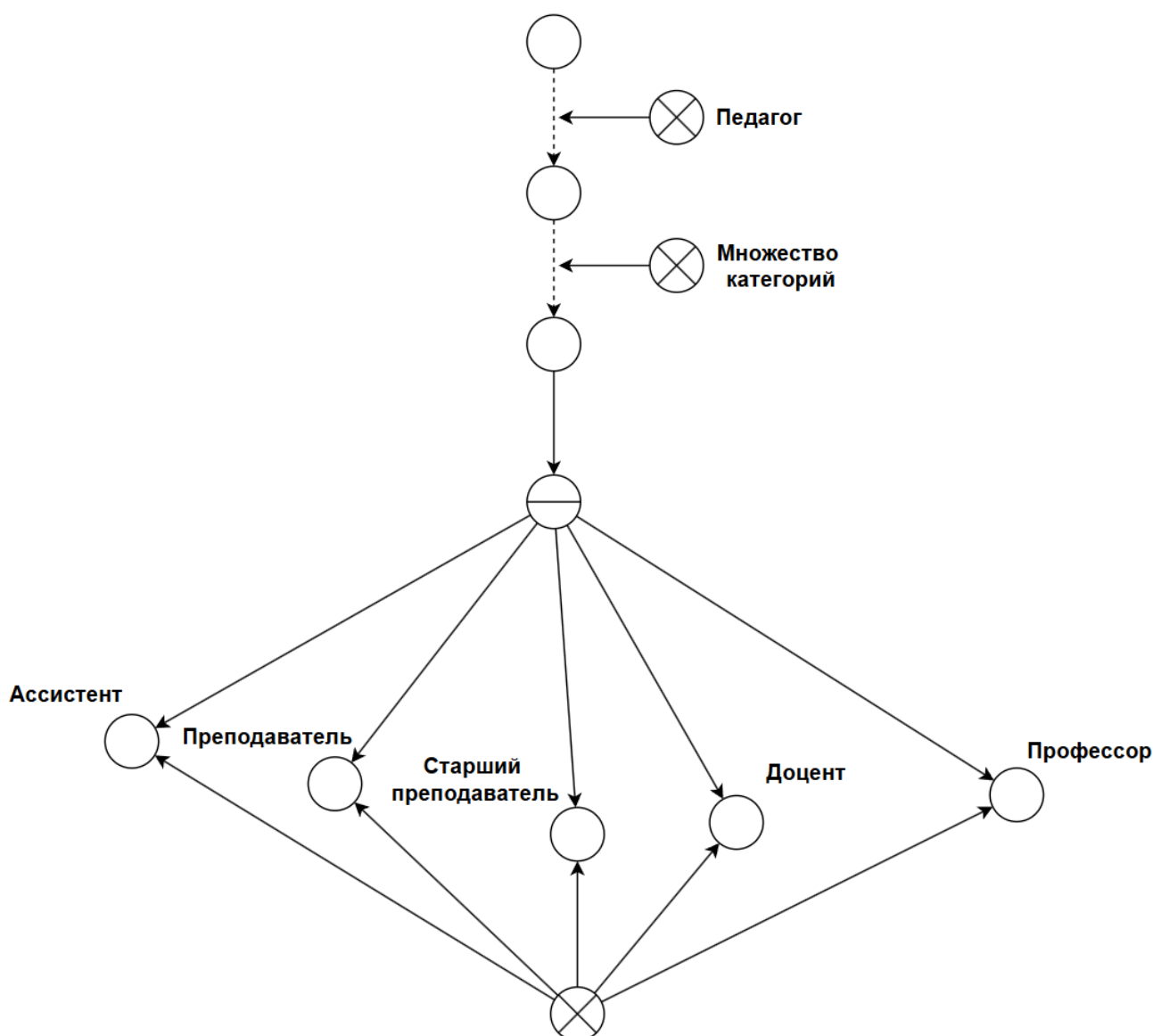


Рис. 4. Типизация категорий преподавателя в системе OSTIS

Литература

1. Листопад Н. И., Бущик У. А. Проектирование информационных образовательных систем // Цифровая трансформация. – 2022. – № 2. – С. 33–42 (дата обращения: 05.11.2025).
2. Позняк А. В., Романчук И. М., Семченко Б. А., Титов А. В. Технология OSTIS: простыми словами о новом поколении интеллектуальных систем // 60-я юбилейная научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники». – 2024. – С. 21–23 (дата обращения: 5.11.2025).
3. Голенков В. В. Базовые средства формального представления сложноструктурированных знаний / В. В. Голенков, Н. А. Гулякина [Текст] // Третьи чтения, посвященные памяти профессора В.А. Карпова, Минск, 13–14 марта 2009 г.: сб. материалов. – Минск : РИВШ, 2009. – С. 31–33 (дата обращения: 05.11.2025).
4. Лях Ю. А. Цели обучения современного образования // Вестник МГПУ. Серия: Педагогика и психология. – 2020. – № 4 (54). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tseli-obucheniya-sovremenno-obrazovaniya> (дата обращения: 07.11.2025).

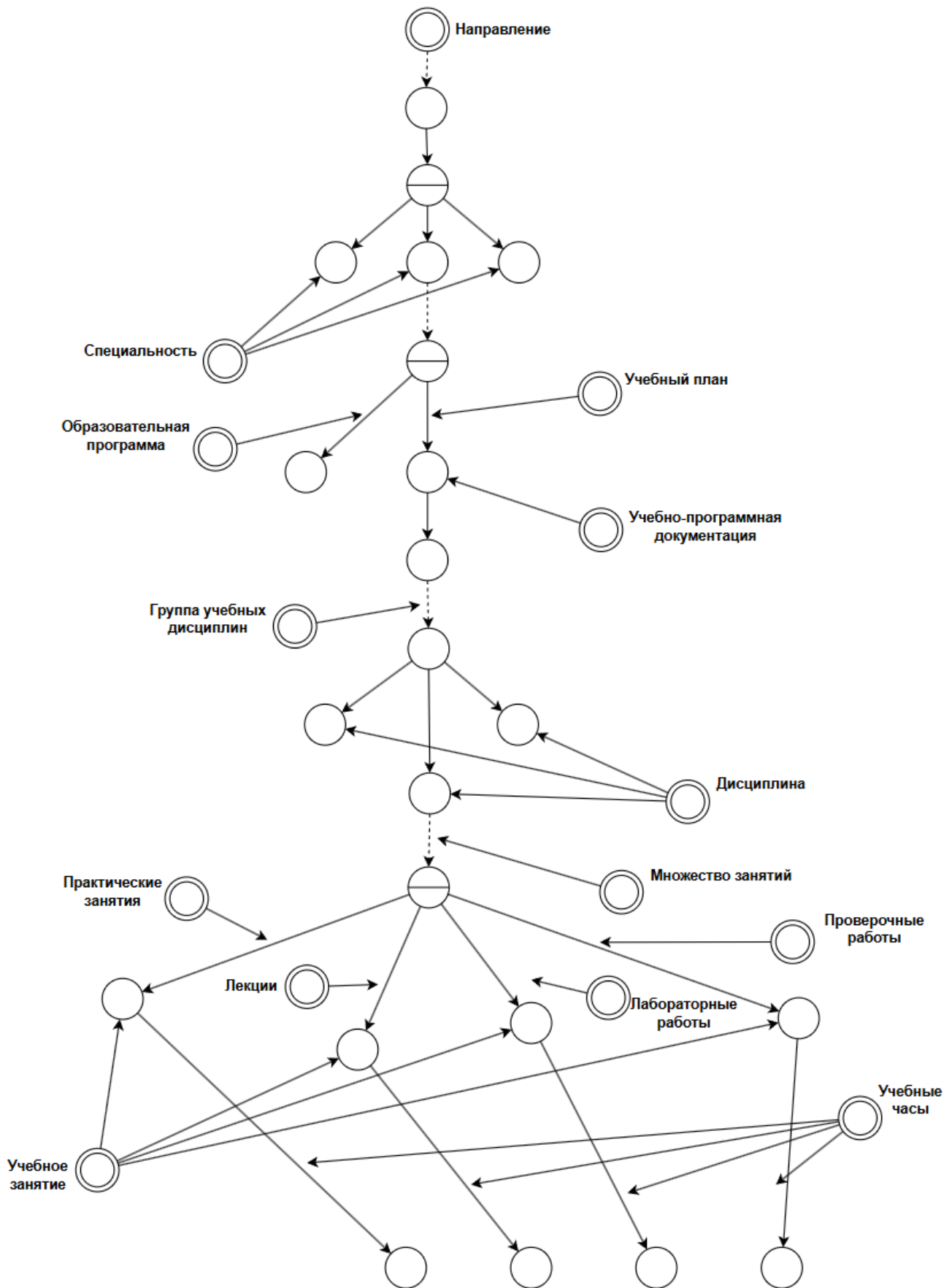


Рис. 5. Типизация деятельности направлений ВУЗов в системе OSTIS

К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ОМНИКАНАЛЬНОГО МАРКЕТИНГА

Л. К. Мовсисян, Т. Е. Саратова

МИРЭА – Российский технологический университет

Аннотация. В исследовании представлен методологический подход к проектированию автоматизированной информационной системы поддержки принятия решений (СППР) для омниканального маркетинга. Проведена детализация бизнес-процессов с использованием нотации BPMN 2.0, что позволило выделить критические точки принятия решений и определить требования к интеграции системы в операционную деятельность предприятий. Был сформирован комплекс требований к системе, а также разработана информационная модель на основе методологии IDEF1X, объединяющая 46 сущностей и определяющая принципы взаимодействия между модулями данных, аналитики и визуализации. **Ключевые слова:** система поддержки принятия решений (СППР), ЛПР, оптимизация информационных процессов, цифровой маркетинг, омниканальный подход, автоматизированная информационная система, КРІ.

Введение

Стремительное развитие цифровых технологий трансформирует маркетинговые подходы, усиливая роль продвижения как стратегического инструмента конкурентоспособности, формирования бренда и вовлечения потребителей. Всё больше компаний реализуют принципы омниканального маркетинга, объединяя традиционные и цифровые каналы в единый пользовательский опыт. В этих условиях возрастает потребность в системах, которые не только визуализируют данные, но и поддерживают процессы принятия решений с учётом множества факторов, влияющих на эффективность кампаний [1–3].

Актуальность исследования определяется усложнением рыночных механизмов, изменчивостью поведения потребителей и быстрым развитием технологий искусственного интеллекта, больших данных и автоматизации как таковой [4, 5]. Несмотря на обширные возможности современных BI-платформ, они ограничиваются визуализацией и отчётностью, не обеспечивая интеллектуальную поддержку управленческих решений в режиме реального времени и в контексте многокритериальной оценки каналов продвижения [6–9].

Ключевая проблема заключается в отсутствии комплексной инструментальной базы для интеллектуальной поддержки маркетинговых решений в омниканальной среде, особенно в части рационального распределения ограниченных ресурсов между каналами коммуникации. Технологии ИИ и машинного обучения открывают перспективы повышения эффективности стратегий продвижения, однако требуют специализированных архитектурных и организационных решений [10–13].

Цель исследования — проектирование и формализация автоматизированной информационной системы поддержки принятия решений (СППР) в области омниканального маркетинга, ориентированной на многокритериальную оптимизацию процессов продвижения. Для достижения цели решаются задачи описания бизнес-процессов, формирования требований к системе, построения информационной модели и архитектуры системы, оценки эффективности решения и разработки практических рекомендаций по его внедрению.

Таким образом, исследование направлено на преодоление текущих ограничений омниканального маркетинга посредством создания СППР, способной учитывать специфику многоканального взаимодействия и обеспечивать эффективное управление маркетинговыми ресурсами на разных уровнях управления.

1. Описание информационных процессов системы поддержки принятия решений в области омниканального маркетинга

Информационные процессы автоматизированной информационной системы поддержки принятия решений в области омниканального маркетинга представляют собой согласованный набор операций по сбору, обработке, анализу и визуализации данных, а также формированию рекомендаций для оптимального распределения ресурсов и управления рекламными кампаниями в многоканальной среде [15].

Ключевая особенность проектируемой системы заключается в ориентации на многокритериальную оптимизацию в условиях динамичной рыночной среды и необходимости оперативного реагирования на поведенческие и экономические изменения. СППР в области омниканального маркетинга функционирует во взаимодействии с внешними платформами, корпоративными подсистемами и конечными пользователями (маркетологами и аналитиками).

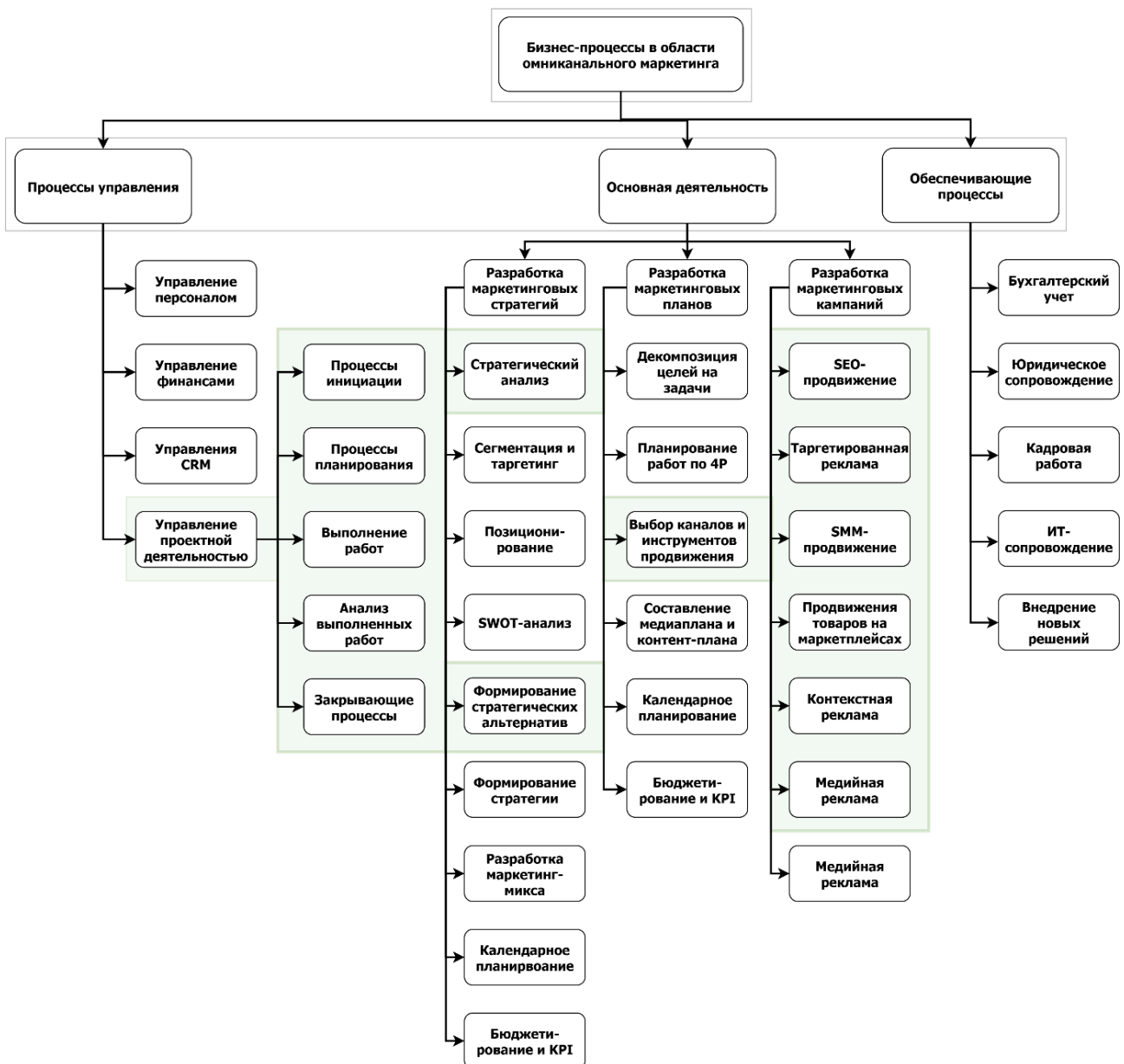


Рис. 1. Дерево процессов в области омниканального маркетинга

Бизнес-процессы омниканального маркетинга включают процессы управления, основные процессы продвижения, а также обеспечивающие процессы. На рис. 1 представлено дерево процессов, где зелёным выделены подпроцессы, относящиеся к разработке и применению СППР в области омниканального маркетинга. Важной особенностью является вариативность трактовки процессов в зависимости от уровня управленческих решений — стратегического, тактического и оперативного [15]. Так, маркетинговый проект может означать создание стратегии (стратегический уровень), планирование (тактический уровень) или реализацию кампаний (оперативный уровень). От уровня управления зависят и отличия информационных процессов уровня А3.

Например, процесс выполнения проектных работ на стратегическом уровне включает анализ, сегментацию, таргетинг, позиционирование и формирование стратегических альтернатив. На уровне кампаний СППР поддерживает непосредственно процессы продвижения, подбирая комбинации маркетинговых инструментов для достижения заданных целей.

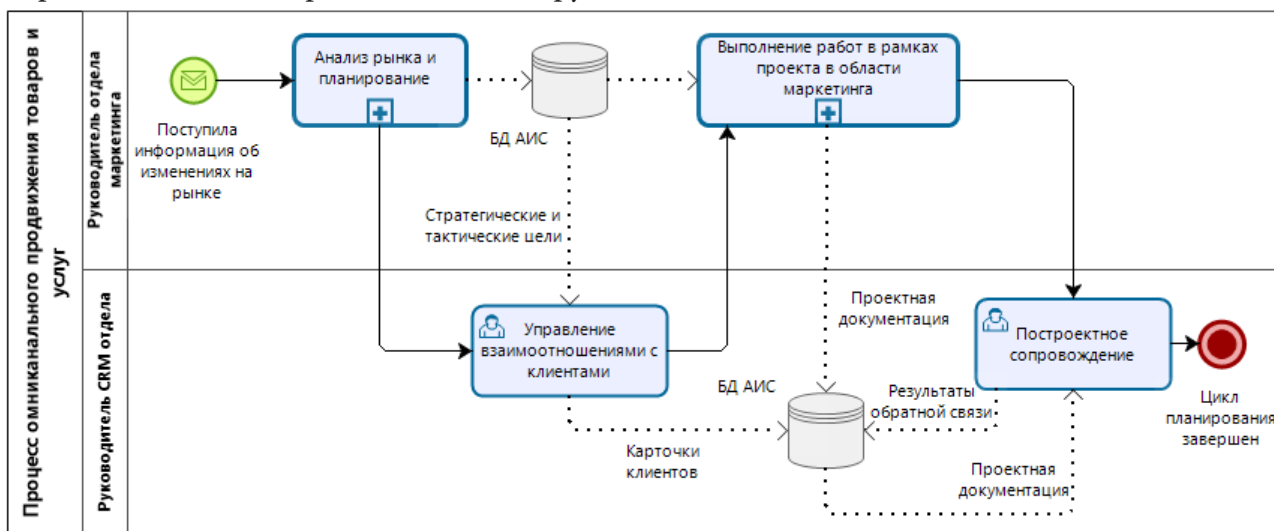


Рис. 2. Контекстная диаграмма процессов в области омниканального маркетинга

В рамках исследования были детализированы подпроцессы анализа рынка, планирования и выполнения маркетинговых проектных работ (рис. 2).

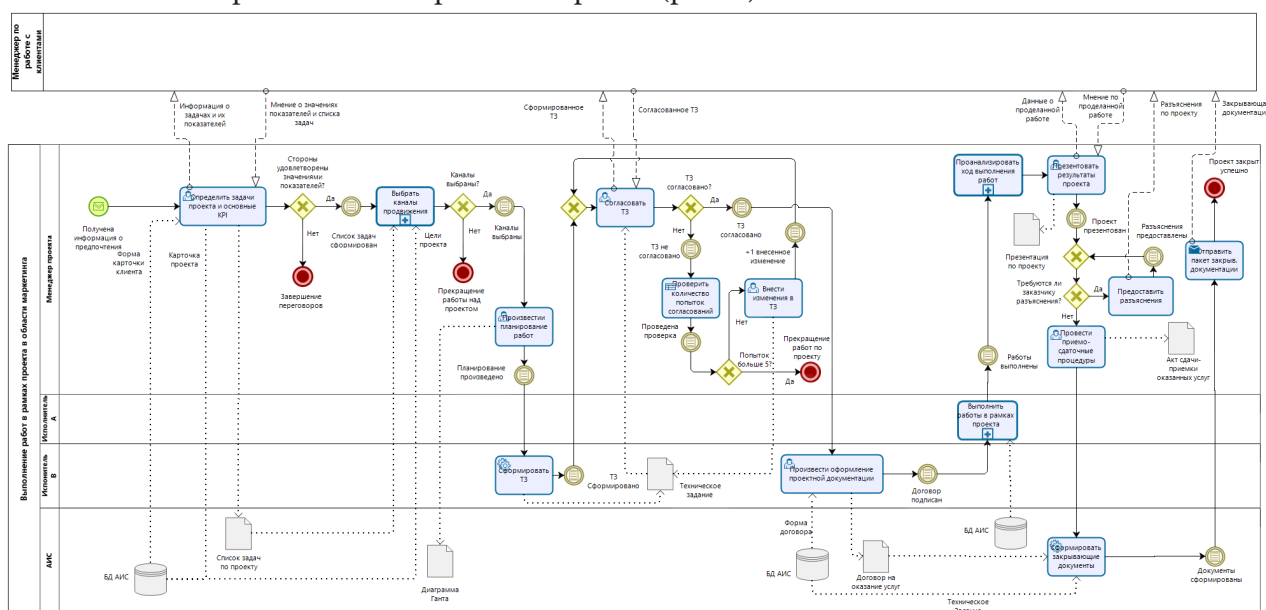


Рис. 3. Процесс выполнения работ в рамках проекта (BPMN 2.0)

На основе рассмотренных процессов далее представлена информационная модель в следующем подразделе.

2. Информационная модель системы поддержки принятия решений в области омниканального маркетинга

Перейдём к описанию информационной модели СППР в области омниканального маркетинга, предназначенной для поддержки управления процессами продвижения. Для реализации поставленных задач требуется формирование информационной базы, способной обеспечивать непрерывный сбор, хранение, редактирование и аналитическую обработку данных, необходимых для принятия решений на разных уровнях управления.

При проектировании логической модели базы данных (БД) использовалась методология SADT и набор технологий IDEF1X, позволяющий формализовать ключевые сущности, их атрибуты и взаимосвязи. Такой подход обеспечивает создание структурированной и однозначно интерпретируемой модели хранения данных, пригодной для последующей интеграции в автоматизированные аналитические процессы.

На рис. 4 представлена фрагментированная информационная модель, демонстрирующая взаимосвязи между ключевыми сущностями. Каждая из них определена с учётом требований нормализации, что обеспечивает оптимизированную структуру хранения данных и повышает качество аналитических выборок, необходимых для проведения многокритериального анализа.

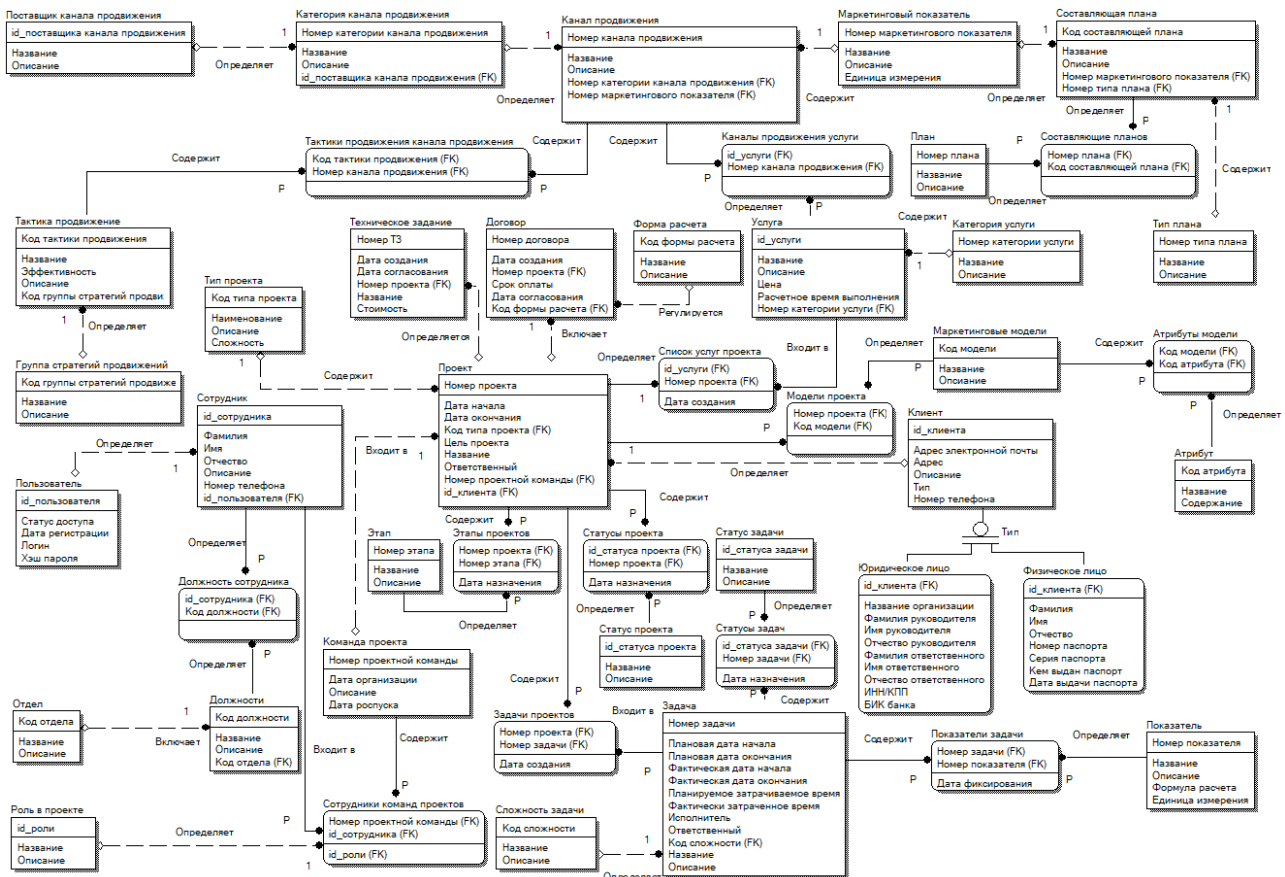


Рис. 4. Информационная модель

В результате была получена логическая модель, включающая 46 сущностей. Среди них особую роль играют следующие стержневые сущности:

1. Маркетинговый проект — объединяющая сущность, представляющая кампанию или инициативу, в рамках которой реализуются задачи продвижения.

2. Задача — конкретное действие или мероприятие, выполняемое в пределах проекта (например, настройка рекламной кампании или запуск email-рассылки).

3. Канал продвижения — набор платформ и инструментов взаимодействия с аудиторией (например: маркетплейсы, социальные сети, email-каналы, контекстная реклама и др.).

4. Клиент — целевой пользователь, для которого формируются персонализированные стратегии взаимодействия, включающие сегментацию, предпочтения, историю коммуникаций и показатели вовлечённости.

Важно отметить, что в предыдущей работе авторов, “Application of Intelligent Decision Making Support Model in the Processes of Omnichannel Marketing”, была предложена математическая модель многокритериальной оптимизации [16]. Логическая модель БД, представленная в данной статье, полностью совместима с реализацией данной модели, что обеспечит сквозную интеграцию, от хранения данных до принятия решений.

Таким образом, предложенная информационная модель выступает не только фундаментом для построения базы данных, но и платформой для внедрения интеллектуальных алгоритмов поддержки принятия решений в сфере цифрового и омниканального маркетинга.

Заключение

Таким образом, данное исследование демонстрирует комплексный подход к созданию автоматизированной информационной системы поддержки принятия решений в области омниканального маркетинга. Разработанная информационная модель, архитектурные решения и описание ключевых процессов подтверждают возможность интеграции интеллектуальных методов и многокритериальной оптимизации в управление маркетинговыми проектами и кампаниями.

СППР в области омниканального маркетинга обеспечивает сквозную работу с данными, от их сбора и структурирования до анализа и формирования рекомендаций, что повышает точность управленческих решений и эффективность распределения ресурсов в многоканальной среде.

Практическая значимость исследования заключается в формировании методологической и технологической базы для внедрения интеллектуальных инструментов в корпоративные маркетинговые системы. Предложенные модели и процессы могут служить основой для дальнейшего развития систем автоматизации, расширения аналитических возможностей и повышения качества маркетинговых стратегий.

Таким образом, работа подтверждает, что применение интеллектуальных информационных систем в условиях омниканального маркетинга является перспективным направлением, открывающим новые возможности для повышения эффективности взаимодействия с потребителями и оптимизации бизнес-процессов на различных уровнях управления.

Литература

1. Мовсисян Л. К. Организационное обеспечение системы поддержки принятия решений в интересах омниканального продвижения товаров и услуг / Л. К. Мовсисян, Т. Е. Смоленцева // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2023. – № 3(30). – С. 80-87.

2. Искусственный интеллект (мировой рынок) // TAdviser: [сайт]. – 2023. – URL: <https://www.tadviser.ru/index.php> (дата обращения: 29.10.2025).

3. Как генеративный ИИ будет развиваться. 6 главных трендов // TAdviser: [сайт]. – 2023. – URL: <https://www.tadviser.ru/index.php> (дата обращения: 29.10.2025).

4. Maslej N. [et al.] Artificial intelligence index report 2023 // arXiv preprint arXiv:2310.03715. – 2023.
5. How AI Is Revolutionizing the Marketing Landscape // HubSpot: [сайт]. – 2023. – URL: <https://www.hubspot.com> (дата обращения: 31.10.2025).
6. Intelligence B. Generative AI to become a \$1.3 trillion market by 2032, research finds // Bloomberg.com: [сайт]. – 2023. – URL: <https://www.bloomberg.com> (дата обращения: 01.11.2025).
7. Бронников М. А. Применение искусственного интеллекта в маркетинге // Экономика и социум. – 2022. – № 6-1 (97). – С. 449–453.
8. The 2023 State of Marketing AI Report // Marketing AI Institute: [сайт]. – 2023. – URL: <https://www.marketingaiinstitute.com/> (дата обращения: 02.11.2023).
9. Why Human Content Plus AI-Driven Distribution Is The Future of Content Marketing // Marketing Insider Group: [сайт]. – 2023. – URL: <https://marketinginsidergroup.com> (дата обращения: 02.11.2023).
10. Иванов А. В., Петрова Е. С. Интеллектуальные системы анализа данных в цифровом маркетинге // Маркетинг и маркетинговые исследования. – 2022. – № 4. – С. 35–42.
11. Кузнецова Л. М. Омниканальные стратегии продвижения и их влияние на потребительское поведение // Вестник экономики, права и социологии. – 2023. – № 2. – С. 112–118.
12. Chen J., Liu K. Multichannel and Omnichannel Marketing Analytics: Approaches and Trends // Journal of Digital Marketing Research. – 2023. – Vol. 15, No. 3. – Pp. 58–72.
13. Artificial Intelligence for Marketing: Applications and Emerging Practices // McKinsey & Company: [сайт]. – 2023. – URL: <https://www.mckinsey.com> (дата обращения: 15.11.2025).
14. Omnichannel Marketing and Customer Experience Optimization // Deloitte Insights: [сайт]. – 2024. – URL: <https://www.deloitte.com> (дата обращения: 15.11.2025).
15. Новиков Д. А. Теория управления организационными системами. 4-е изд., испр. и дополн. – М.: ЛЕНАНД, 2022. – 500 с.
16. Movsisian L. K., Smolentseva T. E. Application of Intelligent Decision-Making Support Model in the Processes of Omnichannel Marketing // 2024 International Russian Smart Industry Conference (SmartIndustryCon). – IEEE, 2024. – С. 676-681.

РАЦИОНАЛЬНЫЕ УНИНОРМЫ И ИХ СВОЙСТВА

А. А. Несмеянова, Т. М. Леденева

Воронежский государственный университет

Аннотация. В статье рассматриваются основные классы операций над нечеткими множествами — треугольные нормы и конормы, униномы. Главным недостатком треугольных норм и конорм является отсутствие компенсационных свойств у данного класса операций. Униномы лишены данного недостатка. В статье исследуются представления нечетких операций в виде рациональных функций. Треугольные нормы и конормы хорошо исследованы в данном классе функций в отличие от унином. В ходе исследования на основе определений и свойств унином сформулированы и доказаны утверждения, необходимые для получения подобных представлений. На основе данных утверждений получены представления унином в классе рациональных функций. Проведен анализ соответствующих полученным униномам поверхностей.

Ключевые слова: треугольные нормы и конормы, рациональные униномы, параметризованное представление унином, кривые второго порядка.

Введение

В задачах, связанных с моделированием различных систем в условиях неопределенности с применением аппарата нечеткой математики, существует проблема формализации нечетких логических операций, и, прежде всего, основных — дизъюнкции и конъюнкции или объединения и пересечения. Одним из подходов к решению этой проблемы является использование различных семейств треугольных норм (t -норм) и конорм (s -конорм), при этом треугольная норма моделирует конъюнкцию и пересечение нечетких множеств, а треугольная конорма — дизъюнкцию и объединение соответственно [1, 2]. Данный класс операций имеет один существенный недостаток: на результат операции большее влияние оказывает малый по значению аргумент в случае t -норм, и больший — в случае s -конорм, причем не имеет значения насколько больше или меньше соответственно другой аргумент [3].

Класс унином — класс операций, являющихся обобщением t -норм и s -конорм. Униномы обладают компенсационным поведением, позволяющим компенсировать большие значения аргументов малыми и наоборот [3, 4]. Степень компенсации настраивается путем подбора нейтрального элемента, участвующего в представлении униномы [3, 4]. Наличие данного свойства обуславливает тот факт, что униномы можно использовать как операции агрегирования, которые позволяют изменять стратегию с конъюнктивной на дизъюнктивную, а, следовательно, моделировать сложные комбинированные и гибридные стратегии при построении оценочных систем [4].

Заметим, что униномы используются для функционального представления моделей логического вывода в нечетких системах, а также являются операциями псевдоумножения в теории нечетких мер и связанных с ними интегралов [4].

Представление нечетких операций в классе рациональных функций позволяет с помощью общего параметризованного представления получать множество частных представлений, среди которых будет хотя бы одно, подходящее для решения задачи. Цель статьи заключается в исследовании поверхностей, соответствующих представлениям унином в классе рациональных функций.

1. Материалы и методы

1.1. Треугольные нормы и конормы в классе рациональных функций

Треугольной нормой (t -нормой) [5] называется бинарная операция $T : [0,1]^2 \rightarrow [0,1]$, удовлетворяющая следующим аксиомам:

1. $T(x, y) = T(y, x)$ (коммутативность);
2. $T(x, T(y, z)) = T(T(x, y), z)$ (ассоциативность);
3. $x_1 \leq x_2, y_1 \leq y_2 \Rightarrow T(x_1, y_1) \leq T(x_2, y_2)$ (монотонность);
4. $T(0, x) = 0, T(1, x) = x$ (ограниченность).

Треугольной конормой (s -конормой) [5] — бинарная операция $S : [0,1]^2 \rightarrow [0,1]$, удовлетворяющая аксиомам коммутативности, ассоциативности, монотонности и ограничениям $S(1, x) = 1, S(0, x) = x$.

Треугольные нормы и конормы являются двойственными операциями, для которых выполняются равенства, представляющие законы де Моргана [5]:

$$S(x, y) = 1 - T(1 - x, 1 - y), \quad T(x, y) = 1 - S(1 - x, 1 - y).$$

Среди t -норм и s -конорм выделяют класс архимедовых операций, являющихся непрерывными и строго монотонными. Заметим, что, с одной стороны, архимедова t -норма также удовлетворяет аксиоме субидемпотентности: $T(x, x) < x$, с другой, архимедова s -конорма удовлетворяет аксиоме суперидемпотентности, то есть $S(x, x) > x$ [7, 9].

Данные операции интересны тем, что для них существуют представления в классе рациональных функций с помощью аддитивных генераторов — возрастающих и убывающих.

Убывающим генератором называется непрерывная, строго убывающая функция $t : [0,1] \rightarrow \mathbb{R}$ такая, что $t(1) = 0$ [7].

Операция T является архимедовой t -нормой тогда и только тогда, когда существует убывающий генератор t такой, что [7]:

$$T(x, y) = t^{(-1)}(t(x) + t(y))$$

для всех $(x, y) \in [0,1]^2$.

Возрастающим генератором называется непрерывная, строго возрастающая функция $s : [0,1] \rightarrow \mathbb{R}$ такая, что $s(0) = 0$ [7].

Операция S является архимедовой s -конормой тогда и только тогда, когда существует возрастающий генератор s такой, что [7]:

$$S(x, y) = s^{(-1)}(s(x) + s(y))$$

для всех $(x, y) \in [0,1]^2$.

Треугольные нормы и конормы в классе рациональных функций представимы в следующем виде [5, 8–9, 10–11]:

$$F(x, y) = \frac{a_0 + a_1(x + y) + a_2xy}{b_0 + b_1(x + y) + b_2xy}. \quad (1)$$

Процедура построения t -норм и s -конорм в виде (1) с помощью аддитивных генераторов исчерпывающе представлена в [1].

Примером t -норм и s -конорм в классе рациональных функций являются следующие нечеткие операции Хамахера [8]:

$$T_h(x, y) = \frac{xy}{h + (1 - h)(x + y - xy)}, \quad h > 0,$$
$$S_\beta(x, y) = \frac{(\beta - 1)xy + x + y}{1 + \beta xy}, \quad \beta > -1.$$

1.2. Униномы

В классе нечетких операций существуют униномы, совмещающие в своей структуре свойства t -норм, s -конорм и операций осреднения.

Униномой называется бинарная операция $U : [0, 1]^2 \rightarrow [0, 1]$, удовлетворяющая аксиомам коммутативности, ассоциативности, монотонности и существования нейтрального элемента $e \in [0, 1]$ такого, что [3, 4]

$$U(x, e) = U(e, x) = x.$$

Необходимо отметить, что изменение поведения униномы напрямую зависит от ее нейтрального элемента [3]. Это одно из важных свойств унином, на котором будет построено дальнейшее исследование представления данных операций в классе рациональных функций.

Униномы относятся к классам операторов с компенсационными свойствами [1, 3].

Структура унином позволяет изменять поведение функции в зависимости от области определения. В областях $[0, e]^2$ и $[e, 1]^2$ данный тип операций действует аналогично t -норме и s -конорме соответственно [5], а в области, объединяющей два открытых квадрата $[0, e) \times (e, 1]$ и $[e, 1) \times (0, e]$, проявляет свойства оператора осреднения, обеспечивая компенсацию между аргументами [3, 4], то есть

$$\min\{x, y\} \leq U(x, y) \leq \max\{x, y\}.$$

Любой униноме с нейтральным элементом e при аргументах из рассмотренных ранее областей определения, соответствуют t -норма T и s -конорма S такие, что [4]:

$$T_U(x, y) = \frac{U(ex, ey)}{e}, \quad S_U(x, y) = \frac{U(e + (1 - e)x, e + (1 - e)y) - e}{1 - e}.$$

Униномы, так же как и t -нормы и s -конормы, могут быть представлены рациональными функциями [4].

2. Представление унином в классе рациональных функций

2.1. Формы представления унином

В данном разделе будет исследована возможность представления унином в виде рациональной функции вида (1). Сложность состоит в том, что данная функция зависит от шести параметров, и необходимо определить ограничения для каждого из них.

В [12] доказано существование унином, представленных в табл. 1. Также известно, что существует еще одно общее представление унином в виде (1), в котором все шесть параметров являются ненулевыми величинами. На данный момент для проверки функций подобного вида на соответствие аксиомам унином необходимо использовать ограничения, сформулированные в [12], исследование данного представления находится в процессе.

Таблица 1

Формы представления унином

Форма представления	Ограничения на параметры
$U_e(x, y) = \min \left\{ 1, \max \left\{ 0, \frac{e^2 (e - (x + y))}{-e(x + y) + xy} \right\} \right\},$ $U(0, 0) = 0, \quad U(1, 1) \Big _{e=\frac{1}{2}} = 1$	$e \in \left[\frac{1}{2}, 1 \right]$

$U_{e\rho}(x, y) = \min \left\{ 1, \max \left\{ 0, \frac{e^2\rho - e\rho(x+y) + (\rho - e)xy}{-e(x+y) + xy} \right\} \right\},$ $U(0,0) = 0, \quad U(1,1) _{e=\frac{1}{2}} = 1$	$(e, \rho) \in \left[\frac{1}{2}, 1 \right) \times \left[0, \frac{1}{1-e} \right]_{e \neq 1},$ при $e = 1$ имеем $\rho = 0$
$U_{er}(x, y) = \min \left\{ 1, \max \left\{ 0, \frac{(r - e^2)(-e + (x + y))}{r - e(x + y) + xy} \right\} \right\}$	$e \in [0, 1],$ $r \in (-\infty, \min\{0, 2e - 1\}) \cup$ $\cup [1 - e + e^2, +\infty)_{\substack{e \neq 1, \\ r \neq 1}},$ при $e = 1$ имеем $r = 1$

На рис. 1 представлено несколько примеров униорм из неисчислимого многообразия униорм, которое возможно получить из общих форм представления из табл. 1.

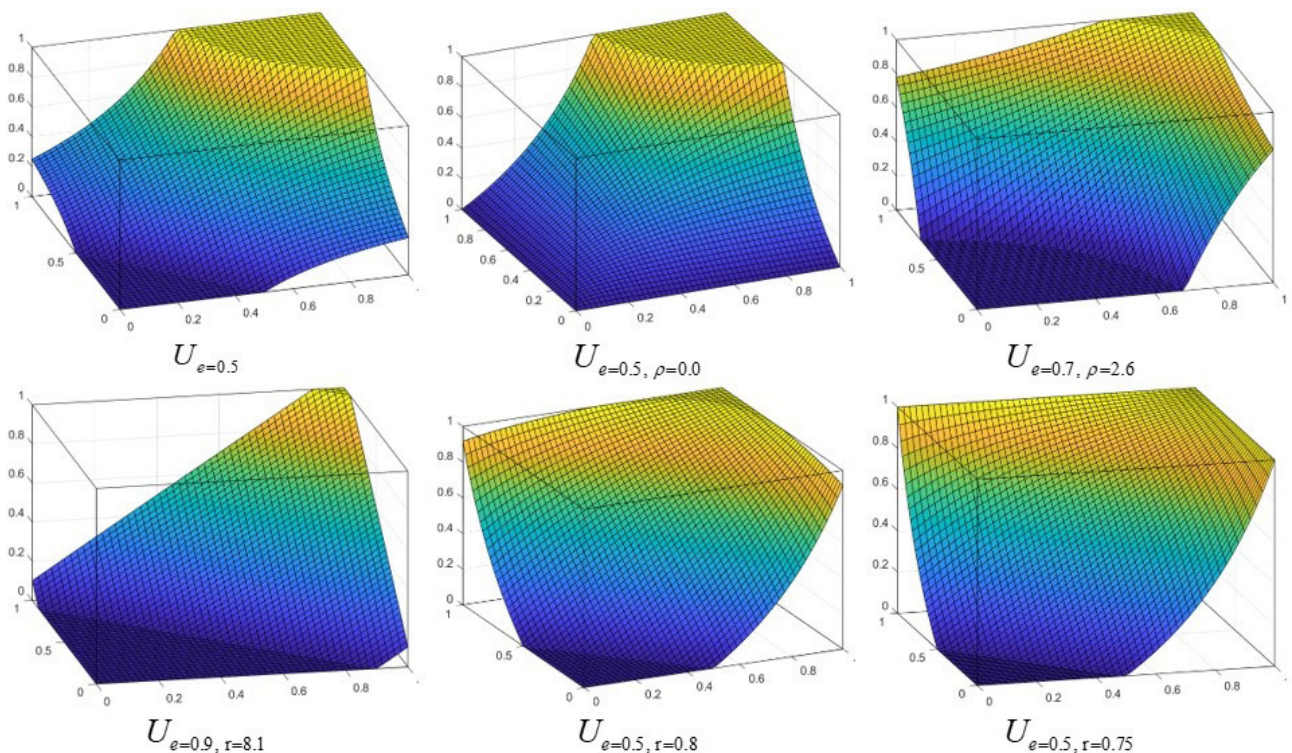


Рис. 1. Многообразие униорм

2.2. Анализ поверхностей униорм

Для анализа поверхностей, соответствующих униормам, были выбраны точки на границе единичного куба, образуемого областью определения и областью значения униорм. В дальнейшем будем называть эти точки особыми. Таких особых точек шесть:

$$(0,1,U), (x,1,1), (x,0,0)$$

и точки им симметричные, так как униормы удовлетворяют свойству симметричности.

В табл. 2 представлены значения униормы или ее аргументов в указанных особых точках. Значение униормы в особых точках показывает, насколько поведение униормы близко к поведению t -нормы или s -конормы ей соответствующими.

Анализ поведения униорм в особых точках

Вид особой точки	Значение униормы	Предельные значения нейтрального элемента	Может ли быть s-конормой
(1, 0) или (0, 1)	$U_e(1, 0) = e(1 - e)$	$\lim_{e \rightarrow 0} U_e(1, 0) = 0 \neq 1; \lim_{e \rightarrow 1} U_e(1, 0) = 0$	нет
	$U_{e\rho}(1, 0) = \rho(1 - e)$	$\lim_{e \rightarrow 0} U_{e\rho}(1, 0) = \lim_{e \rightarrow 0} \rho \neq 1; \lim_{e \rightarrow 1} U_{e\rho}(1, 0) = 0$	нет
	$U_{er}(1, 0) = \frac{(r - e^2)(1 - e)}{r - e}$	$\lim_{e \rightarrow 0} U_{er}(1, 0) = \lim_{e \rightarrow 0} r \neq 1; \lim_{e \rightarrow 1} U_{er}(1, 0) = \lim_{e \rightarrow 1} (r - 1) \neq 0$	да
(x, 1, 1) или (1, y, 1)	$U_e(x, 1) = 1$ при $x = e$	$\lim_{e \rightarrow 0} U_e(x, 1) = 0 \neq 1; \lim_{e \rightarrow 1, x \rightarrow 1} U_e(x, 1) = \lim_{e \rightarrow 1, x \rightarrow 1} x = 1$	нет
	$U_{e\rho}(x, 1) = 1$ при $x = e, \rho = \frac{1}{1 - e}$	$\lim_{e \rightarrow 0} U_{e\rho}(x, 1) = \rho \neq 1; \lim_{e \rightarrow 1, x \rightarrow 1} U_{e\rho}(x, 1) = \lim_{e \rightarrow 1, x \rightarrow 1} x = 1$	нет
	$U_{er}(x, 1) = 1$ при $x = e$ или $r = e^2 - e + 1$	$\lim_{e \rightarrow 0} U_{er}(x, 1) = 1 \neq 0; \lim_{e \rightarrow 1, x \rightarrow 1} U_{er}(x, 1) = \lim_{e \rightarrow 1, x \rightarrow 1} \frac{x - 1}{r} \neq 1$	да
(x, 0, 0) или (0, y, 0)	$U_e(x, 0) = 0$ при $x = e$	$\lim_{e \rightarrow 0} U_e(x, 0) = -\infty \neq 0; \lim_{e \rightarrow 1, x \rightarrow 1} U_e(x, 0) = \lim_{e \rightarrow 1, x \rightarrow 1} (1 - x) = 0$	нет
	$U_{e\rho}(x, 0) = 1$ при $x = e$ или $\rho = 0$	$\lim_{e \rightarrow 0} U_{e\rho}(x, 0) = -\infty \neq 0; \lim_{e \rightarrow 1, x \rightarrow 1} U_{e\rho}(x, 0) = 0$	нет
	$U_{er}(x, 0) = 1$ при $x = e, r = e^2$	$\lim_{e \rightarrow 0, x \rightarrow 1} U_{er}(x, 0) \neq 0$ при $x \rightarrow 1; \lim_{e \rightarrow 1, r \neq e^2} U_{er}(x, 0) \neq 0$	да

Также в табл. 2 представлена информация о возможности обращения указанной униормы в s-норму при $e = 0$. Стоит отметить, что все из полученных форм представлений позволяют униорме удовлетворять аксиомам t-конормы при $e = 1$.

На рис. 2 представлены поверхности униорм с отмеченными особыми точками.

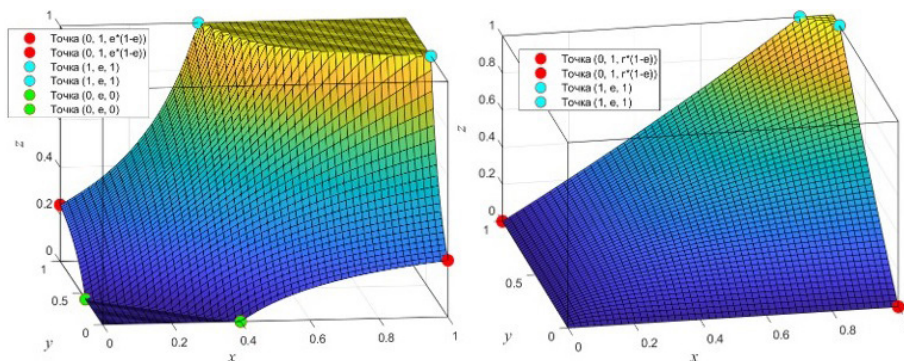


Рис. 2. Поверхности униорм $U_{e=0.4}$ $U_{e=0.9, \rho=0.0}$ слева направо и сверху вниз

Построенные особые точки с вычисленными аналитически значениями совпадают с точками поверхности.

Для всех исследуемых представлений унинорм присутствуют точки $(e,1,1)$, $(e,0,0)$ и им симметричные, отмечающие границы изменения поведения унинормы — от t -нормы к s -норме или осреднению. Найдены также уникальные для каждого представления унинормы точки $(0,1,U)$ и $(1,0,U)$, в которых значение U можно определить формулой, зависящей только от параметров рассматриваемой операции.

Утверждение. На пересечении поверхности унинормы U без проектирования с плоскостями $U(x,y)=1$ и $U(x,y)=0$, образуется прямая или гипербола в следующем каноническом виде

$$\frac{\tilde{x}^2}{a^2} - \frac{\tilde{y}^2}{a^2} = 1, \quad (2)$$

где

$$\begin{aligned} \tilde{x} &= (x - x_0) \cos 45^\circ + (y - y_0) \sin 45^\circ, \\ \tilde{y} &= -(x - x_0) \sin 45^\circ + (y - y_0) \cos 45^\circ. \end{aligned}$$

В табл. 3 приведены вычисленные в ходе доказательства утверждения параметры, необходимые для представления кривых второго порядка (гипербол) в каноническом виде (2), и представления прямых в необходимых случаях.

Таблица 3

Анализ поверхностей с точки зрения особых кривых

Унинорма	Значения коэффициента a	Начало координат $\tilde{x}\tilde{O}\tilde{y}$	α
$U_e(x,y)=1$	$a = \sqrt{2e^2(e^2 - e + 1)}$	$(e(1-e), e(1-e))$	45°
$U_e(x,y)=0$	Прямая $y = e - x$		
$U_{e\rho}(x,y)=1$	$a = \sqrt{\frac{2e^2(1-\rho(1-e))}{(\rho-e-1)^2}}$	$\left(\frac{e(\rho-1)}{\rho-e-1}, \frac{e(\rho-1)}{\rho-e-1}\right)$	45°
$U_{e\rho}(x,y)=0$	$a = \sqrt{\frac{2e^3\rho}{(\rho-e)^2}}$	$\left(\frac{e\rho}{\rho-e}, \frac{e\rho}{\rho-e}\right)$	45°
$U_{er}(x,y)=1$	$a = \sqrt{2((e^3 - r(1+e)) + (r + e(1-e))^2)}$	$(r + e(1-e), r + e(1-e))$	45°
$U_{er}(x,y)=0$	Прямая $y = e - x$		

На рис. 3 представлен вид особых кривых на примере поверхности.

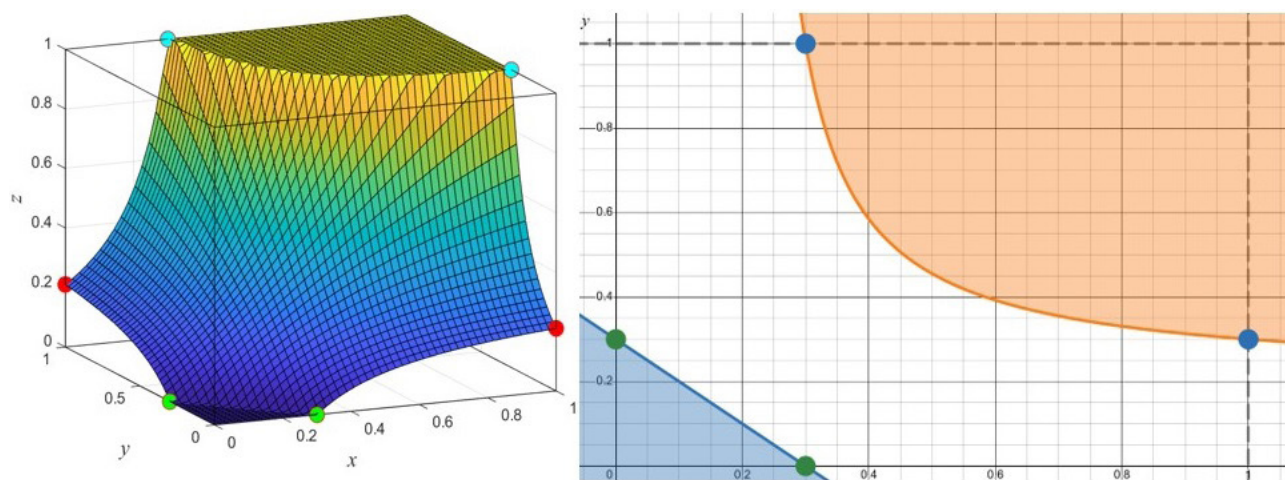


Рис. 3. Иллюстративный пример особых кривых для унинормы U_e при $e = 0.3$ с отмеченными особыми точками $(1,e)$, $(0,e)$ и им симметричными

Анализ граничных кривых (с плоскостями $U(x, y) = 0$ и $U(x, y) = 1$) показывает, что данные кривые являются прямыми или гиперболами по утверждению. Это дает аналитическое описание зон, где униорма принимает экстремальные значения

Заключение

В данной работе проведено исследование, направленное на построение и анализ новых представлений униорм в классе рациональных функций. Были получены следующие основные результаты:

– проведен всесторонний анализ поверхностей, соответствующих полученным представлениям. Анализ поведения униорм в особых точках на границе единичного квадрата и исследование кривых пересечения с плоскостями $U(x, y) = 1$ и $U(x, y) = 0$ подтвердили компенсационные свойства униорм;

– графический анализ продемонстрировал способность униорм гибко изменять поведение в зависимости от значений аргументов, что открывает возможность для дальнейшего исследования применения униорм в агрегирования с применением конъюнктивной (t -норма), дизъюнктивной (s -конорма) и компромиссной (осреднение) стратегий агрегирования в рамках единого оператора.

Таким образом, достигнута цель исследования: исследованы конкретные аналитические формы представления униорм в классе рациональных функций. Полученные параметрические семейства могут быть использованы в задачах нечеткого моделирования и многокритериального принятия решений, где требуется адаптивное агрегирование оценок.

Литература

1. Леденева Т. М. Основы нечеткого моделирования : учеб. пособие / Т. М. Леденева. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2022. – 129 с.
2. Яхьяева Г. Э. Нечеткие системы и нейронные сети : учеб. пособие / Г. Э. Яхьяева. – Москва : Интернет-Университет Информационных технологий : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 316 с.
3. *Detyniecki M. Mathematical aggregation operators and their application to video querying : dis. Docteur de l'Universite Paris VI / M. Detyniecki. – Paris, France, 2000. – 185 p.*
4. *Fodor J. On rational uninorms / J. Fodor // Proceedings of the First Slovakian-Hungarian Joint Symposium on Applied Machine Intelligence. Szent Istvan University, Hungary, February 12–14, 2003). P. 139–147.*
5. Леденева Т. М. Некоторые аспекты представления нечетких операторов отношением двух многочленов / Т. М. Леденева // Известия вузов. Математика. – 1997. – № 11. – С. 33–40.
6. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств / А. Кофман ; пер. с франц. В. Б. Кузьмина ; под. ред. С. И. Травкина. – Москва : Радио и связь, 1982. – 432 с.
7. *Klir G. J. Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications / G. J. Klir, Bo Yuan. – New Jersey : Prentice Hall PTR, 1995. – 591 p.*
8. *Ledeneva T. M. Analysis of additive generators of fuzzy operations represented by rational functions / T. M. Ledeneva // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Vol. 973. – P. 1–9.*
9. *Ledeneva T. M. A parametric family of triangular norms and conorms with additive generator in the form of an arctangent of a linear fractional function / T. M. Ledeneva // Computation. – 2023. – Vol. 11. – № 8. – P. 155–164.*
10. *Ledeneva T. M. Additive generators of fuzzy operations in the form of linear fractional functions / T. M. Ledeneva // Fuzzy sets and systems. – 2019. – Vol. 386. – P. 1–24.*

11. *Ledeneva T. M.* New family of triangular norms for decreasing generators in the form of a logarithm of a linear fractional function / T. M. Ledeneva // *Fuzzy Sets and Systems*. – 2020. – Vol. 386. – P. 1–24.

12. *Несмеянова А. А.* О нейтральном элементе униформы / А. А. Несмеянова // *Математика, информационные технологии, приложения : сборник трудов Межвузовской научной конференции молодых ученых и студентов, Воронеж, 23–25 апреля 2025 г.* Издательство «Научная книга», 2025.

ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ОРКЕСТРАЦИИ СЕТЕВОЙ ТЕЛЕМЕТРИИ В ПРОГРАММНО-ОПРЕДЕЛЯЕМЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ

К. В. Новиковский, А. П. Преображенский

Воронежский институт высоких технологий

Аннотация. В современных телекоммуникационных сетях с возрастающими требованиями к детальности мониторинга актуальна задача эффективной оркестрации сетевой телеметрии, позволяющей минимизировать накладные расходы и поддерживать качество обслуживания. Цель исследования — разработка оптимизационного подхода к распределению телеметрических задач, обеспечивающего мониторинг всей сети при минимальной нагрузке на ее ресурсы. Предложена математическая модель задачи оркестрации телеметрии; доказано, что она является NP-полной. Для ее решения разработаны два эвристических алгоритма — INTO-Concentrate и INTO-Balance. Первый минимизирует число потоков, задействованных в телеметрии, концентрируя сбор данных, тогда как второй балансирует телеметрическую нагрузку между потоками. Экспериментальная оценка на реальных топологиях WAN показала, что предложенные алгоритмы позволяют получать решения, близкие к оптимальным, за полиномиальное время. Практическая значимость работы заключается в снижении накладных расходов телеметрии при сохранении требуемого качества обслуживания сети.

Ключевые слова: телекоммуникационные сети; сетевая телеметрия; оркестрация телеметрии; сетевой мониторинг; программно-определяемые сети (SDN); оптимизация; эвристические алгоритмы; NP-полные задачи; распределение нагрузки; качество обслуживания (QoS).

Введение

Современные телекоммуникационные сети характеризуются высокой скоростью передачи данных, значительной масштабируемостью и сложной топологической структурой. По мере роста количества сетевых устройств, потоков трафика и сервисов возрастает необходимость в точных и оперативных механизмах мониторинга, обеспечивающих наблюдаемость сети и своевременное выявление отклонений в её работе. Однако традиционные инструменты, основанные на протоколах SNMP, NetFlow и sFlow, оказываются недостаточными при эксплуатации в сетях крупного масштаба. Они обеспечивают лишь усреднённые показатели и требуют периодического опроса оборудования, что создаёт дополнительную нагрузку на каналы связи и снижает оперативность анализа состояния сети [1].

С развитием концепции программно-определяемых сетей (SDN) появились новые возможности централизованного управления и гибкого изменения политик мониторинга. SDN-контроллеры позволяют формировать единую систему наблюдения за состоянием сети и динамически перенастраивать сбор статистики [2, 3]. Однако даже в рамках SDN-архитектуры классические методы опроса не обеспечивают достаточной детализации и скорости реакции, особенно при высокочастотных изменениях трафика и маршрутов.

В последние годы активное развитие получила технология in-band network telemetry (INT), предусматривающая внедрение телеметрической информации непосредственно в транзитные пакеты данных. В отличие от традиционного подхода, INT позволяет собирать информацию о прохождении пакетов через каждый промежуточный узел без использования отдельного измерительного трафика. Данный механизм обеспечивает наблюдение за сетью в режиме реального времени и значительно повышает точность диагностики [4]. Тем не менее широкое применение INT сопровождается рядом проблем — ростом накладных расходов, увеличением

размера пакетов и дополнительной нагрузкой на коммутаторы, что требует оптимизации механизмов распределения телеметрии [5].

Таким образом, актуальной становится оптимизационная постановка задачи оркестрации телеметрии, заключающаяся в выборе подмножества потоков и интерфейсов, на которых активируется сбор диагностических метаданных. Целью является обеспечение полного покрытия сети при минимальных издержках и равномерном распределении нагрузки. В рамках настоящего исследования рассматривается модель централизованной статической оркестрации, при которой решения о размещении телеметрических потоков принимаются до начала мониторинга и не изменяются в процессе работы. Такой подход соответствует архитектурным принципам SDN и политике *pre-runtime orchestration*, обеспечивающей детерминированность, предсказуемость и низкие накладные расходы на координацию.

В отечественной научной литературе отмечается необходимость перехода от статических схем мониторинга к интеллектуальным системам, использующим методы искусственного интеллекта и адаптивной аналитики для управления сетевой телеметрией, а также подчёркиваются ограничения традиционных инструментов наблюдения, применяемых в российских сетевых инфраструктурах.

В рамках настоящего исследования поставлена цель разработать оптимизационный подход к оркестрации сетевой телеметрии, основанный на математическом моделировании и эвристических алгоритмах. Для достижения цели решаются следующие задачи:

- 1) построить формальную модель телекоммуникационной сети с поддержкой технологии *in-band telemetry* и сформулировать задачу оркестрации как задачу оптимизации;
- 2) исследовать вычислительную сложность предложенной модели и доказать её NP-полноту;
- 3) разработать эвристические методы, обеспечивающие приближённое решение с высокой вычислительной эффективностью;
- 4) провести экспериментальную оценку предложенных алгоритмов и сравнить их с эталонными ILP-решениями.

Научная новизна работы заключается в формализации задачи оркестрации телеметрии как задачи комбинаторной оптимизации на графе сети и в предложении двух вычислительно эффективных эвристик — *INTO-Concentrate* и *INTO-Balance*, ориентированных на минимизацию накладных расходов и равномерное распределение нагрузки соответственно. Практическая значимость исследования состоит в возможности интеграции предложенных методов в архитектуры SDN и контроллеры сетей нового поколения, что позволит повысить наблюдаемость сети и снизить объём служебного трафика при сохранении точности мониторинга.

1. Математическая модель задачи оркестрации телеметрии

Для формализации задачи оркестрации сетевой телеметрии рассмотрим телекоммуникационную сеть в виде ориентированного графа $G = (V, E)$. В данном графе $V = (u_1, u_2, u_3 \dots u_n)$ и это множество узлов (коммутаторов, маршрутизаторов), а $E = (e_1, e_2, e_3 \dots e_n)$ множество направленных каналов связи между ними. Каждому каналу $e \in E$ соответствует пара интерфейсов — исходящий и входящий, по которым осуществляется передача пакетов. Допустим, что множество потоков данных обозначено как $F = (f_1, f_2, f_3 \dots f_n)$. Каждый поток f_i проходит по некоторому пути $P(f_i) \subseteq E$ и на каждом интерфейсе, принадлежащем этому пути, может быть активирована функция телеметрии. Для описания распределения функций мониторинга введём бинарные переменные x_{ij} показывает, проходит ли поток f_i через интерфейс e_i ; $x_{ij} = 1$, если поток охватывает интерфейс, и $x_{ij} = 0$. Также введём бинарную переменную y_{ij} , равную 1, если поток f_i активен в телеметрии, и 0 — если нет. В таком случае задача оркестрации телеметрии сводится к минимизации общего числа активных потоков при условии, что каждый

интерфейс сети должен быть охвачен хотя бы одним телеметрическим потоком: минимизировать $f_i(y) = \sum_{j=1}^p y_j$ при ограничениях

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^p x_{ij} &\geq 1, \forall e_i \in E \\ x_{ij} &\leq y_{ij} \quad \forall e_i \in E, f_i \in F \\ y_{ij} &\in \{0, 1\}, x_{ij} \in \{0, 1\}. \end{aligned} \quad (1)$$

Первое ограничение гарантирует полное покрытие интерфейсов, второе — согласованность между выбранными потоками и активированными функциями телеметрии.

Функция цели выражает задачу минимизации числа активных потоков при сохранении полного покрытия сети. Данная постановка представляет собой дискретную задачу оптимизации, тесно связанную с классической задачей Set Cover, что позволяет утверждать её NP-полноту. Следовательно, при увеличении размерности сети применение точных методов (например, целочисленного линейного программирования) становится вычислительно неэффективным.

Для обеспечения практической применимости разработанных решений далее предлагаются приближённые эвристические алгоритмы, позволяющие находить близкие к оптимальным решения за полиномиальное время.

2. Эвристические методы решения

Поскольку сформулированная задача относится к классу NP-полных, для сетей практического масштаба целесообразно применять приближённые алгоритмы с полиномиальным временем работы. Ниже описаны две комплементарные эвристики, ориентированные на разные эксплуатационные приоритеты: минимизацию числа телеметрических потоков и выравнивание нагрузки между ними

2.1. Эвристика INTO-Concentrate (CH)

Основное максимальное покрытие: на каждом шаге выбирается поток, который покрывает наибольшее число ещё непокрытых интерфейсов.

Алгоритмическая схема.

Инициализация множества непокрытых интерфейсов: $U \leftarrow E$, пока $U \neq \emptyset$: для каждого $f \in F$ вычислить $c(f) = |P(f) \cap U|$; выбрать $f^* = \arg \max_f c(f)$; активировать $y_{f^*} \leftarrow 1$, поставить $x_{ij} = 1$ для всех $e_i \in P(f^*) \cap U$; обновить $U \leftarrow E \setminus P(f^*)$. Далее вернуть множество активных потоков $\{f : y_f = 1\}$. Время работы при прямолинейной реализации $O(|F||E|)$ Эвристика минимизирует количество задействованных потоков, но может приводить к неравномерной концентрации телеметрии на отдельных маршрутах.

2.2. Эвристика INTO-Balance (BH)

Равномерное распределение нагрузки: интерфейсы назначаются тем потокам, у которых текущая телеметрическая нагрузка минимальна, при соблюдении технологических ограничений (например, MTU).

Алгоритмическая схема.

Задать нулевые нагрузки потоков $L(f) \leftarrow 0$, множество непокрытых интерфейсов $U \leftarrow E$. Для каждого $i \in U$: определим кандидатов $F_f = \{f \in F : e_i \in P(f)\}$; выбрать $f^* = \arg \min_{f \in F_i} L(f)$ с учётом ограничений (MTU/перегрузка); назначим покрытие: $x_{if^*} \leftarrow 1$, при необходимости

$y_{f^*} \leftarrow 1$; обновим нагрузки $L(f^*) \leftarrow L(f^*) + 1$ и $U \leftarrow U \setminus \{e_i\}$. По завершении все интерфейсы покрыты, а максимум $\max_f L(f)$ минимизирован эвристически. Как правило, время $O(\sum_{i \in E} |F_i|) \leq O(|F||E|)$. Эвристика снижает пиковую нагрузку и разброс между потоками ценой потенциального увеличения общего числа активных потоков.

2.3. Сравнительная характеристика

Основная цель заключается в том что СН минимизирует $\sum_f y_f$; ВН минимизирует $\max_f L(f)$ и СН экономит число носителей телеметрии, ВН снижает риск локальной перегрузки (важно при жёстком MTU и чувствительности задержек). Сложность состоит в том что обе схемы масштабируются полиномиально и пригодны для оперативного применения в контроллерах SDN.

3. Экспериментальные исследования и результаты

Цель экспериментального раздела — количественно оценить эффективность предложенных эвристик относительно эталонных решений и показать их применимость на топологиях практического масштаба. Оценивание включает сравнение качества (покрытие, число активных потоков, баланс нагрузки) и вычислительной трудоёмкости (время расчёта) на реальных и синтетических графах сети.

В экспериментах рассматривались ориентированные графы телекоммуникационных сетей с числом интерфейсов от десятков до тысяч, отражающие характерные свойства операторских WAN-топологий (включая общеизвестные исследовательские сети и их синтетические аналоги). Для каждого графа генерировалось множество трафиковых потоков, F каждый поток сопоставлялся с маршрутом $P(f)$, формируемым с учётом типовых правил маршрутизации. Параметры сценариев варьировались по: размеру графа $|V|, |E|$; число потоков $|F|$; распределению длин маршрутов $|P(f)|$; бюджету технологических ограничений (например, MTU и максимально допустимый объём телеметрии в пакете). Для малых и средних инстансов вычислялось эталонное ILP-решение (точное или с гарантированным зазором оптимальности), которое использовалось как «золотой стандарт» для последующего сравнения с эвристиками INTO-Concentrate (CH) и INTO-Balance (BH).

В экспериментах использовались следующие количественные показатели:

Покрытие интерфейсов это доля $C \in [0, 1]$ интерфейсов $e \in E$, для которых $\sum_f x_{ef} \geq 1$ в корректных решениях $C = 1$.

Число активных потоков $N_f = \sum_f f_f$ — показатель «концентрации» телеметрии. Максимальная нагрузка на поток $L_{\max} = \max_f \sum_{e \in P(f)} x_{ef}$ и это индикатор равномерности распределения. Средняя нагрузка на поток $L_{\text{avg}} = \frac{1}{\sum_f y_f} \sum_f \sum_{e \in P(f)} x_{ef}$. Время расчёта T_{calc} суммарное время получения решения.

4 Результаты и обсуждение

В рамках численного эксперимента была осуществлена комплексная оценка эффективности предложенных эвристических алгоритмов — INTO-Concentrate (CH) и INTO-Balance (BH), предназначенных для решения задачи оркестрации телеметрии в программно-определяемых телекоммуникационных сетях. Особое внимание в процессе верификации было уделено

репрезентативности и разнообразию применяемых топологических моделей, что позволило провести всесторонний анализ устойчивости алгоритмов к различным условиям функционирования. В исследовании использовались несколько классов сетевых структур: иерархические (tree-like) топологии, характерные для корпоративных сред с централизованной маршрутизацией; частично-связные графы (partial mesh), отражающие особенности магистральных и региональных операторских сетей; а также искусственно сгенерированные направленные графы со случайной связностью, использовавшиеся для масштабного стресс-тестирования алгоритмов на предмет их вычислительной устойчивости при росте размерности задач.

Каждая тестовая структура моделировалась в виде ориентированного графа с параметризованными интерфейсами, обладающими индивидуальными характеристиками — такими как пропускная способность, задержка, направленность передачи и принадлежность к конкретным сетевым устройствам. Трафик телеметрии формировался в виде набора потоков, маршрутизируемых между выбранными парами узлов. Благодаря этому удалось достичь моделирования не только топологического разнообразия, но и вариативности нагрузочных сценариев, что существенно повысило достоверность оценки предложенных решений.

Следует отдельно подчеркнуть, что в работе рассматривается модель централизованной статической оркестрации телеметрии, при которой все управляющие решения о назначении телеметрических потоков и покрытии интерфейсов принимаются заранее, до начала процесса мониторинга. Такой подход соответствует концепции pre-runtime orchestration, широко используемой в архитектурах SDN-контроллеров. В то же время альтернативные парадигмы — такие как динамическая (run-time) или распределённая оркестрация — в рамках настоящего исследования не рассматривались, но обозначены авторами как перспективные направления дальнейших разработок.

С точки зрения вычислительной эффективности, предложенные эвристики продемонстрировали линейно-полиномиальную масштабируемость и оказались применимыми даже для крупных сетевых конфигураций. При обработке графов, содержащих до нескольких тысяч интерфейсов и сотен телеметрических потоков, среднее время расчёта решений не превышало одной-двух секунд на стандартной четырёхъядерной платформе, что подтверждает возможность практического использования разработанных алгоритмов в системах оперативного управления телеметрией. При этом алгоритм СН обеспечивал минимизацию количества активных потоков, способствуя экономии служебного трафика, но приводил к повышенным значениям пиковых нагрузок на отдельных интерфейсах. Напротив, алгоритм ВН демонстрировал более равномерное распределение нагрузки и снижение экстремальных значений L_{\max} , что особенно актуально в условиях сетей с жёсткими ограничениями по параметрам качества обслуживания (QoS), включая допустимую задержку и пределы MTU. Во всех сценариях, независимо от топологии и параметров, достигалось полное покрытие интерфейсов $C = 1$, что подтверждает корректность реализованной модели.

Таким образом, предложенные эвристические методы позволяют формировать управляемый компромисс между минимизацией телеметрических потоков и балансировкой нагрузки, обеспечивая при этом высокую вычислительную эффективность и практическую применимость в современных SDN-сетях. Эти результаты подтверждают целесообразность применения разработанного подхода в контексте интеллектуальной оркестрации сетевой телеметрии.

Заключение

Проведённое исследование показало, что применение оптимизационных методов при оркестрации сетевой телеметрии обеспечивает значительное повышение эффективности сбора диагностических данных и рациональное использование сетевых ресурсов. Разработанные

эвристики основаны на строгой математической постановке задачи, формализованной в терминах комбинаторной оптимизации на графе сети.

Доказана NP-полнота исходной задачи, что обусловило использование приближённых алгоритмов с полиномиальной вычислительной сложностью. Предложенные методы продемонстрировали высокую точность и масштабируемость, а также применимость в реальных SDN-контроллерах. Практическая значимость работы заключается в возможности интеграции описанных решений в системы мониторинга и управления телекоммуникационными сетями, что позволяет повысить наблюдаемость, уменьшить нагрузку на каналы связи и улучшить качество обслуживания.

В дальнейшем развитие исследования может быть направлено на построение распределённых и адаптивных схем оркестрации телеметрии, использующих элементы машинного обучения для прогнозирования сетевых состояний и динамической настройки параметров алгоритмов в реальном времени.

Литература

1. *Пилюгин П. Л.* Настройка сенсора мониторинга сети для обнаружения DoS/PROBE-атак (NetFlow/sFlow) // *Современные информационные технологии и ИТ-образование.* – 2020. – Т. 16, № 2. – С. 127–134.
2. *Yu M., Rexford J.* Software-defined traffic measurement: Flexible monitoring in SDN // *IEEE Communications Magazine.* – 2014. – Vol. 52, No. 12. – P. 146–152.
3. *Kim H., Feamster N.* Improving network management with software defined networking // *IEEE Communications Magazine.* – 2013. – Vol. 51, No. 2. – P. 114–119.
4. *Спиридонов В. А.* Технология анализа сетевого трафика и автоматической оптимизации на основе искусственного интеллекта // *Системный анализ в науке и образовании.* – 2022. – № 2. – С. 23–32.
5. *Marques R., Carvalho M., Sampaio L., Santos M.* An optimization-based approach for efficient network telemetry orchestration // *Journal of Internet Services and Applications.* – 2019. – Vol. 10. – Art. 12. – P. 1–13.

УНИФИЦИРОВАННАЯ РАБОТА С ГЕТЕРОГЕННЫМИ ДАННЫМИ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИИ

А. А. Носов, И. Е. Воронина

Воронежский государственный университет

Аннотация. Рассматривается проблема типового решения задач интеграции данных. Предложен новый подход к интеграции гетерогенных данных на основе онтологии. Показаны недостатки традиционных ETL-решений. Описана формальная математическая модель системы и ее практическая архитектура, включающая механизмы маппинга, логического вывода и трансляции запросов. Главные преимущества подхода: линейная масштабируемость, устойчивость к изменениям и возможность обогащения данных за счет логического вывода.

Ключевые слова: онтология, интеграция данных, гетерогенные данные, семантическая модель, маппинг, архитектура системы.

Введение

Современные промышленные предприятия имеют сложную информационную инфраструктуру, состоящую из множества разнородных источников данных: различные базы данных, электронные таблицы, веб-сервисы, текстовые файлы и т. д. Любая задача, которая связана с принятием решений на основе данных, требует объединение этих данных в единую зону.

Попытки объединить в единое целое множество систем с гетерогенными данными является трудоемкой интеграционной задачей. Сбора данных в единое пространство недостаточно, для удобной обработки информацию необходимо формализовывать, структурировать и согласовывать между собой. Введение онтологической модели позволяет решить данные проблемы, а также улучшить качество данных, автоматизировать интеграцию и расширить аналитику.

Интеграция данных — направление, которое включает в себя следующие процессы:

- объединение или перемещение данных, находящихся в разных источниках;
- предоставление данных пользователям в унифицированном виде.

В качестве примера задач требующих интеграцию данных можно привести следующие проекты:

1. На исполнительно-распорядительные органы местного самоуправления накладывается обязанность ведения учета сельскохозяйственных земель. С каждым годом площадь сельскохозяйственных угодий уменьшается, что впоследствии приводит к уменьшению урожайности и пагубно отражается на продовольственной безопасности региона. Причины сокращения площади могут быть различными: от организационно-правовых до социальных. Необрабатываемые почвы по своим свойствам становятся аналогичны целинным землям. Для предотвращения этого необходимо производить сбор огромных массивов данных с различных предприятий, занимающихся сельским хозяйством в регионе, такие данные имеют различные форматы. Для более удобной обработки информации необходимо данные со всех источников помещать в единое пространство. На основе объединенных данных можно обнаружить участки деградации почвы, неэффективное использование пахотных земель и т.п., что позволит принимать решения для эффективного использования угодий.

2. В нефтедобывающих компаниях существует обычно три больших направления: добыча, переработка, продажа. Направление, занимающееся добычей, обычно не знает, что творится в остальных направлениях, но блок логистики (перевозка нефти и трубопроводы) всегда находится в направлении переработки. Между этими направлениями нет передаваемой инфор-

мации об изменении добычи нефти в блок переработки. Из-за этого возникает логистическая бизнес-проблема: уменьшается резко объем добычи нефти в определенном месте, но вагоны ждут, простаивают, в то время как в другой точке наблюдается резкий рост добычи нефти, но во второе место не успевают дойти вагоны, там заполняются склады. В итоге приходится умышленно снижать добычу нефти только из-за того, что блоки между собой не обмениваются информацией. Данная проблема стала особенно актуальна, когда государство начала контролировать работу нефтяной отрасли и требовать резкого повышения эффективности.

Применение интеграции данных с использованием онтологической модели направлено на повышение операционной эффективности организации или подразделения, снижение издержек и сокращение расходов, быстрое реагирование на изменения внешней бизнес-среды, соответствие требованиям регуляторов.

В настоящее время есть множество бизнес-задач по интеграции данных, представленных на рис. 1. А также методы по их реализации: ETL/ELT, EAI, EII, ESB.

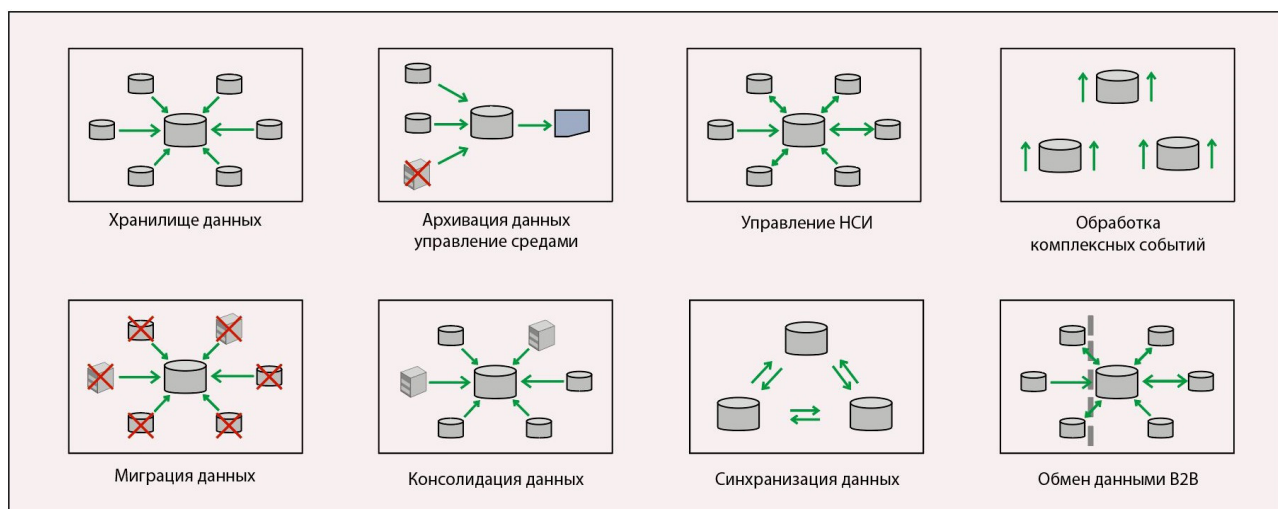


Рис. 1. Задачи интеграции данных

Проекты по интеграции данных встречаются в настоящее время практически во всех отраслях. Но зачастую в процессе введения интеграции данных на предприятии может возникнуть ситуация, когда применен ошибочный подход построения проектного решения по интеграции данных. В результате этого предприятие теряет прибыль и время. По информации из источника «Standish group» (рис. 2) — 34 % проектов по миграции и интеграции данных являются провальными, 49 % в следствие реализации потребовали перерасход средств и времени, лишь 17 % проектов от общего числа оказывались успешными с точки зрения выделения средств и времени [1].



Рис. 2. Успешность проектов миграции и интеграции данных «Standish group»

Следовательно, актуальна разработка проекта, позволяющего производить интеграцию данных наиболее удобно и эффективно для разных видов бизнес-задач, так как нет типового и достаточно тиражируемого решения. Для этого необходимо проанализировать возможности, различия и конкретные применения того или иного метода интеграции данных из разнородных источников.

Математическая модель системы

Традиционные ETL/ELT системы демонстрируют фундаментальные ограничения:

1. Для N источников и M приемников сложность $O(N \times M)$ (рис. 3).
2. Семантические разрывы: Потеря бизнес-контекста при преобразовании.
3. Хрупкость архитектуры: Изменения в одном источнике требуют модификации множества коннекторов.
4. Отсутствие унификации: Каждая интеграция решает проблемы заново.
5. Сложность эволюции: Невозможность плавного изменения схемы.

Традиционные ETL/ELT системы демонстрируют фундаментальные ограничения, которые были описаны выше. В противовес этому, система интеграции данных на основе онтологии предлагает модель, центрированную на смысле, а не на структуре данных.

$$System = (O, S, T, M, R),$$

где $O = (C, P, H, A, I)$ — онтология, семантический фундамент системы, где

1. $C = \{c_1, c_2, \dots, c_k\}$ — множество концептов (классов). Это абстракции предметной области (например, сельхоз угодье, скважина, нефтепродукт).

2. $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ — множество свойств концептов. (например, местоположение, производительность). Его можно разбить на два непересекающихся подмножества:

- $P_obj \subseteq C \times C$ — объектные свойства (связи между объектами). Пример: (Скважина, принадлежит, Предприятие);

- $P_data \subseteq C \times D$ — свойства-атрибуты (связи объектов с литералами). Здесь D — множество доменов данных (String, Integer, Double, Date, ...).

3. $H \subseteq C \times C$ — иерархическая связь концептов. Это ориентированный ациклический граф, где $(c_i, c_j) \in H$, т. е. c_i является подклассом c_j . Это отношение транзитивно и рефлексивно, что позволяет наследовать свойства.

4. $A = \{a_1, a_2, \dots, a_t\}$ — множество аксиом и правил. Это утверждения на языке логики (например, скважина имеет минимум одного владельца типа компания). Аксиомы бывают нескольких типов:

- ограничения области определения и значений;
- ограничения мощности (каждый индивид имеет как минимум n связей p с индивидами C);
- эквивалентность и непересекаемость (концепты «Мотор», «Двигатель» эквивалентны);
- свойства свойств.

5. $I = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$ — множество индивидов (экземпляров). Это конкретные объекты, которые являются экземплярами концептов: $type(i) \in C$. Для них задаются утверждения:

- $type(i, c)$, где $i \in I$, $c \in C$ (Индивид i является экземпляром класса c);
- $p(i, j)$, где $p \in P$, $i, j \in I$ (Индивид i связан с индивидом j отношением p);
- $p(i, v)$, где $p \in P_data$, $i \in I$, $v \in D$ (Индивид i имеет свойство p со значением v).

$S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ — множество источников данных. Каждый источник s_i характеризуется своей схемой $Schema(s_i)$.

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ — множество целевых хранилищ или сервисов.

$M \subseteq (S \times O \times T)$ — множество маппингов (отображений). Каждый маппинг $m \in M$ — это набор утверждений, связывающих элементы схемы источника с элементами онтологии. Пусть $Schema(s) = (Table[s], Attribute[s], Relation[s])$ — схема источника, где $Table[s]$ — множество

таблиц или коллекций, $Attribute[s]$ — множество атрибутов или полей, $Relation[s]$ — множество отношений (например, внешние ключи). Тогда маппинг для источника s есть кортеж $\varphi[s] = (\varphi[C], \varphi[P], \varphi[H])$, где:

- $\varphi[C]: Table[s] \rightarrow C \times C$ — функция маппинга таблиц на множество классов онтологии.

Одна таблица может маппиться на несколько классов (например, таблица «Объекты» на классы «Скважина» и «Месторождение» на основе условия);

- $\varphi[P]: Attribute[s] \rightarrow P_data \times P_data$ — функция маппинга атрибутов на множество свойств;

- $\varphi[H]: Relation[s] \rightarrow P_obj \times P_obj$ — функция маппинга отношений схемы (внешних ключей) на объектные свойства, определение иерархии концептов.

$R: O \times I \rightarrow O \times I'$ — механизм логического вывода. Функция R применяет аксиомы A к исходным экземплярам данных I , порождая обогащенное множество экземпляров I' . Например, если Скважина имеет тип продуктивности низкая, т. е. C [Скважина] («тип продуктивности», «низкая») $\in I$ и по правилу a_i все объекты с низкой продуктивностью являются типом «объект риска», то C [Скважина] («тип», «объект риска») $\in I'$. Процесс вывода можно разложить на этапы:

1. Нормализация и транзитивное замыкание, применение правил иерархии.

- Если $type(i, c_1)$ и $(c_1, c_2) \in H$, то добавляем $type(i, c_2)$.

- Если $p_1(i, j)$ и $(p_1, p_2) \in H$, то добавляем $p_2(i, j)$.

2. Вывод на основе аксиом A , применение механизма логического вывода описанных выше.

3. Обогащение данных, результатом которого является непротиворечивое и полное (в рамках вычислимых возможностей) множество утверждений I' . I' является фиксированной точкой оператора $R: R(A, I') = I'$. Дальнейшее применение правил не порождает новых фактов.

Вся система работает как процесс, который можно описать следующим образом:

1. Инициализация: $I = \cup\{s \in S\} f_{Mapping}(\varphi[s])$, где $f_{Mapping}$ — применение маппингов к исходным данным.

2. Логический вывод: $I' = lfp(R, I)$, где lfp — наименьшая фиксированная точка оператора R , достигаемая за конечное число итераций для аксиом без циклов.

3. Обработка запроса: $answer = f_{Execute}(f_{Rewrite}(q, M), S)$, где

- $f_{Rewrite}$ — вывод плана запроса Q_{plan} , который представляет собой набор подзапросов к источникам.

- $f_{Execute}$ — диспетчер запросов, координирующий выполнение подзапросов к S и объединение результатов.

Такая многоуровневая формализация не только строго определяет систему, но и указывает на области для оптимизации (например, эффективный алгоритм вычисления $lfp(R, I_0)$ или оптимизация плана выполнения $f_{Rewrite}(q, M)$, что является предметом дальнейших академических и инженерных исследований).

Архитектура системы

С математической моделью тесно связана архитектура системы. Вместо интеграций «каждый с каждым», мы получаем систему с онтологией в центре, рис. 4.

Унифицированная работа с гетерогенными данными на основе преодолевает ограничения традиционных ETL-систем. Преимущества и сравнительный анализ представлены в табл. 1.

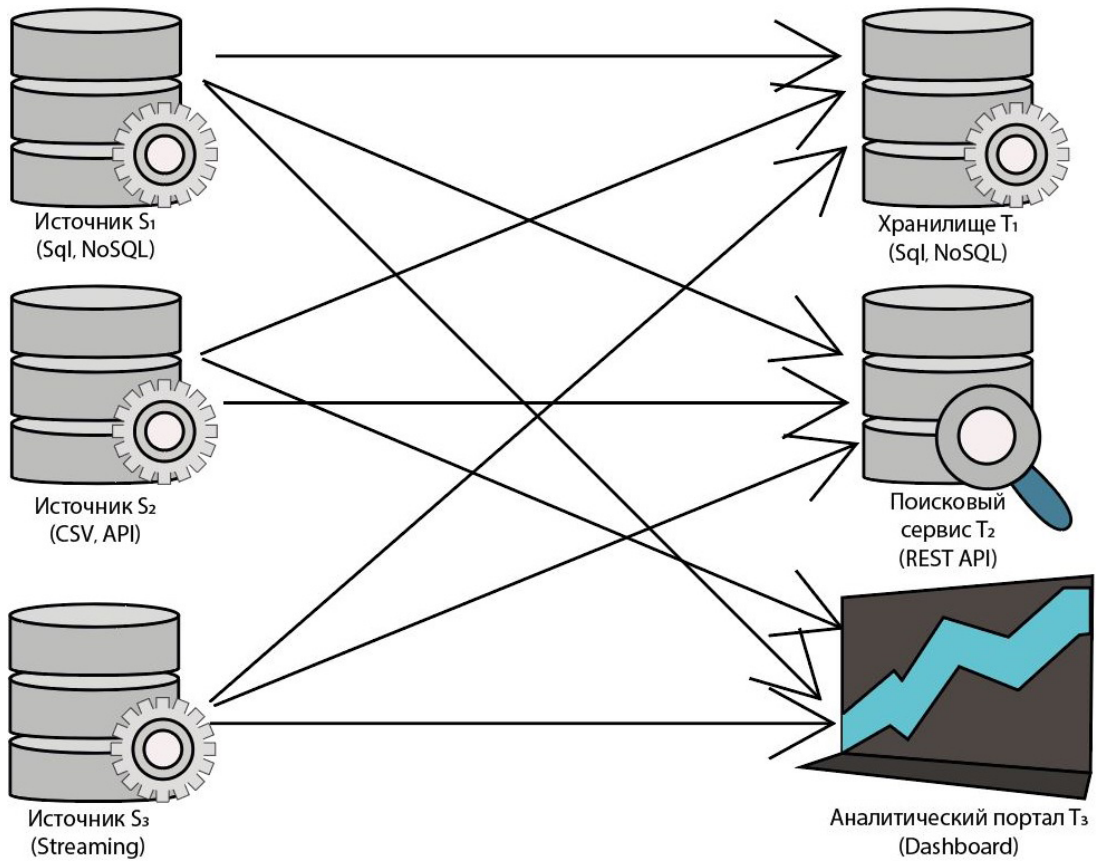


Рис. 3. Шаблон архитектуры системы классического ETL/ELT

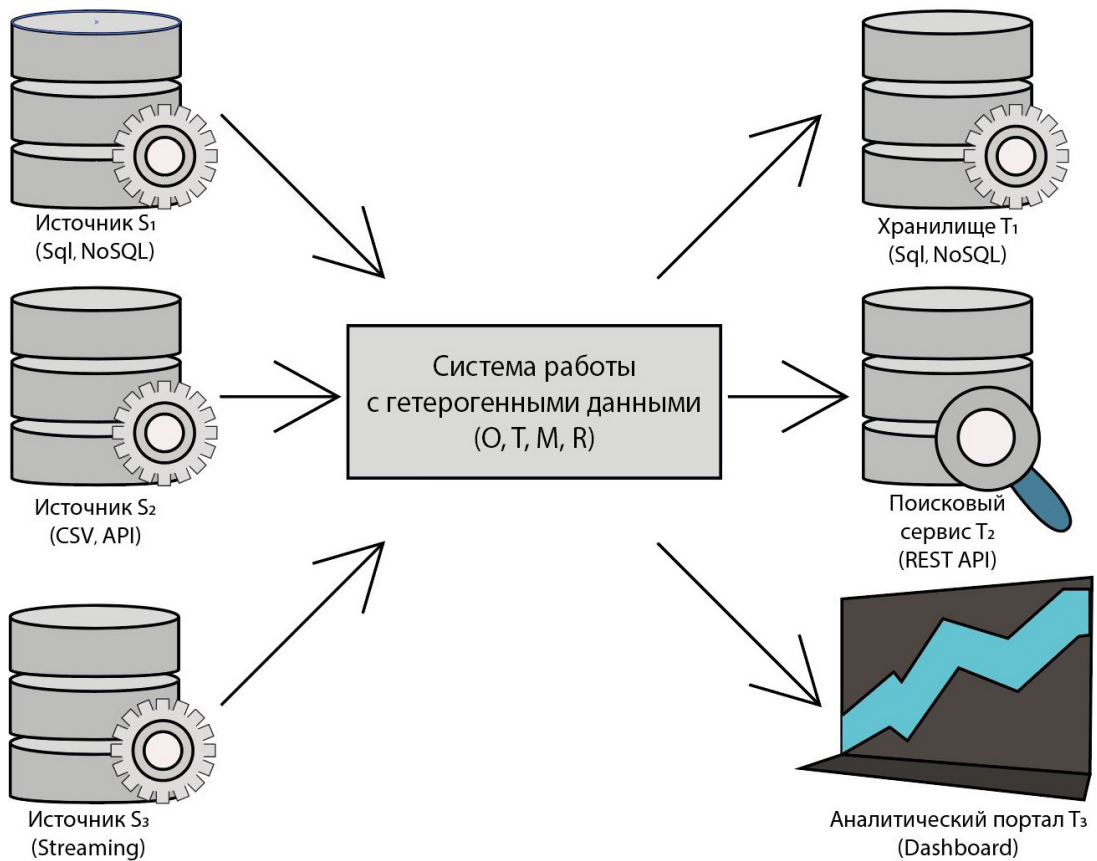


Рис. 4. Шаблон архитектуры системы на основе онтологии

Преимущества и сравнительный анализ

Критерий	Традиционный ETL (O(N*M))	Онтологический подход (O(N+M))
Сложность интеграции	Линейно растет с ростом числа систем.	Константная. Добавление нового источника/приемника требует только его маппинга к онтологии.
Устойчивость к изменениям	Низкая. Изменение схемы источника требует переписывания всех связанных ETL-задач.	Высокая. Изменения вносятся в маппинг одного источника. Логика запросов, основанная на онтологии, остается неизменной.
Семантическая согласованность	Данные объединяются синтаксически, бизнес-логика «растворена» в потоке данных.	Единая модель предметной области (онтология) является источником истины для всех данных и их смысла.
Возможности анализа	Ограничены заранее определенными отчетами и соединениями.	Мощные. Позволяет задавать сквозные семантические запросы, невозможные при отдельных схемах. Механизм вывода R раскрывает неочевидные связи.
Эволюция системы	Сложная и дорогая.	Плавная. Онтология может развиваться, а обратная совместимость обеспечивается за счет наследования.

Заключение

Использование метода ETL/ELT предлагается зачастую для создания интегрированного источника данных в рамках одной организации для дальнейшей работы с данными и аналитики. Предложенная модель интеграции гетерогенных данных на основе онтологии представляет собой мощную альтернативу устаревшим ETL-подходам. Она позволяет перейти от борьбы со структурным разнообразием к управлению смыслом данных. Математическая формализация на основе теории графов и логики предикатов обеспечивает системе строгость и возможность верификации, а архитектурный шаблон — практическую реализуемость.

Литература

1. Исследование доли успешности проектов по миграции и интеграции данных : официальный сайт. – URL: https://www.standishgroup.com/sample_research_files/migrateNew.pdf (дата обращения: 24.11.2024).
2. Подход ETL : официальный сайт. – URL: <https://aws.amazon.com/ru/what-is/etl/> (дата обращения: 24.11.2024).
3. ETL и ELT ключевые различия : официальный сайт. – URL: <https://habr.com/ru/articles/695546/> (дата обращения: 24.11.2024).
4. Основные функции ETL-систем : официальный сайт. – URL: <https://habr.com/ru/articles/248231/> (дата обращения: 24.11.2024).
5. Интеграция корпоративных приложений : официальный сайт. – URL: <https://aws.amazon.com/ru/what-is/enterprise-application-integration/> (дата обращения: 24.11.2024).
6. Enterprise application integration : официальный сайт. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Enterprise_application_integration (дата обращения: 24.11.2024).
7. Интеграция корпоративной информации: новое направление : официальный сайт. – URL: <https://iso.ru/ru/press-center/journal/2038.phtml> (дата обращения: 24.11.2024).

8. Способы интеграции корпоративных приложений : официальный сайт. – URL: <https://studfile.net/preview/9985209/page:5/> (дата обращения: 24.11.2024).

9. Аналитические решения: понимание трех составляющих интеграции – EAI, EИ, ETL : официальный сайт. – URL: <https://iso.ru/ru/press-center/journal/2061.phtml> (дата обращения: 24.11.2024).

ПОСТРОЕНИЕ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННОЙ ГРАФОВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЕ: ПРИМЕР РЫБОХОЗЯЙСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА

О. Г. Огий, Е. Ю. Скоробогатых

Калининградский государственный технический университет

Аннотация. В статье представлена методика построения причинно-следственной графовой модели для поддержки управленческих решений в мультиагентной системе на примере рыбохозяйственного комплекса России. В качестве целевого показателя выбрана рентабельность продаж, в качестве исходных данных — открытые статистические данные о макроэкономических показателях рыбохозяйственного комплекса России за 2000–2023 гг. Статистический анализ включает комплексную предобработку данных (LOESS-сглаживание, стабилизацию временных рядов), анализ кросс-коррелограмм и построение моделей с распределёнными лагами для выявления значимых факторов и временных лагов их влияния. На основе статистически верифицированных зависимостей построена графовая модель, отражающая структуру причинно-следственных связей. Несмотря на ограничения макроуровневого анализа, модель демонстрирует высокую согласованность с реальными данными и может быть интегрирована в систему поддержки принятия управленческих решений для диагностики, прогнозирования и сценарного планирования в управлении отраслью.

Ключевые слова: причинно-следственная модель, графовая модель, мультиагентная система, рыбохозяйственный комплекс, рентабельность продаж, временные ряды, LOESS-сглаживание, стационарность, кросс-коррелограмма, модель с распределёнными лагами, управленческие решения, статистический анализ, сценарное планирование, системный анализ, открытые данные.

Введение

Актуальность исследования обусловлена одной из фундаментальных задач системного анализа — выявлением и формализацией причинно-следственных связей в сложных мультиагентных системах, где множество взаимодействующих элементов создает сложную динамику, затрудняющую принятие эффективных управленческих решений [1, 2]. Рыбохозяйственный комплекс (РХК) России представляет собой мультиагентную систему, на результативность развития которой влияет множество внешних и внутренних факторов: биологических, технологических, экологических и социально-экономических [3–6]. Эффективное управление такой системой требует перехода от интуитивных решений к стратегиям, основанным на имеющихся данных о системе и на глубоком понимании причинно-следственных механизмов, управляющих ее динамикой. В современных исследованиях, посвященных управлению российским РХК, отсутствует комплексный подход к построению моделей, которые бы опирались на имеющиеся данные и одновременно обладали научной строгостью, практической применимостью и достаточной простотой для внедрения в практику управления [5].

В качестве моделей для описания причинно-следственных связей достаточно эффективными являются графовые модели [7–10]. Такие модели объединяют в себе инструментарий математической статистики, теории графов, эконометрики, обладают наглядностью, позволяют объединять нескольких видов информации (например, экспертной и статистической), работать с неполной или неточной информацией.

Целью данного исследования является разработка методика построения причинно-следственной графовой модели результативности РХК России, основанной на открытых данных

официальной статистики. В качестве ключевого результирующего показателя выбрана рентабельность продаж (РП), как индикатор экономической эффективности и управленческой результативности отрасли. Актуальность работы обусловлена возрастающей потребностью в аналитических инструментах, способных работать с реальными, часто неполными и нестационарными данными, что характерно для многих секторов экономики. Методика, представленная в данной статье, демонстрирует возможность формирования информативных многопараметрических моделей даже при ограниченном доступе к детализированным данным, используя лишь федеральные статистические наблюдения. Практическая значимость заключается в создании рабочего шаблона, который может быть адаптирован для более детального исследования РХК с привлечением дополнительных параметров деятельности предприятий или для анализа других отраслей.

1. Статистический анализ временных рядов и моделирование зависимостей

Для решения поставленной задачи был использован комплекс статистических инструментов, адаптированных для работы с временными рядами, построенными по данным официальной статистики о макроэкономических показателях РХК за период с 2000 по 2023 год. Выбор методов был обусловлен эмпирическими характеристиками исходных данных, для которых характерны наличие пропущенных значений, ярко выраженные тренды, нестационарность и структурные сдвиги. Применение стандартных методов корреляционно-регрессионного анализа без предварительной обработки таких данных привело бы к появлению «ложных регрессий» и неверной интерпретации результатов. Поэтому методологический процесс был разделен на три последовательных этапа: предобработка данных, анализ взаимосвязей и построение модели.

Этап 1: подготовка данных. Качество модели напрямую зависит от качества входных данных. Первым шагом стало восстановление и сглаживание временных рядов для семнадцати показателей, описывающих различные аспекты функционирования РХК (численность организаций, объем улова, экспорт, инвестиции и т. д.). Для этой цели был применен метод локальной взвешенной регрессии (LOESS). Этот непараметрический метод позволяет выделить трендовую компоненту ряда, адаптируясь к его локальным особенностям и нелинейностям. Его ключевое преимущество в данном контексте — высокая гибкость, позволяющая эффективно аппроксимировать данные с нерегулярными изменениями и заполнить пропущенные значения, а не исключать их из анализа, что особенно важно при ограниченном числе наблюдений.

Вторым шагом на этапе предобработки стала стабилизация временных рядов, необходимая для выполнения условий классических статистических тестов и моделей. Для этого использовались стандартные преобразования: логарифмирование (стабилизирует дисперсию ряда), дифференцирование (устраняет тренд и приводит временной ряд к стационарному виду). Стационарность полученных рядов была подтверждена с помощью статистических тестов Дикки — Фуллера и KPSS, что позволило перейти к следующему этапу анализа.

Этап 2: анализ взаимосвязей. Для выявления потенциальных причинно-следственных связей между факторами и результирующим показателем (рентабельность продаж) был использован инструмент построения и анализа кросс-коррелограмм. Кросс-коррелограмма представляет собой график, отображающий значения парных коэффициентов корреляции между двумя временными рядами при различных временных лагах (рис. 1)

Анализ кросс-коррелограмм позволил решить две ключевые задачи: во-первых, определить направление влияния и выявить факторы с отложенным эффектом; во-вторых, отсеять факторы, не показавшие статистически значимых корреляций. Например, если значимая корреляция между рентабельностью продаж (РП) и импортом (И) наблюдается при лаге +2 (рис. 1), это указывает на то, что изменения импорта, произошедшие 2 года назад коррелиру-

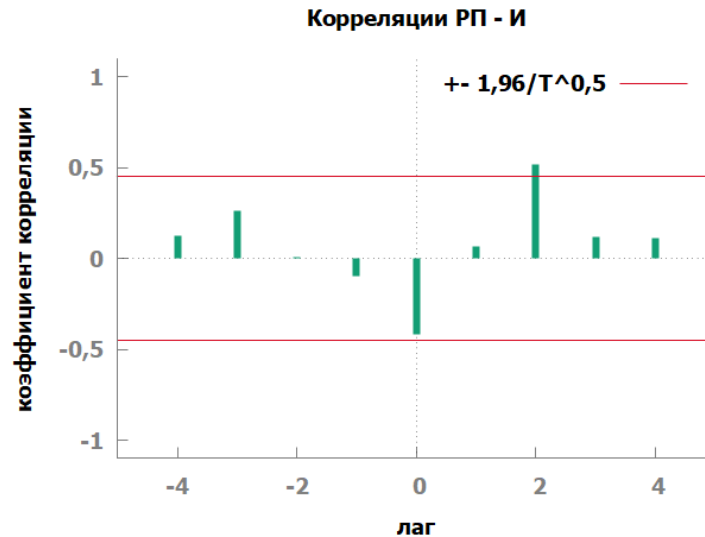


Рис. 1. Пример кросс-коррелограммы для факторов «рентабельность продаж» (РП) и «импорт» (И)

ют с изменениями рентабельности текущего года, что позволило установить направления влияния: $I(t-2) \rightarrow РП(t)$. Это дает основание предположить, что $I(t-2)$ может быть причиной $РП(t)$.

Следует отметить, что выводы, основанные на анализе кросс-коррелограмм, имеют умеренную достоверность и должны рассматриваться как рабочие гипотезы, которые затем должны быть проверены другими методами.

Этап 3: установление и проверка причинно-следственных зависимостей. Для целей данного исследования были построены и проанализированы модели с распределёнными лагами (максимальная величина лага $\tau = 4$) для факторов улов (У), производство пищевых продуктов (ППП), выпуск молоди (ВМ), экспорт рыбопродукции (Э), импорт рыбопродукции (И) относительно результирующего признака рентабельность продаж (РП), проведена корректировка и верификация построенных моделей. Результатом этого этапа моделирования стала множественная модель с распределёнными лагами, объединяющая все значимые факторы:

$$\begin{aligned} \overline{РП}(t) = & 0,224 + 3,13 \cdot У(t) - 3,71 \cdot У(t-1) - 1,21 \cdot Э(t) + 0,222 \cdot I(t-2) + \\ & + 0,612 \cdot ВМ(t-1) - 0,0102 \cdot ППП(t), \\ R^2 = & 0.73, \quad p\text{-}val = 0.006. \end{aligned} \quad (1)$$

Согласованность фактических и модельных данных представлена на рис. 2.

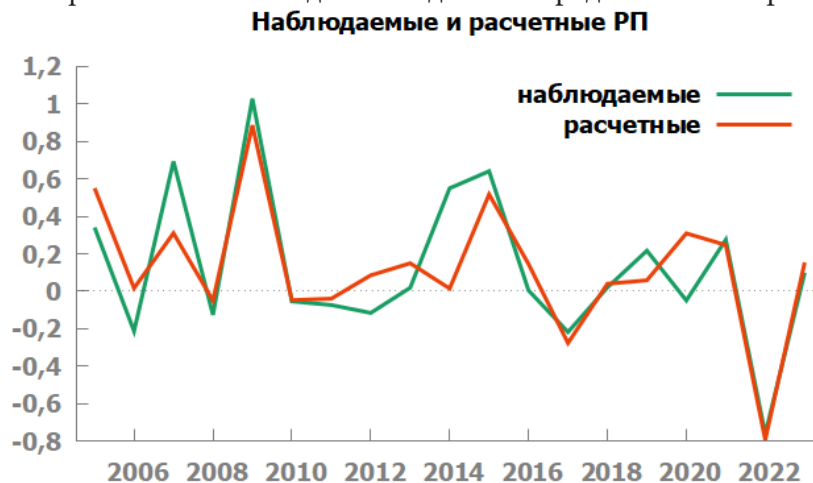


Рис. 2. Согласование модельных и фактических данных

Статистическое и визуальное подтверждение согласованности свидетельствует о том, что построенная модель адекватно описывает реальные процессы в рыбохозяйственном комплексе и может быть использована для прогнозирования и анализа сценариев.

2. Построение графовой модели

На основе уравнения (1) и аналогичного анализа причинно-следственных цепочек для факторов-причин была построена причинно-следственная графовая модель, визуализирующая сложную систему макроэкономических показателей РХК (рис. 3). Эта модель содержит прямые и косвенные причины, влияющие на изменения РП, которые сгруппированы во временные слои, отражающие их отложенный эффект, и может являться структурной основой системы поддержки принятия управленческих решений РХК.

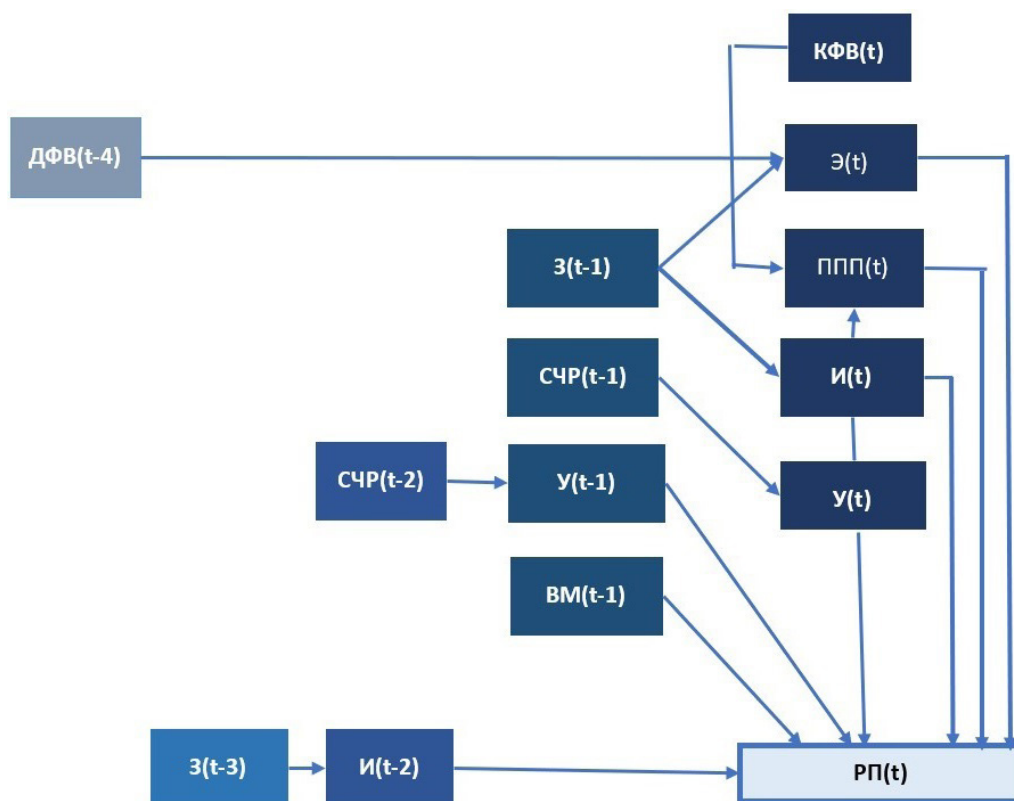


Рис. 3. Причинно-следственная графовая модель результативности рыбохозяйственного комплекса

Необходимо отметить, что достоверность выводов, лежащих в основе построения представленной модели, основывается на ряде допущений и ограничений. Во-первых, причинные связи установлены на основе временных рядов ограниченной длины, из-за чего модель может терять в статистической значимости. Во-вторых, модель построена на макроуровневых данных, что может маскировать различия внутри отрасли. В-третьих, остается риск наличия скрытых факторов (конфаундеров), которые не были включены в модель в силу ограниченности доступных официальных статистических данных. В-четвертых, в модели присутствует допущение о линейности связи между факторами, что не учитывает возможные более сложные зависимости. Однако, несмотря на эти ограничения, хорошая согласованность модели с фактическими данными и использование строгих статистических процедур, реализуемых в процессе анализа причинно-следственных зависимостей, обеспечивают достаточно высокую валидность результатов для управленческих целей. Практическое применение построенной

модели возможно в целях диагностики корневых причин, прогнозирования и сценарного планирования, а также формирования оптимальных управляющих решений.

Заключение

В ходе исследования была разработана методика построения причинно-следственной графовой модели результативности рыбохозяйственного комплекса России, основанная на анализе открытых статистических данных по основным макроэкономическим показателям РХК. Использование специализированных статистических инструментов — LOESS для сглаживания, логарифмирования и дифференцирования для стабилизации, кросс-коррелограмм для выявления лагов и моделей с распределёнными лагами для установления причинно-следственных связей — позволило преодолеть типичные проблемы анализа временных рядов и построить валидную модель.

Полученная графовая модель является перспективной основой для создания системы поддержки принятия управленческих решений в рыбной отрасли. Она позволяет регуляторам не просто наблюдать за ситуацией, а понимать ее глубинные причины, прогнозировать последствия своих действий и выбирать наиболее эффективные стратегии.

Основное направление дальнейшего развития модели — ее расширение и углубление. Модель может быть дополнена показателями трудового потенциала, уровня автоматизации, состояния природных биологических ресурсов, детализированными показателями деятельности конкретных предприятий рыболовства и аквакультуры, экспертными знаниями и оценками, что позволит добиться более высокой валидности модели.

Таким образом, построенная модель может являться основой для формирования системы отраслевого управления на основе данных, и может быть интегрирована в систему поддержки принятия решений в целях сценарного анализа и целевого управления ресурсами.

Литература

1. Юрков Н. К. Мультиагентное управление сложными динамическими системами / Н. К. Юрков, А. В. Бецов, А. М. Самокутяев // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». – 2023. – Т. 1. – С. 6–12. – EDN BDRDYR.
2. Князев И. И. Исследование методов построения каузальных графовых моделей для сложных социогуманитарных систем / И. И. Князев // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2024. – № 2(238). – С. 83–89. – DOI 10.18522/2311-3103-2024-2-83-89. – EDN TJMERR.
3. Волошин Г. А. Комплексный инструментарий управления рыбной отраслью в условиях новой экономической политики России / Г. А. Волошин // Труды ВНИРО. – 2022. – Т. 188. – С. 174–181. – DOI 10.36038/2307-3497-2022-188-174-181. – EDN XJGGLD.
4. Салтыков М. А. Оценка факторов, влияющих на экономические показатели рыбохозяйственного комплекса Дальневосточного федерального округа: методические аспекты и алгоритм выполнения / М. А. Салтыков, Е. Ю. Образцова // Труды ВНИРО. – 2022. – Т. 190. – С. 154–162. – DOI 10.36038/2307-3497-2022-190-154-162. – EDN XQCKRJ.
5. Огий О. Г., Снытникова Т. В. Рыбохозяйственный комплекс: обзор моделей и инструментов управления // Балтийский экономический журнал. – 2025. – № 3(51). – С. 74–91. <https://doi.org/10.46845/2073-3364-2025-0-3-74-91>
6. Бильчак В. С., Оглоблин Н. С. Становление рыбохозяйственного комплекса: результаты и неиспользованные резервы // Балтийский экономический журнал. – 2024. – № 3(47). – С. 39–52. <https://doi.org/10.46845/2073-3364-2024-0-3-39-52>

7. *Задворкин А. С.* Формирование комплекса рыбного хозяйства и торговли: экономическая консолидация организации управления / А. С. Задворкин // Вопросы рыболовства. – 2025. – Т. 26, № 1. – С. 153–158. – DOI 10.36038/0234-2774-2025-26-1-153-158. – EDN FODPQX.
8. *Слуцкий Л. Н.* Графические статистические методы для исследования причинных зависимостей. Байесовские сети / Л. Н. Слуцкий // Журнал Новой экономической ассоциации. – 2017. – № 4(36). – С. 12–30. – DOI 10.31737/2221-2264-2017-36-4-1. – EDN YKWERD.
9. *Слуцкий Л. Н.* Анализ стабильности модели линейной регрессии во времени / Л. Н. Слуцкий // Прикладная эконометрика. – 2007. – № 2(6). – С. 126–135. – EDN IAHGSE.
10. *Торопова А. В.* Подходы к диагностике согласованности данных в байесовских сетях доверия / А. В. Торопова // Труды СПИИРАН. – 2015. – № 6(43). – С. 156–178. – EDN VCQOOR.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БАНКОМ КРЕДИТОВ МЕЖДУ КОЛЛЕКТОРСКИМИ АГЕНСТВАМИ В РАМКАХ ПРОЦЕССА АГЕНТСКОГО СОПРОВОЖДЕНИЯ

В. М. Павлова

Воронежский государственный университет

Аннотация. В условиях роста объёмов просроченной задолженности физических лиц и усиления регуляторных требований к процессам взыскания, банки всё чаще прибегают к передаче долгов коллекторским агентствам (КА) по модели агентского сопровождения. Эффективность такой модели напрямую зависит от рационального распределения долговых портфелей между исполнителями. В статье рассматриваются критерии отбора КА, формализованные методы оценки их эффективности и архитектурные подходы к автоматизации процесса распределения. Предложена концептуальная модель автоматизированной системы поддержки принятия решений (СППР), основанная на интеграции бизнес-правил, аналитики и API-взаимодействия с внешними системами.

Ключевые слова: агентское сопровождение; коллекторские агентства; распределение долговых портфелей; система поддержки принятия решений; критерии оценки эффективности; автоматизация взыскания; просроченная задолженность; цифровая трансформация финансовых процессов.

Введение

Рост объёмов просроченной задолженности физических лиц в условиях экономической нестабильности и ужесточения регуляторных требований к процессам взыскания стимулирует банки к поиску более эффективных и контролируемых моделей взаимодействия с коллекторскими агентствами (КА). Одной из таких моделей, получившей широкое распространение в российской и международной практике, является агентское сопровождение, при котором кредитор сохраняет право собственности на долг, а КА действуют в качестве уполномоченных представителей [1]. В отличие от уступки прав требования, эта модель позволяет банку сохранять контроль над процессом взыскания, минимизировать репутационные риски и соблюдать требования законодательства, в частности Федерального закона № 230-ФЗ и регуляторных актов Банка России [2].

Однако эффективность агентской модели в значительной степени зависит от рационального распределения долговых портфелей между коллекторскими агентствами. На практике этот процесс зачастую носит эвристический или даже субъективный характер, основываясь на исторических связях, ценовых предложениях или репутационных факторах, без достаточной аналитической проработки [3]. В то же время в научной и профессиональной литературе наблюдается фрагментарность подходов к решению данной задачи: одни исследования фокусируются на юридических аспектах агентского договора [4], другие — на методах оценки эффективности КА [5], третьи — на технологиях автоматизации взыскания [6]. Отсутствует комплексный обзор, объединяющий стратегические, аналитические и архитектурные аспекты распределения долгов в рамках агентского сопровождения.

Настоящая статья призвана восполнить этот пробел. В ней систематизируются существующие подходы к отбору и оценке коллекторских агентств, анализируются формализованные методы распределения портфелей (включая скоринг-модели, многокритериальную оптимизацию и машинное обучение), а также рассматриваются архитектурные решения для интеграции этих методов в корпоративные ИТ-ландшафты. Особое внимание уделяется концепции автоматизированной системы поддержки принятия решений (СППР), сочетающей бизнес-прави-

ла, аналитику и API-взаимодействие с внешними системами. Обзор ориентирован на специалистов в области бизнес-информатики, цифровой трансформации финансовых процессов и управления кредитными рисками.

1. Формализация критериев распределения

Эффективное распределение долгов в рамках агентского сопровождения требует перехода от интуитивных или договорных решений к системному, количественно обоснованному подходу. Для обеспечения прозрачности, воспроизводимости и соответствия регуляторным требованиям необходимо формализовать совокупность критериев, на основе которых принимается решение о передаче конкретного портфеля тому или иному коллекторскому агентству (КА). Такие критерии целесообразно разделить на три взаимодополняющие группы: операционные, результативные и регуляторно-репутационные [3, 5].

Операционные критерии отражают техническую и организационную готовность КА выполнять обязательства по агентскому договору. Согласно Указанию Банка России № 5901-У и Методическим рекомендациям регулятора, кредитор обязан обеспечивать контроль за процессом взыскания, что невозможно без технической совместимости и операционной прозрачности исполнителя [1, 8]. К ключевым операционным параметрам относятся:

- наличие статуса профессионального участника рынка взыскания (подтверждённого сертификатом) — пороговое условие, без которого КА не допускается к работе [1, 2];
- поддержка регламентированных каналов коммуникации (телефония, SMS, email и др.), соответствующих ограничениям Федерального закона № 230-ФЗ [2];
- совместимость ИТ-инфраструктуры с API-интерфейсами банка, что позволяет осуществлять обмен данными в режиме реального времени и обеспечивать сквозную аналитику [5];
- географическое покрытие — особенно важно при работе с долгами, чувствительными к региональному контексту (например, микрозаймы в малых городах) [5];
- операционная ёмкость: численность колл-центра, наличие автоматизированных систем обзвона, пропускная способность по обработке заявок в единицу времени [3].

Эти параметры, как правило, проверяются на этапе предквалификации КА и фиксируются в техническом задании или приложении к договору.

Результативные критерии характеризуют историческую и прогнозную эффективность деятельности КА. Их количественная оценка лежит в основе большинства современных моделей распределения долгов [5, 6]. Наиболее значимыми метриками являются:

- коэффициент возврата средств — отношение суммы фактически возвращённых средств к номиналу переданного портфеля;
- скорость возврата — медианное время от передачи долга до первого погашения;
- доля «оживлений» — процент должников, возобновивших выплаты после первого контакта с КА;
- стоимость взыскания на единицу возврата — операционные затраты КА, приходящиеся на рубль возвращённых средств;
- стабильность показателей — измеряется, например, коэффициентом вариации возврата средств за последние 6–12 месяцев, что позволяет выявить исполнителей с непредсказуемой эффективностью [5].

Эти метрики могут быть нормализованы и объединены в агрегированный оценочный балл с использованием методов многокритериальной оценки. Наиболее распространёнными подходами являются метод анализа иерархий (МАИ) [7] и взвешенная линейная свёртка нормализованных показателей:

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \frac{x_{ij} - x_i^{\min}}{x_i^{\max} - x_i^{\min}}, \quad (1)$$

где S_j — итоговый оценочный балл для j -го КА, w_i — вес i -го критерия (устанавливается на основе стратегических приоритетов банка), x_{ij} — значение критерия для данного агентства, x_i^{\min} , x_i^{\max} — минимальное и максимальное значения критерия по выборке исполнителей.

В ряде случаев применяются более сложные модели — например, регрессионные или машинно-обучаемые алгоритмы, предсказывающие коэффициент возврата средств конкретного КА для заданного сегмента долгов на основе исторических данных [6].

Регуляторно-репутационные критерии направлены на минимизацию юридических, репутационных и этических рисков, что особенно актуально в условиях усиления надзора со стороны регулятора [1, 2, 8]. К ним относятся:

- количество жалоб со стороны должников, зафиксированных в Банке России, Роспотребнадзоре или внутренних каналах банка;
- отсутствие фактов нарушения положений Федерального закона № 230-ФЗ (например, превышение лимитов на количество контактов);
- прохождение независимого аудита деятельности КА;
- соответствие внутренней политике банка в области этичного взыскания (например, запрет на работу в ночное время, использование агрессивных сценариев) [8].

Важно подчеркнуть, что некоторые из этих критериев носят пороговый («жесткий») характер: например, отсутствие сертификата участника рынка взыскания или превышение допустимого числа жалоб автоматически исключает КА из пула потенциальных исполнителей, независимо от его финансовой эффективности [3].

Таким образом, формализованная система критериев позволяет не только объективно сравнивать коллекторские агентства, но и гибко адаптировать процесс распределения под текущие стратегические цели банка — будь то максимизация возврата, минимизация издержек или снижение репутационных рисков. Дальнейшая автоматизация этого подхода возможна через интеграцию критериев в правила бизнес-логики и аналитические модели, что будет рассмотрено в следующих разделах.

2. Модель автоматизированного распределения долговых портфелей

Формализация критериев отбора коллекторских агентств (КА), рассмотренная в предыдущем разделе, создаёт основу для построения автоматизированной системы поддержки принятия решений (СППР), способной динамически распределять долговые портфели с учётом стратегических приоритетов банка, операционных ограничений и прогнозируемой эффективности исполнителей. В отличие от статических схем (например, фиксированного распределения по 3–5 предварительно утверждённым КА), предлагаемая модель реализует адаптивный подход, сочетающий бизнес-логику, количественную аналитику и гибкую интеграцию.

Концептуальная архитектура СППР включает три ключевых слоя:

1. Слой данных — агрегирует информацию из внутренних и внешних источников:
 - характеристики долгов $d \in D$: сумма A_d , срок просрочки t_d , регион r_d , поведенческий скоринг s_d ;
 - профили КА $a \in A$: операционные параметры, исторические метрики (возврат средств, скорость и др.), текущая загрузка L_a ;
 - внешние сигналы: число жалоб C_a , статус лицензии, регуляторные ограничения [1, 5, 8].
2. Слой логики — состоит из двух подмодулей:
 - Бизнес-правила

$$E(d, a), \quad (2)$$

где $A_{\text{доп}}$ — множество допущенных к распределению агентств и $\text{GeoMatch}(r_d, a)$ будет равно 1 если агентство a имеет операционное покрытие в регионе r_d и 0 иначе.

- Аналитическая модель: для каждого $a \in A_{\text{доп}}$ рассчитывается оценка эффективности $E(d, a)$, отражающая ожидаемую отдачу от передачи долга d агентству a .

3. Слой интеграции — реализован через API-шлюз, обеспечивающий:

- передачу портфелей в системы КА;
- получение оперативной отчётности (статусы, погашения, жалобы);
- синхронизацию с системами управления рисками [5, 9].

Задача распределения формулируется как многокритериальная оптимизационная задача с ограничениями. Цель — максимизировать совокупную ожидаемую отдачу при соблюдении операционных и регуляторных лимитов:

$$\max_{x_{da}} \sum_{d \in D} \sum_{a \in A} E(d, a) \cdot x_{da}, \quad (3)$$

при ограничениях:

$\sum_{a \in A} x_{da} = 1$	$\forall d \in D$),	(4)
$\sum_{a \in A} x_{da} \cdot A_d \leq L_a^{\max}$	$\forall a \in A$		
$x_{da} = 0$	$\forall a \notin A$		
$x_{da} \in \{0, 1\}$	$\forall d, a$		

где x_{da} — бинарная переменная: 1, если долг d передан агентству a , и 0 — иначе; L_a^{\max} — максимальный объём задолженности, который КА может обслуживать одновременно.

Функция ожидаемой отдачи $E(d, a)$ может быть задана как линейная комбинация нормализованных критериев:

$$E(d, a) = \sum_{k=1}^K w_k \cdot \phi_k(d, a), \quad (5)$$

где $\phi_k(d, a)$ — нормализованное значение k -го критерия для пары «долг-агент», w_k — вес, отражающий стратегический приоритет банка ($\sum w_k = 1$).

В более продвинутых реализациях $E(d, a)$ оценивается с помощью прогнозных моделей машинного обучения. Например, градиентный бустинг (XGBoost, LightGBM) может предсказывать вероятность погашения $p(d, a)$ и ожидаемую сумму возврата:

$$E(d, a) = p(d, a) \cdot Ad \cdot \gamma - c(d, a), \quad (6)$$

где γ — коэффициент дисконтирования будущих поступлений, $c(d, a)$ — оценка операционных затрат на взыскание [6, 10].

Ключевое преимущество автоматизированной модели — замкнутый цикл обучения. После передачи портфеля система отслеживает фактические результаты:

- сумма возврата $R_{da}(t)$ через t дней;
- факт жалобы $J_{da} \in \{0, 1\}$;
- время первого контакта и погашения.

Эти данные используются для:

- корректировки весов w_k (например, через онлайн-обучение или периодическую переоценку по методу A/B -тестирования);
- дообучения прогнозных моделей $p(d, a)$;
- динамического обновления лимитов загрузки L_a^{\max} .

Таким образом, система не только распределяет долги, но и эволюционирует — повышая точность прогнозов и соответствие бизнес-целям с каждым циклом распределения [6, 10].

Архитектурно СППР целесообразно реализовывать как микросервис в рамках event-driven банковской платформы [9]. Это обеспечивает:

- независимость от монолитных ядер;
- масштабируемость при росте объёмов просрочки;
- возможность *A/B*-тестирования различных стратегий распределения.

Хотя полная автоматизация требует зрелой аналитической и ИТ-инфраструктуры, даже гибридные сценарии (например, автоматический отбор из 3–5 предварительно одобренных КА с ручным финальным утверждением) демонстрируют значимый прирост эффективности — до 15–25 % по коэффициенту возврата средств в сравнении с ручным распределением [5, 6].

Заключение

В данной статье были рассмотрены подходы к распределению долговых портфелей между коллекторскими агентствами в рамках агентского сопровождения, и была предложена концептуальная модель автоматизированной системы поддержки принятия решений. Она устраняет недостатки традиционных методов распределения, в частности субъективность отбора исполнителей, отсутствие учёта операционных ограничений и слабую адаптацию к изменяющимся показателям эффективности КА. Результат анализа показал, что предложенная модель является эффективной и её использование позволяет повысить прозрачность, обоснованность и результативность процесса распределения долгов, что особенно актуально в условиях усиления регуляторных требований и цифровой трансформации банковского сектора.

Литература

1. Указание Банка России от 13.12.2021 № 5901-У «О порядке осуществления деятельности по возврату просроченной задолженности физических лиц» // Официальный цифровой портал правовой информации Российской Федерации – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202112130025> (дата обращения: 05.04.2025).
2. Федеральный закон от 03.07.2016 № 230-ФЗ «О защите прав и законных интересов физических лиц при осуществлении деятельности по возврату просроченной задолженности» // Собрание законодательства РФ. – 2016. – № 27. – Ст. 4181.
3. Смирнов А. Н. Проблемы выбора коллекторского агентства в условиях регуляторных ограничений // Финансовый менеджмент. – 2022. – № 5. – С. 34–41.
4. Петрова Е. С. Правовая природа агентского договора в сфере взыскания долгов // Закон и право. – 2021. – № 8. – С. 67–73.
5. Лебедев И. В. Методы оценки эффективности коллекторских агентств: от KPI к predictive analytics // Бизнес-информатика. – 2023. – Т. 17, № 1. – С. 55–64.
6. Gupta A., Chen H. Data-driven debt collection: A review of analytics approaches in financial services // Decision Support Systems. – 2020. – Vol. 138. – P. 113387. – DOI: 10.1016/j.dss.2020.113387.
7. Saaty T. L. The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. – New York : McGraw-Hill, 1980. – 287 p.
8. Банк России. Методические рекомендации по организации работы кредитных организаций с просроченной задолженностью физических лиц (ред. от 2023 г.). – М., 2023. – 42 с.
9. Романов А. А. Архитектура цифровых платформ в банковской сфере: от монолитов к микросервисам // Бизнес-информатика. – 2022. – Т. 16, № 4. – С. 22–33.
10. Duan Y. Artificial intelligence for decision making in the era of Big Data – evolution, challenges and research agenda // International Journal of Information Management. – 2019. – Vol. 48. – P. 63–71. – DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2019.01.005.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПОДВИЖНЫХ ЭЛЕКТРОАГРЕГАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКТИВНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Н. А. Пеньков, О. А. Сидоркин, И. Али, С. В. Борисов, М. А. Прокофьев

Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», г. Воронеж

Аннотация. В статье рассматриваются варианты обслуживания воздушных судов, требующие значительного количества электроэнергии для электростартерного запуска авиационных двигателей. Показано, что существующая элементная база подвижных электроагрегатов способна обеспечить требуемую мощность передаваемой электроэнергии за счет перераспределения в цепь постоянного тока части мощности переменного тока через активный выпрямитель напряжения. Рассмотрены модели, описывающие согласованную работу системы генератор — регулятор напряжения. Представлен обоснованный выбор алгоритма управления системой электроснабжения постоянного тока, обеспечивающий минимальный переток реактивной мощности из цепи переменного тока.

Ключевые слова: система автоматического регулирования, активный выпрямитель напряжения, IGBT-транзистор, реактивная мощность, подвижный электроагрегат, электростартерный запуск, явнополюсной синхронный генератор, вращающаяся система координат, алгоритм управления.

Введение

Современные тенденции развития воздушных судов показывают, что значительное число исполнительных механизмов на борту самолета в качестве источника используют электрическую энергию. Этот факт является реализацией концепции БЭС (Более электрический самолет). Она подразумевает под собой необходимость повышения мощности источников электроэнергии и возможность совмещения функций питания потребителей на нагрузке с электростартерным запуском авиационного двигателя. Разработка предлагаемой системы электроснабжения постоянного тока, способной перераспределять часть энергии переменного тока в цепь постоянного тока с минимальными перетоками реактивной мощности для повышения мощности электроэнергии подаваемой через один канал питания воздушного судна, во многом служит реализации указанной концепции БЭС [1, 3].

Практика предполетной подготовки воздушных судов показывает, что на отдельных типах летательных аппаратов электростартерный запуск авиационных двигателей с использованием подвижных электроагрегатов затруднен. Для устранения указанного ограничения в обслуживании воздушных судов авторами настоящей работы предлагается реализовать согласованную совместную работу систем переменного и постоянного токов, через активный выпрямитель напряжения, реализованный через мостовую схему с использованием IGBT-транзисторов.

Для обоснованного выбора параметров предлагаемого выпрямителя напряжения необходимо смоделировать работу генератора переменного тока на активный выпрямитель напряжения и выбрать модель работы самого выпрямителя.

1. Модель работы системы синхронный генератор — выпрямитель напряжения

В качестве исходных данных будем полагать, что текущее значение напряжения генератора на характеристике холостого хода находится на линейном участке, т. е. намагничивание происходит по линейному закону и эффект насыщения не наступает. Для работы активного вы-

прямителя напряжения используется высокочастотный широтно-импульсный модулятор, частота коммутации ω_k которого много выше специальной частоты переменного тока ω , вырабатываемого синхронным генератором [2, 4]. Работа генератора рассматривается без учета успокоительных обмоток и сам источник переменного тока работает исключительно в генераторном режиме. Используемый С-фильтр емкостью C_ϕ позволяет в установившемся режиме поддерживать постоянное значение напряжения на нагрузке U_n . Общий вид структурной схемы рассматриваемой системы электроснабжения представлен на рис. 1.

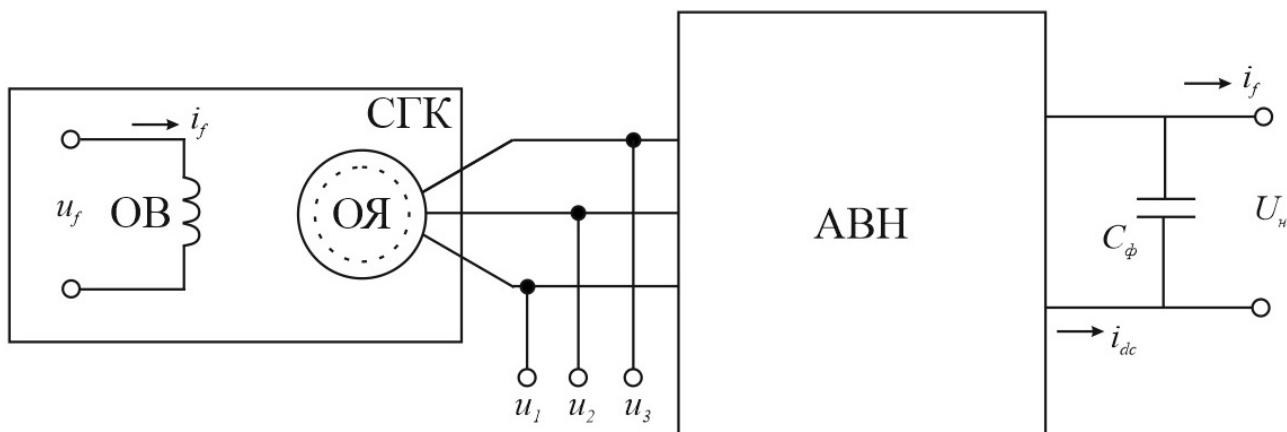


Рис. 1. Структурная схема системы синхронный генератор — выпрямитель напряжения

Возбуждаемое напряжение рассматривается во вращающейся системе координат dq . На основании закона Ома для полной цепи переменного тока значения компонент напряжения по указанным осям и величина напряжения возбуждения на индукторе электрической машины могут быть записаны в виде:

$$\begin{cases} u_d = -L_d \frac{di_d}{dt} + \omega L_q i_q, \\ u_q = -L_q \frac{di_q}{dt} - \omega L_d i_d + E_f + E_0, \\ u_f = -L_f \frac{di_f}{dt}; \end{cases} \quad (1)$$

где компоненты напряжений, токов и индуктивностей указаны соответственно по двум вращающимся осям и цепи индуктора, E_0 — значение ЭДС холостого хода в цепи якоря, E_f — значение ЭДС холостого хода в цепи индуктора.

Тогда интересные значения компонент мощности (активной и реактивной), передаваемые на нагрузку, запишутся следующим образом:

$$\begin{cases} P = \frac{3}{2}(u_d i_d + u_q i_q), \\ Q = \frac{3}{2}(u_d i_q - u_q i_d). \end{cases} \quad (2)$$

Для описания работы выпрямителя напряжения будем считать, что транзисторы, входящие в его состав, работают в режиме идеальных ключей (рис. 2). Для описания работы активного выпрямителя напряжения удобно пользоваться переключающими функциями, принимающими дискретные значения 0 и 1 в зависимости от значения подаваемого напряжения от источника электрической энергии. Причем значение 0 принимается в случае, когда рассматриваемый транзистор закрыт, 1 — когда открыт. Тогда величина фазных напряжений на выходе из выпрямителя будет определяться как:

$$u_m = \frac{U_{dc}}{3} (2F_m - \sum_{k=1}^3 F_k), \quad (3)$$

где U_{dc} — напряжение на выходе из выпрямителя, а значения, принимаемые индексом k не должны совпадать с величиной m .

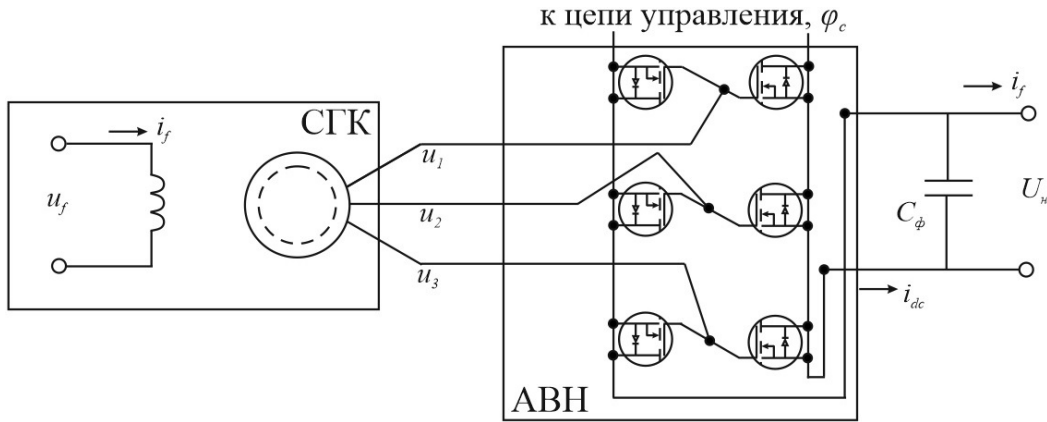


Рис. 2. Принципиальная схема системы синхронный генератор — активный выпрямитель

Однако, такое представление, хотя и довольно очевидно, не позволяет в компактной форме записывать вектор напряжения, подаваемого на вход активного выпрямителя. Для указанной цели более подходящим служит представление напряжения с использованием аппарата переключающих функций, записываемых в виде рядов Фурье [3, 5]. Если положить

$$F_m = F_{0m} + \sum_{l=1}^{\infty} (F_{msl} \sin(l\omega_k t) + F_{mcl} \cos(l\omega_k t)), \quad (4)$$

где F_{0m} — начальное значение переключающей функции, а F_{msl} и F_{mcl} определяются из соотношений:

$$F_{msl} = \frac{(-1)^l}{\pi l} \left((-1)^l - \cos(M \sin \theta_m \cdot \pi l) \right), \quad F_{mcl} = \frac{(-1)^l}{\pi l} \sin(M \sin \theta_m \cdot \pi l),$$

причем переменная l принимает исключительно целочисленные значения, M — есть величина модуляции, а θ_m определяет угол управления системой:

$$\theta_m = \omega t - \frac{2\pi}{3} (m-1) + \varphi_c,$$

а последнее слагаемое задается рис. 2, то появляется возможность определения значения тока на выходе из выпрямителя $i_{dc} = i_{dc}(F_m)$.

Теперь выражение для основной гармоники одной из фаз (например, первой) на входе в выпрямитель напряжения можно представить в виде:

$$u_{m1} = \frac{U_n}{2} M \sin \theta_m. \quad (5)$$

Введением в рассмотрение оператора поворота $a = e^{j\frac{2\pi}{3}}$ можно теперь записать компоненты напряжения в неподвижной системе координат, связанной с выпрямителем, как функций трех фаз напряжения генератора во вращающихся осях:

$$u_{\alpha\beta} = \frac{2}{3} (u_1 + a u_2 + a^2 u_3). \quad (6)$$

Связь компонент напряжения на выпрямителе в двух описных системах координат дается соотношением:

$$u_{dq} = u_{\alpha\beta} e^{-j\theta(\omega t)}. \quad (7)$$

Тогда для количественного описания процесса управления выпрямителем в зависимости от нагрузки на воздушном судне сигнал управления удобно разложить на два компонента, повернутых друг относительно друга на угол сдвига между входным напряжением активного выпрямителя и E_{xx} синхронного генератора:

$$M^2 = M_d^2 + M_q^2.$$

Теперь, для установившегося режима работы, для специальной частоты переменного тока синхронного генератора с помощью соотношений (1), (5), (7) появляется возможность аналитического отыскания значения компонент напряжения, ориентированных ортогонально и согласованно подаваемых в цепь постоянного тока для повышения мощности в рассматриваемой системе.

2. Алгоритм управления синхронный генератор — выпрямитель напряжения

Проведенные расчеты параметров работы системы электроснабжения подвижного электроагрегата позволяют провести оценку в статическом режиме значений напряжения и тока, обеспечивающих поддержание постоянного напряжения при изменяющейся нагрузке на воздушном судне. Стабилизацию напряжения можно проводить варьируя такие параметры, как электродвижущая сила синхронного генератора в режиме холостого хода, а также его фазное напряжение за счет согласованной работы активного выпрямителя напряжения, воздействующего на реактивную составляющую вырабатываемой мощности источником электрической энергии.

Заключение

Таким образом, установлено, что включение активного выпрямителя в систему электроснабжения аэродромного подвижного электроагрегата между цепями постоянного и переменного тока способно обеспечить согласованную работу обеих систем по обеспечению энергозатратного режима электростартерного запуска авиационного двигателя. В тех ситуациях, когда наземная техника со значительным моторесурсом не способна по мощности осуществить запуск агрегата на летательном аппарате, совместная согласованная работа двух генераторов переменного и постоянного тока на нагрузку постоянного тока позволяют осуществить пуск двигателей и указанном случае.

Литература

1. Полная электрификация самолетов как один из важнейших путей решения экологических проблем и повышения эксплуатационной, экономической и топливно-энергетической эффективности воздушного транспорта / С. А. Грузков, С.Ю. Румянцев. – Известия академии электротехнических наук РФ. – 2016. – Вып. 18. – С. 35–60.
2. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники / Пер. с англ. – Изд. 2-е. – М. : Издательство БИНОМ. – 2015. – 704 с.
3. Csaki F., Barki K., Ganaszky K., Ipsits L. Ipari elektronica. – Budapest: Tankonyvkiado. – 1960.
4. Силовые полупроводниковые модули за рубежом / В. Б. Зильберштейн, С. В. Машин, В. А. Потапчук [и др.] // Электротехническая промышленность. Сер. 05. Силовая преобразовательная техника. – 1988. – Вып. 08. – С. 1–44.
5. Стартер-генераторная система для вспомогательной силовой установки / С. А. Харитонов, М. А. Жарков, А. С. Харитонов // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2017. – Т. 20, № 5. – С. 50–66.

ПРОАКТИВНАЯ ПЕРЕКВАЛИФИКАЦИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ РЕШЕНИЯ КАДРОВОГО ДИСБАЛАНСА В УСЛОВИЯХ АВТОМАТИЗАЦИИ И РОБОТИЗАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ

С. О. Потапов

МИРЭА – Российский технологический университет

Аннотация. В статье рассматривается проблема дисбаланса на рынке труда. Искусственный интеллект массово вытесняет людей с одних должностей, но при этом остро не хватает специалистов на других позициях. Существующие механизмы перераспределения персонала оказываются малоэффективными, поскольку компетенции высвобождаемых специалистов слишком далеки от требований новых вакансий. Предлагается концепция проактивной переквалификации, которая опирается на прогнозирование трендов автоматизации и позволяет готовить работников к смене профессии ещё до фактического сокращения. Предсказуемость процессов автоматизации делает такой подход практически реализуемым.

Ключевые слова: искусственный интеллект, рынок труда, проактивная переквалификация, автоматизация, дефицит кадров, организационные системы.

Введение

Целью данной статьи является предложение по доработке механизма поддержки перераспределения кадров, учитывающего необходимость проактивной переквалификации сотрудников, в условиях активного внедрения технологий искусственного интеллекта.

Современная экономика России и мира переживает период масштабной цифровой трансформации, характеризующийся стремительным внедрением технологий искусственного интеллекта в различные сферы производства и услуг. Эксперты прогнозируют сокращение доли рутинного человеческого труда на 15 % [1]. По заявлению ООН, искусственный интеллект может сократить 40 % рабочих мест к 2033 году, что усилит неравенство между странами [2].

Примечательное в складывающейся ситуации заключается в том, что параллельно с процессом высвобождения кадров наблюдается их серьезный дефицит. По данным на конец 2024 года, дефицит высококвалифицированных кадров только в России достиг 1,5 млн человек [3], при этом Министерство труда оценивает общую потребность в кадрах до 2030 года не менее чем в 2,4 млн человек [4].

Исследования показывают, что влияние искусственного интеллекта на занятость неоднородно: если на малых и крупных предприятиях внедрение ИИ привело к снижению численности работников, то на предприятиях среднего размера ИИ, наоборот, способствовал появлению новых вакансий, требующих иную квалификацию. [5] Согласно прогнозам экспертов, по мере внедрения интеллектуальных средств отдельные профессии начнут исчезать со скоростью от 1 до 3 профессий ежегодно [6], но будут появляться и новые.

Таким образом, стремительное внедрение искусственного интеллекта в различные отрасли приводит к возникновению нестандартной ситуации, к которой традиционные механизмы перераспределения кадров на рынке труда не приспособлены, так как не учитывают влияния на изменения условий на рынке труда в перспективе.

Основная часть

Сотрудники, чьи функции автоматизированы или полностью замещены системами искусственного интеллекта, сталкиваются с риском профессиональной невостребованности при

отсутствии механизмов их своевременной переквалификации. С другой стороны, наблюдается формирование новых профессиональных ниш, требующих особых компетенций. Появляются гибридные профессии, представители которых совмещают отраслевую экспертизу с ИИ-компетенциями, например: системные архитекторы, инженеры интеграции, продуктовые аналитики, AI-консультанты, промпт-инженеры, инженеры данных [7]. Это создает трудности прямого найма сотрудников. Высвобожденных специалистов нецелесообразно нанимать, так как их компетенции не соответствуют требованиям новых вакансий, а требуемые специалисты на рынке отсутствуют. Современная схема движения человеческого ресурса представлена на рис. 1.

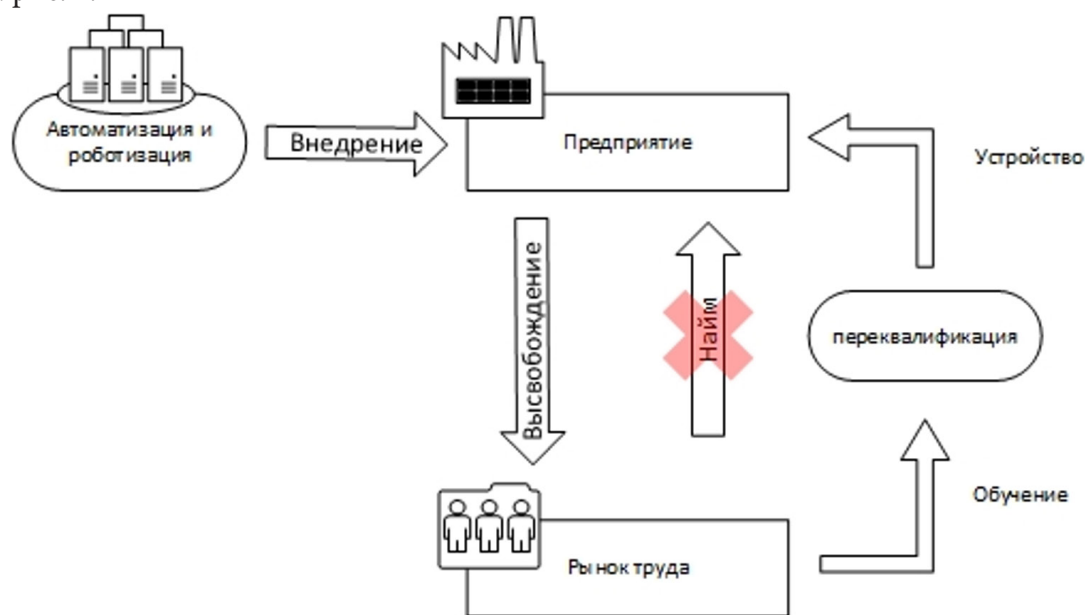


Рис. 1. Современная схема движения человеческого ресурса

Таким образом, ключевой задачей становится оперативная переподготовка высвобождаемых специалистов с направлением их в проблемные зоны рынка труда, где наблюдается острый кадровый голод. Однако данный процесс запускается реактивно и возникает временной лаг между обнаружением потребности и её удовлетворением.

Рассматриваемая проблема требует формирования процессного подхода к автоматизации предприятий, который позволит в результате создать эффективную систему управления высвобождением и переквалификации кадров с учётом перспективных потребностей объекта.

Существующие подходы к управлению кадрами и системы переподготовки специалистов не в полной мере учитывают динамику влияния искусственного интеллекта на структуру занятости и не обеспечивают оптимальной траектории переквалификации высвобождаемых работников. Проблема кроется в отсутствии механизма для проактивной переквалификации за счет применения процессного подхода.

Под проактивной переквалификацией понимается упреждающий процесс профессиональной переподготовки кадров, основанный на прогнозировании перспективных изменений требований рынка труда и заблаговременном формировании необходимых компетенций у сотрудников, попадающих под угрозу сокращения (рис. 2). Такой подход предполагает опережающее действие — в отличие от реактивного, где триггером к запуску служит факт потери работы и выявления несоответствия текущих компетенций сотрудника и доступной вакансии.

Для реализации проактивного подхода необходимо создать прогнозную модель, выявляющую область с наибольшим риском автоматизации заблаговременно до фактического высвобождения сотрудников.

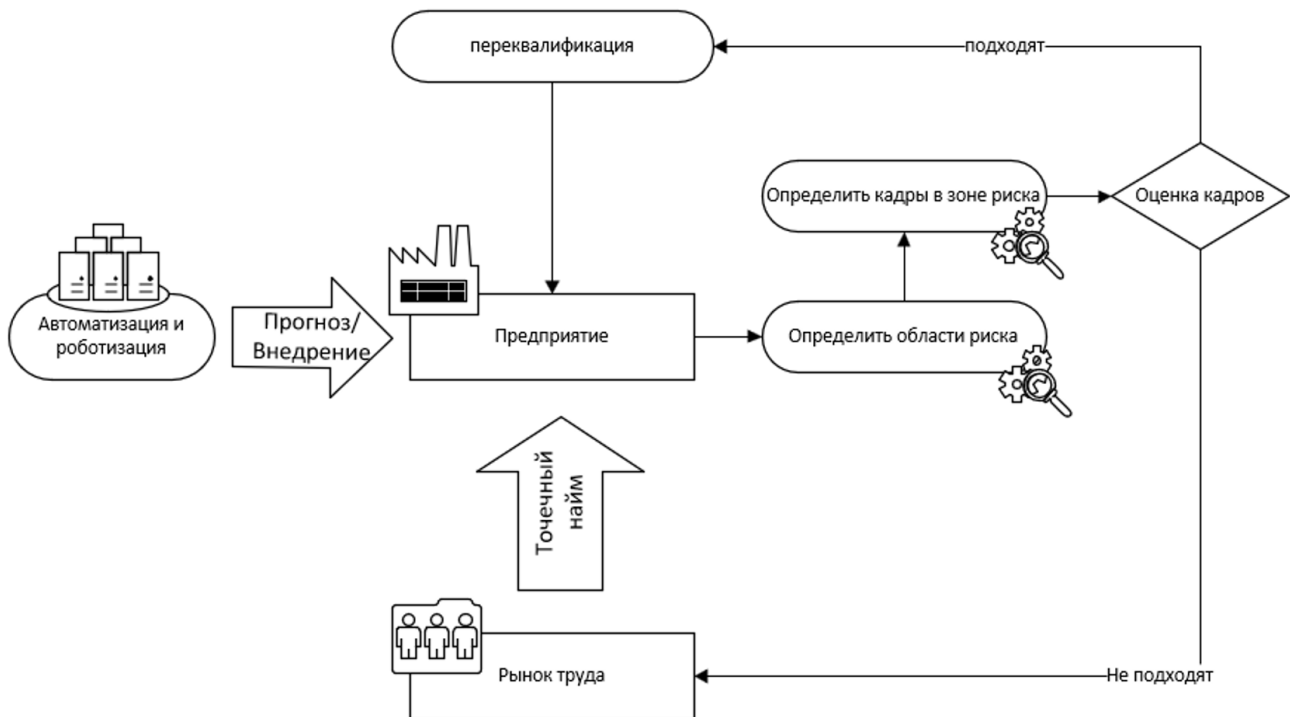


Рис. 2. Схема движения человеческого ресурса с проактивной переквалификацией

Возможность создания такой модели обусловлена предсказуемостью трендов автоматизации. К примеру, эксперты считают, что ИИ затронет рынок младших специалистов: ассистентов, контент-менеджеров, администраторов [8]. В 2023 г. IBM решила заменить около 7,8 тыс. сотрудников бэк-офиса искусственным интеллектом и иными инструментами автоматизации. В основном, как ожидалось, сокращения должны были затронуть сотрудников HR-отделов и другие вспомогательные роли, не имеющие прямого отношения к созданию продуктов и решений, работе с клиентами. Однако IBM пошла дальше, чем кто бы то ни было и в ходе своего эксперимента добилась автоматизации 94 % рутинных операций в сфере управления персоналом. Были автоматизированы все основные задачи HR-отдела: от обработки отпусков до управления заработной платой и кадровым документооборотом. Тем не менее, вопреки массовым увольнениям, штат IBM впоследствии не стабилизировался, как того можно было ожидать, а наоборот — вернулся к прежнему размеру, а затем и превысил его. Дальнейший рост численности сотрудников IBM обусловлен высвобождением ресурсов — финансовых и людских, которые стало возможно без ущерба для бизнеса перебросить на должности в подразделениях, которые сосредоточены на работе, приносящей наибольший экономический эффект [9]. Подобная предсказуемость позволяет заблаговременно идентифицировать группы риска и начать процесс переквалификации.

Применение проактивного подхода позволит снизить количество сокращений сотрудников, времени на закрытие вакансий, за счёт своевременной подготовки нужных кадров к изменяющимся условиям труда и точечным операциям найма высококлассных специалистов.

Заключение

Анализ проблемы дисбаланса на рынке труда показывает, что проактивная переквалификация представляет собой реализуемую стратегию при наличии трёх ключевых условий: предсказуемости процессов автоматизации, структурного дефицита кадров в отдельных сегментах экономики и возможности заблаговременного выявления групп риска среди работников. Опыт крупных корпораций, таких как IBM, подтверждает, что тренды внедрения искусствен-

ного интеллекта можно прогнозировать с достаточной точностью. Внедрение такого подхода позволит снизить количество увольнений, сократить время закрытия критически важных вакансий и обеспечить эффективное перераспределение высвобождающихся ресурсов на приоритетные направления бизнеса.

Предложенная концепция требует дальнейшей разработки механизмов идентификации проблемных сегментов рынка труда и построения оптимальных траекторий переквалификации с учётом перспективных потребностей экономики.

Литература

1. Почему технологии изменят рынок труда в будущем: профессии и навыки 2030 года [Электронный ресурс] // Российская газета. 2025. 23 сентября. URL: <https://rg.ru/2025/09/23/pochemu-tehnologii-izmeniat-rynok-truda-v-budushchem-professii-i-navyki-2030-goda.html> (дата обращения: 24.10.2025).

2. Искусственный интеллект затронет 40% рабочих мест [Электронный ресурс] // Коммерсантъ. 2025. 04 апреля. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/7634512> (дата обращения: 24.10.2025).

3. Дефицит квалифицированных кадров в России достиг 1,5 млн человек [Электронный ресурс] // РБК. 2024. 11 декабря. URL: <https://www.rbc.ru/economics/11/12/2024/67596ef49a79474844647e79> (дата обращения: 24.10.2025).

4. Котьяков: потребность рынка труда в РФ до 2030 года составляет 2,4 млн человек [Электронный ресурс] // Смотрим.ru. 2025. URL: <https://smotrim.ru/article/4240990> (дата обращения: 24.10.2025).

5. *Смирных Л. И.* Искусственный интеллект на предприятиях России: каковы эффекты для занятости? // Вопросы экономики. – 2025. – № 9. – С. 88–102. DOI: 10.32609/0042-8736-2025-9-88-102.

6. *Урунов А. А., Родина И. Б.* Влияние искусственного интеллекта и интернет-технологий на национальный рынок труда // Фундаментальные исследования. – 2018. – № 1. – С. 138–142 DOI: <https://doi.org/10.17513/fr.42064> URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=42064> (дата обращения: 24.10.2025).

7. *Волкова О. Н., Домбровский Д. А., Иванцова Е. А.* Трансформация профессий в эпоху цифровизации // Экономика. Информатика. – 2025. – № 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/transformatsiya-professiy-v-epohu-tsifrovizatsii> (дата обращения: 24.10.2025).

8. На пороге кадровой революции. Как ИИ глобально изменит рынок труда — кому уже сейчас бояться технологической безработицы [Электронный ресурс] // 74RU. 2025. 19 октября. URL: <https://74.ru/text/job/2025/10/19/76079451/> (дата обращения: 26.10.2025).

9. IBM уволила 8 тысяч человек, чтобы заменить их ИИ, но в итоге штат раздулся еще сильнее [Электронный ресурс] // Cnews. 2025. 26 мая. URL: https://www.cnews.ru/news/top/2025-05-26_uvshivshaya_8_tyssotrudnikov (дата обращения: 26.10.2025).

ПОИСК БЛИЖАЙШЕГО К СТОКУ МИНИМАЛЬНОГО РАЗРЕЗА В ДРЕВОВИДНОЙ СЕТИ

В. А. Русаков

Южный федеральный университет

Аннотация. В данной работе формулируется и решается задача поиска ближайшего к стоку минимального разреза для одного из классов сетей — для древовидных сетей. Для решения поставленной задачи разработан алгоритм, основанный на выявленных особенностях древовидных сетей, таких как возможность построения топологической сортировки вершин сети и возможность определения вхождения насыщенной максимальным потоком дуги в ближайший к стоку минимальный разрез. Вычислительная сложность и требуемый для работы объём памяти предложенного алгоритма линейно зависят от размеров сети. Рассмотрен пример применения разработанного алгоритма.

Ключевые слова: граф, сеть, минимальный разрез, поток в сети, максимальный поток, всплеск динамического потока, топологическая сортировка, размыкание сети, древовидная сеть, алгоритм обратного обхода древовидной сети.

Введение

Задача нахождения ближайшего к стоку минимального разреза в сети возникает как подзадача при поиске максимального всплеска динамического потока и его величины в сети [1].

Поскольку существующие методы поиска минимальных разрезов направлены либо на поиск любого минимального разреза (как, например, предложенный в работе [2] алгоритм), что не соответствует поставленной задаче, либо на поиск всех минимальных разрезов [3–6], что избыточно для решения поставленной задачи, следовательно, требуется разработка новых методов и алгоритмов, ориентированных именно на нахождение ближайшего к стоку минимального разреза.

В данной работе ограничимся рассмотрением класса сетей, называемых древовидными [7].

1. Постановка задачи

Для описания задачи поиска ближайшего к стоку минимального разреза в древовидной сети приведём основные определения.

Определение 1. Сетью $G(X, U, f, \rho, s, t)$ назовём связный орграф с конечными множествами вершин X и дуг U , для которых задано отображение инцидентности $f: U \rightarrow X \times X$ и отображение $\rho: U \rightarrow R_+ = (0; +\infty)$, определяющее для каждой из дуг $u \in U$ величину пропускной способности. Выделенные вершины s и t называются источником и стоком соответственно.

Класс сетей, называемых древовидными, задаётся с помощью определения размыкания сети.

Определение 2. Размыкание сети $G(X, U, f, \rho, s, t)$ — граф $G'(X', U', f')$, полученный из сети G посредством удаления стока t и входящих в него дуг и добавления в X' множества вершин $T = \{t_1, \dots, t_m\}$, $m = \deg_+(t)$, таких что для каждой из дуг (x, t) сети G в U' добавляется дуга, ведущая из вершины x в одну из вершин $t_i \in T$, сохраняя требование числа входящих в t_i дуг — $\deg_+(t_i) = 1$.

Определение 3. Древовидная сеть — сеть, размыкание которой является деревом с корневой вершиной s .

Пример древовидной сети и её размыкания приведён на рис. 1.

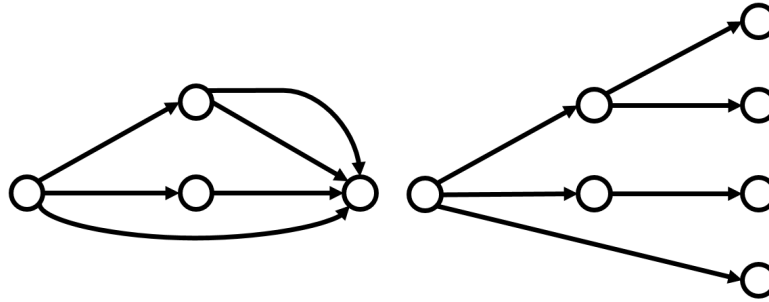


Рис. 1. Древоподобная сеть (слева) и её размыкание (справа)

Определение 4. Ближайшим к стоку минимальным разрезом сети $G(X, U, f, \rho, s, t)$ называется такое множество дуг $C_{\text{ближ}} \subseteq U$, что каждый ведущий в сток путь, начальная дуга u_1 которого принадлежит $C_{\text{ближ}}$, не содержит ни одной дуги из $C_{\text{ближ}}$, кроме дуги u_1 .

Таким образом, поставленная задача формулируется как задача поиска $C_{\text{ближ}}$ в древоподобной сети $G(X, U, f, \rho, s, t)$.

2. Алгоритм поиска ближайшего к стоку минимального разреза в древоподобной сети

Рассмотрим особенности древоподобных сетей, позволяющие построить алгоритм нахождения $C_{\text{ближ}}$.

Дуги древоподобной сети (как и дуги сети любого другого класса), напрямую ведущие из источника в сток, входят в каждый минимальный разрез, включая $C_{\text{ближ}}$.

Одно из следствий теоремы Форда — Фалкерсона о равенстве величины максимального потока пропускной способности минимального разреза гласит, что любой максимальный поток насыщает все минимальные разрезы сети [8]. Следовательно, все дуги, входящие в $C_{\text{ближ}}$ древоподобной сети будут насыщены любым максимальным потоком. Для нахождения максимального потока в древоподобной сети за линейное время может быть использован предложенный ранее в работе [7] алгоритм обратного обхода древоподобной сети.

Не каждая насыщенная максимальным потоком дуга древоподобной сети входит в какой-либо минимальный разрез, в том числе в $C_{\text{ближ}}$. Пример, подтверждающий это утверждение представлен на рис. 2., где входящая в сток насыщенная максимальным потоком (величины потока и пропускных способностей указаны рядом с каждой из дуг) дуга не принадлежит ни одному минимальному разрезу.

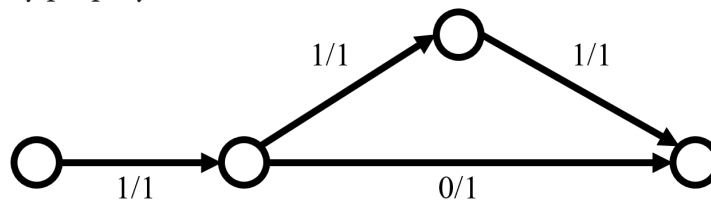


Рис. 2. Древоподобная сеть с входящей в сток насыщенной дугой

Однако, первая встреченная в каждом пути из источника в сток насыщенная максимальным потоком дуга u_H^1 входит в минимальный разрез, поскольку согласно строению древоподобной сети в достижимые из u_H^1 вершины из источника не ведёт ни одного пути, который бы не содержал u_H^1 . Используя данную особенность можно найти дуги ближайшего к источнику минимального разреза.

Между входящей в минимальный разрез дугой u , найденной, например, согласно предыдущему утверждению, и стоком существуют дуги других минимальных разрезов, если каждый путь, ведущий из концевой вершины дуги u в сток, содержит насыщенную максимальным потоком дугу. Если данное условие ложно, то дуга u принадлежит $C_{\text{ближ}}$.

На основании приведённых выше особенностей древовидных сетей алгоритм нахождения $C_{\text{БЛИЖ}}$ в древовидной сети описывается следующей последовательностью шагов.

Шаг 1. Вычислить для дуг сети G максимальный поток ϕ_{max} с помощью алгоритма обратного обхода древовидной сети.

Шаг 2. Найти топологическую сортировку TS вершин графа G . Удалить из TS вершины s и t . Скопировать вершины TS в очередь вершин Q . Обратить порядок вершин в Q .

Шаг 3. Для каждой из входящих в сток дуг u_T задать количество проходящих через u путей из s в t — $P_U(u_T)$, равное 1, а также задать количество насыщенных путей, ведущих из начала дуги u_T в сток $N_U(u_T)$, равное 1, если дуга u_T насыщена потоком ϕ_{max} , иначе — задать $N_U(u_T) = 0$.

Шаг 4. Для каждой из вершин $x_i \in Q$ вычислить $N_X(x_i) = \sum N_U(u)$, $u \in U^-(x_i)$ и для оканчивающейся в x_i дуги u_i найти $P_U(u_i) = \sum P_U(u)$, $u \in U^-(x_i)$. Если u_i насыщена максимальным потоком ϕ_{max} , то задать $N_U(u_i) = P_U(u_i)$, иначе задать $N_U(u_i) = N_X(x_i)$.

Шаг 5. Для каждой из дуг $u_s \in U^-(s)$ проверить — если u_s оканчивается в t , то добавить u_s в $C_{\text{БЛИЖ}}$.

Шаг 6. Если последовательность TS не пуста, то извлечь из TS вершину x_C , иначе — завершить работу алгоритма. Если x_C помечена как обработанная (на шаге 9), то завершить обработку x_C возвратом на начало шага 6, в противном случае — перейти на шаг 7.

Шаг 7. Если входящая в x_C дуга u_C не насыщена максимальным потоком ϕ_{max} или $N_U(u_C) = P_X(x_C)$, то перейти на шаг 8, иначе — перейти на шаг 9.

Шаг 8. Каждую оканчивающуюся в t насыщенную дугу из $U^-(x_C)$ добавить в $C_{\text{БЛИЖ}}$. Завершить обработку x_C возвратом на шаг 6.

Шаг 9. Добавить дугу u_C в $C_{\text{БЛИЖ}}$. Произвести обход в ширину из x_C в t , пометая встреченные вершины как обработанные. Завершить обработку x_C возвратом на шаг 6.

Вычислительная сложность данного алгоритма является линейной от размеров сети, потому что вычислительная сложность каждого из этапов алгоритма ограничена линейной оценкой. На шаге 1, как было упомянуто выше, используется алгоритм с линейной вычислительной сложностью. На шаге 2, аналогично используемому на шаге 1 алгоритму, выполняется топологическая сортировка, вычислительная сложность которой при использовании алгоритма Тарьяна [9] также линейна от размеров сети. На шагах 3–5, также как на шагах 6–9, каждая вершина и дуга просматривается константное, не зависящее от размеров сети, число раз.

Требуемая для работы алгоритма память также линейна от размеров сети.

Рассмотрим работу предложенного алгоритма на примере сети, представленной на рис. 3, где рядом с каждой дугой указаны её пропускная способность и величина найденного на шаге 1 максимального потока ϕ_{max} .

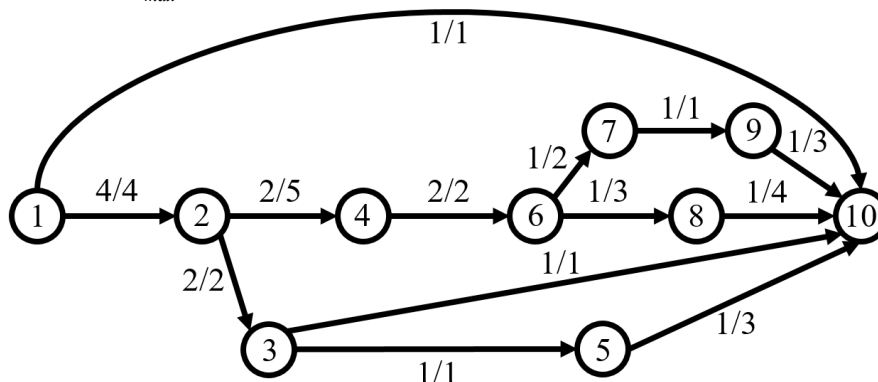


Рис. 3. Древовидная сеть с найденным максимальным потоком

После выполнения на шаге 2 топологической сортировки получены последовательность вершин $TS = 2, 3, 5, 4, 6, 7, 9, 8$ и очередь вершин $Q = 8, 9, 7, 6, 4, 5, 3, 2$.

На шаге 3 для каждой из входящих в сток дуг u_T , т. е. для дуг (1,10), (9,10), (8,10), (3,10) и (5,10) устанавливается значение $P_U(u_T) = 1$, а также для насыщенных дуг (1,10) и (3,10) задаётся значение $N_U(u_T) = 1$, а для остальных рассмотренных на данном шаге дуг устанавливается значение $N_U(u_T) = 0$.

На шаге 4 выполняется перебор вершин x_i в порядке их следования в очереди Q , для каждой из которых вычисляется количество насыщенных потоком ϕ_{max} путей из x_i в t , т. е.: $N_X(5) = N_X(8) = N_X(9) = 0$, $N_X(6) = N_X(7) = 1$, $N_X(3) = N_X(4) = 2$ и $N_X(2) = 4$. Далее, для рассмотренных на шаге 3 дуг u_i вычисляются значения $P_U(u_i)$ и $N_U(u_i)$: поскольку дуги (1,2), (2,3), (3,5), (4,6) и (7,9) насыщены, то для них значения $P_U(u_i)$ и $N_U(u_i)$ совпадают и равны значениям $N_X(x_i)$; для дуг (2,4) и (6,7) значения величин $P_U(u_i)$ и $N_U(u_i)$ также совпадают и равны $N_X(x_i)$, потому что эти дуги предшествуют насыщенным дугам (4,6) и (7,9) соответственно; для дуги (6,8) задаются значения $P_U(u_i) = 1$ и $N_U(u_i) = 0$, потому что из неё в t ведёт лишь один ненасыщенный путь.

На шаге 5 в $C_{ближ}$ добавляется единственная соединяющая напрямую s и t дуга (1,10).

Установление принадлежности насыщенных дуг множеству $C_{ближ}$ на шагах 6–9 выполняется следующим образом. Первой рассматриваемой вершиной является вершина 2, в которой оканчивается насыщенная дуга (1,2). Дуга (1,2) входит в один из минимальных разрезов, потому что является первой насыщенной дугой по путям из s в t , но она не входит в $C_{ближ}$, потому что, каждый путь из её концевой вершины 2 в t также проходит через как минимум одну насыщенную дугу, т. е. $P_U((1,2)) = N_X(2)$. Поэтому далее обработке подлежат вершина 3 и дуга (2,3), которая не входит в $C_{ближ}$ по той же причине, что и дуга (1,2). Впрочем, при обработке вершины 3 на шаге 8 в $C_{ближ}$ добавляется входящая в t насыщенная дуга (3,10). При рассмотрении вершины 5 и насыщенной дуги (3,5) обнаруживается, что из вершины 5 ведёт $N_X(5) = 0$ насыщенных путей, а $P_U((3,5)) = 1 > N_X(5)$, поэтому дуга (3,5) добавляется в $C_{ближ}$ на шаге 9. Далее подлежат обработке вершина 4 и дуга (2,4), которая не входит в $C_{ближ}$, потому что не является насыщенной. Завершается алгоритм рассмотрением вершины 6 и насыщенной дуги (4,6), для которых $P_U((4,6)) = 2 > N_X(6) = 1$, поэтому на шаге 9 дуга (4,6) добавляется в $C_{ближ}$, а вершины 7, 9, 8 и инцидентные им дуги (включая насыщенную дугу (7,9)) не проходят проверок на шагах 7–9, поскольку при обходе в ширину из вершины 6 на шаге 9 помечаются как обработанные.

Таким образом, $C_{ближ}$ для приведённой на рис. 3 сети состоит из дуг (1,10), (3,5), (3,10) и (4,6).

Заключение

В работе описан алгоритм нахождения ближайшего к стоку минимального разреза для класса древовидных сетей. Показано, что вычислительная сложность предлагаемого алгоритма является линейной от размеров древовидной сети. Работа приведённого алгоритма продемонстрирована на примере, охватывающем все шаги алгоритма с учётом всех возможных ветвлений. Дальнейшая работа заключается в исследовании применимости предложенного алгоритма для сетей других классов.

Литература

1. Ерусалимский Я. М. О всплесках динамического потока и минимальных разрезах / Я. М. Ерусалимский, А. Е. Куликовский // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2014. – № 4. – С. 5–8.

2. *Hao J.* A faster algorithm for finding the minimum cut in a graph / J. Hao, J. B. Orlin // Proceedings of the 3rd Annual ACM–SIAM Symposium on Discrete Algorithms (SODA'92). – 1992. – P. 165–174. DOI 10.1145/139404.139439.
3. *Picard J. C.* On the structure of all minimum cuts in a network and applications / J. C. Picard, M. Queyranne // Mathematical Programming Study. – 1980. – Vol. 13. – P. 8–16. DOI 10.1007/BFb0120902.
4. *Provan J. S.* A paradigm for listing (s, t)-cuts in graphs / J. S. Provan, D. R. Shier // Algorithmica. – 1996. – Vol. 15. – P. 351–372. DOI 10.1007/BF01961544.
5. *Карзанов А. В.* Эффективный алгоритм нахождения всех минимальных реберных разрезов неориентированного графа / А. В. Карзанов, Е. А. Тимофеев // Кибернетика. – 1986. – № 2. – С. 8–12.
6. *Гришкевич А. А.* Кодирование дистрибутивной решетки минимальных разрезов графа электрической цепи / А. А. Гришкевич // Синтез, анализ и диагностика электронных цепей : Международный сборник научных трудов. Ульяновск : УлГТУ, 2018. С. 141–147.
7. *Ерусалимский Я. М.* Нахождение максимального потока в древовидной сети за линейное время / Я. М. Ерусалимский, В. А. Русаков, В. А. Скороходов // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики : сборник трудов Международной научной конференции, Воронеж, 4–6 декабря 2023 г. – Воронеж, 2024. – С. 1540–1545.
8. *Ford Jr. L. R.* Flows in networks / Jr. L. R. Ford, D. R. Fulkerson – Princeton University Press, Princeton, NJ, 1962. – 212 p.
9. *Tarjan R. E.* Edge-disjoint spanning trees and depth-first search / R. E. Tarjan / Acta Informatica. – 1976. – Vol. 6, № 2. – P. 171–185. DOI 10.1007/BF00268499.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ МАРШРУТОВ СЛУШАТЕЛЕЙ

Т. Е. Саратова, Н. А. Приходько, М. А. Пучкова

МИРЭА – Российский технологический университет

Аннотация. Представлен целостный подход к проектированию и валидации интеллектуальных рекомендательных сценариев в дополнительном профессиональном образовании. Предлагается гибридная архитектура, объединяющая контент-ориентированные признаки курсов, коллаборативные факторы по поведению слушателей, граф компетенций и сигналы рынка труда. Описаны структура данных, методика построения онтологии, правила формирования последовательности модулей с учётом пререквизитов, а также метрики офлайн и онлайн-оценки, контуры объяснимости и экспертной обратной связи. Практическая значимость заключается в повышении релевантности и выполнимости индивидуальных маршрутов и сокращении времени закрытия дефицитов компетенций.

Ключевые слова: персонализация образовательных траекторий, адаптивное обучение, интеллектуальные обучающие системы, коллаборативная фильтрация, контентно-ориентированные рекомендации, гибридные рекомендательные модели, последовательные рекомендации.

Введение

В условиях ускоряющейся цифровизации и высокой изменчивости требований рынка труда ДПО становится ключевым инструментом «обучения в течение всей жизни» [1]. Вместе с тем, весомым недостатком типовых программ обучения является фрагментарность и недостаточная связь с актуальными компетенциями, что требует персонализированных механизмов подбора и последовательности освоения модулей [1, 2]. Интеллектуальные информационные системы (ИИС) и, в частности, рекомендательные решения позволяют адаптировать траектории под цели и уровень слушателя, комбинируя модели знаний предметной области с алгоритмами самообучения и анализа поведения.

Несмотря на зрелость алгоритмов рекомендаций, внедрение интеллектуальных рекомендательных сценариев (ИРС) в образовательных платформах осложняется неоднородностью данных (LMS/HR/внешние вакансии), отсутствием унифицированных онтологий компетенций, требованиями к объяснимости рекомендаций и интеграции с существующими процессами сопровождения обучения [3]. Эти факторы диктуют необходимость системного проектирования — от формализации целей и метрик до архитектуры данных и контуров обратной связи с преподавателями и методистами.

Целью работы является разработка воспроизводимого подхода к построению рекомендательной системы, которая оптимизирует персональные образовательные маршруты слушателей ДПО по критериям закрытия дефицитов компетенций, выполнимости с учётом пререквизитов и ограничений, а также устойчивости траекторий. В качестве исследовательской гипотезы предполагается, что гибридная архитектура, объединяющая контент, поведенческие сигналы, структуру графа компетенций и динамику рынка труда, обеспечивает устойчивый прирост качества рекомендаций и образовательных результатов по сравнению с изолированными подходами [3, 4].

1. Источники данных и методология построения онтологии и графа знаний

Материалы и методы исследования опираются на согласование пяти классов данных. Во-первых, используются журналы LMS, фиксирующие записи на курсы, прохождение и завершение модулей, результаты контрольных и время взаимодействия, эти данные позволяют формировать поведенческие представления слушателей и оценивать сложность и «качество» модулей по историческим конверсиям. Во-вторых, привлекаются кадровые сведения, включающие занимаемые роли и результаты оценочных процедур, на основе которых строится профиль компетенций «как есть». В-третьих, детально описывается каталог образовательных программ: силлабусы, пререквизиты, формат и трудоёмкость, а также декларируемые целевые компетенции. В-четвёртых, применяется корпус текстов вакансий для регулярного мониторинга приоритетных навыков, извлечение производится средствами обработки естественного языка с нормализацией терминов и агрегацией синонимов по векторным представлениям. Наконец, собирается экспертная разметка связей «модуль → компетенция» с указанием веса покрытия и жёсткости пререквизитов, эти сигналы используются как для обучения, так и для последующей валидации. Сводная схема конвейера и архитектуры представлена на рис. 1.

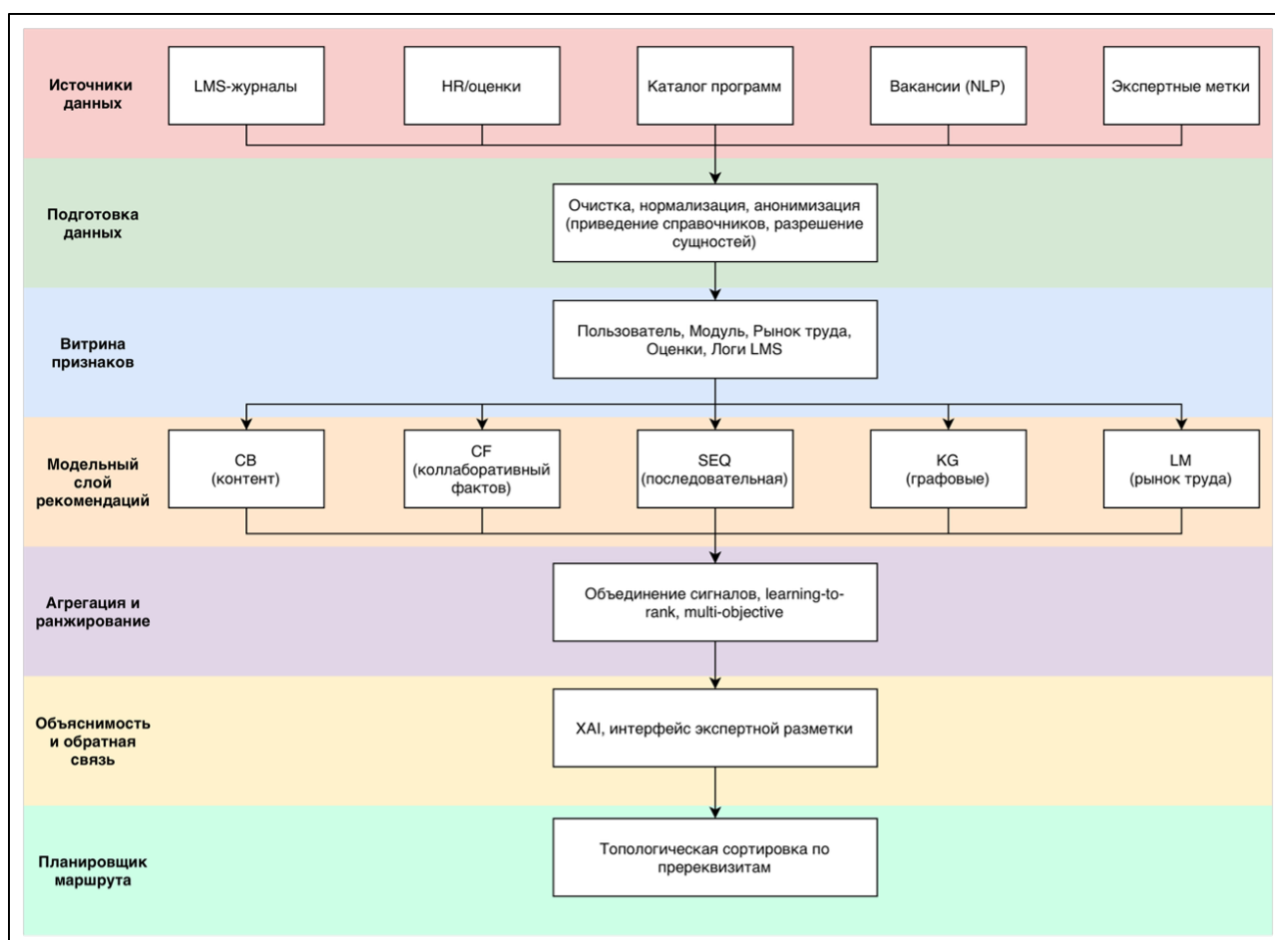


Рис. 1. Сквозная архитектура интеллектуальной рекомендательной

На уровне семантического моделирования знаний строится онтология компетенций, задающая таксономию, связи с конкретными навыками и ролями, а также ограничения в виде пререквизитов, эквивалентностей и допустимых альтернатив [5]. На её основе формируется граф знаний, где вершины соответствуют компетенциям, навыкам, модулям и ролям, а рёбра отражают отношения «покрывает», «требует», «эквивалент» и «пререквизит». Этот граф выполняет

одновременно три функции: служит основой для расчёта путей закрытия дефицитов компетенций, накладывает структурную регуляризацию на модельные представления и обеспечивает интерпретируемость рекомендаций за счёт трассировки «дефицит → навык → модуль».

Формирование признаков включает построение профиля слушателя как вектора компетенций, дополненного параметрами темпа обучения, предпочтений формата и риска досрочного ухода, описание модуля как сочетания онтологических меток, эмбедингов силлабуса и операционных характеристик сложности и качества, а также агрегирование внешних сигналов рынка в виде взвешенного вектора актуальности навыков по времени. Ограничения на расписание, доступность мест, бюджет времени и стоимости включаются в модель как жёсткие или мягкие условия с соответствующими штрафами при ранжировании.

2. Архитектура гибридной модели и алгоритмы рекомендаций

Алгоритмическая часть реализована как гибрид. Контент-ориентированная компонента оценивает семантическую близость профиля слушателя и описания модуля с учётом пререквизитов. Коллаборативная компонента обучается на неявной обратной связи и улавливает паттерны совместного потребления и завершения модулей слушателями со схожими целями. Последовательная модель предсказывает следующий шаг индивидуальной траектории на основе истории уже пройденных модулей, что позволяет учитывать локальные зависимости и типичные цепочки освоения. Графовые встраивания переводят структуру онтологии и связей «модуль ↔ компетенция» в векторное пространство, усиливая качество рекомендаций в ситуациях холодного старта. Дополнительно сигнал рынка труда, рассчитанный по корпусу вакансий, приоритизирует модули, чьё компетентностное покрытие коррелирует с текущим спросом. Итоговое ранжирование представляет собой взвешенную агрегацию компонент с обучением весов на целевых списочных метриках качества, при формировании итоговой выдачи применяется регуляризация на диверсификацию и широту охвата, что снижает риск «тоннельного» маршрута.

Преобразование упорядоченного списка рекомендаций в выполнимую последовательность модулей осуществляется как решение задачи с ограничениями: сначала выполняется топологическая сортировка по графу пререквизитов, затем учитываются окна доступности и индивидуальный бюджет времени, после чего производится локальная пересборка порядка в случае конфликтов с минимальными отклонениями от приоритетов. Такая процедура обеспечивает не только релевантность предложений, но и реалистичность маршрута с точки зрения организационных ограничений.

Ключевым элементом практического внедрения является объяснимость и участие человека в контуре принятия решений. Для каждого рекомендуемого модуля предоставляется текстовое обоснование на основе локальных атрибуций признаков и путей по графу знаний, указывающее, какой дефицит компетенции закрывается, почему выбран именно этот модуль и каким образом соблюдены пререквизиты. Интерфейс для методистов и преподавателей позволяет подтверждать или отклонять предложения, корректировать связи «модуль → компетенция» и отмечать недостающие пререквизиты, эти сигналы поступают обратно в обучающий контур, улучшая качество модели по мере накопления экспертных правок.

Оценка эффективности проводится в два этапа. В офлайн-режиме используется темпоральное разбиение для честной проверки, сравнение с базовыми методами по метрикам качества ранжирования, а также анализ устойчивости на задачах холодного старта. Для снижения смещения, присущего логам реального взаимодействия, применяются методы корректировки на основе инверсии вероятности показа. В онлайн-режиме организуются контролируемые эксперименты на витринах рекомендаций: фиксируются клики, записи и завершения, измеряется средняя длина и «глубина» маршрута, оценивается скорость достижения целевых компе-

тенций по прокси-показателям, а также доля экспертных правок как индикатор доверия к системе. Для безопасной эксплорации новых комбинаций модулей используется многооружный бандит с ограничениями пререквизитов, что позволяет балансировать между исследованием и эксплуатацией без ухудшения образовательного опыта.

Этические и регуляторные требования соблюдаются посредством минимизации собираемых персональных данных, их анонимизации и строгого разграничения доступа, все рекомендации и правки журналируются, что обеспечивает прослеживаемость решений. Проводится регулярный аудит смещений и справедливости по когортам слушателей и форматам обучения, а в критических сценариях сохраняется возможность ручной коррекции маршрутов. На уровне реализации предполагается выделение устойчивого контура данных с витринами «пользователь», «модуль», «рынок», оркестрация пакетного переобучения и лёгкий онлайн-сервис ранжирования с низкой латентностью и мониторингом дрейфа признаков. На основании данных, были составлены витрины данных, отражающие свои ключевые признаки (табл. 1).

Таблица 1

Витрины данных и ключевые признаки

Витрина	Примеры признаков	Типы	Частота обновлений
Пользователь	Профиль компетенций, темп, предпочтения формата, риск отсева	Числовые, категориальные, текстовые эмбединги	Ежедневно/по событию
Модуль	Онтологические метки, эмбединг силлабуса, сложность, историческая доля завершений	Категориальные, текстовые эмбединги, числовые	Еженедельно
Рынок труда	Удельный вес навыков, тренды по времени	Временные ряды, числовые	Еженедельно/ежемесячно
Оценки	Результаты аттестаций, целевой профиль компетенций	Числовые, категориальные	По расписанию аттестаций
Логи LMS	Просмотры, записи, завершения, время взаимодействия	Счётчики, интервальные	Непрерывно/ежедневно

Предложенный подход демонстрирует, как объединение онтологии, поведенческих данных и внешних рыночных сигналов в единую гибридную архитектуру повышает релевантность и выполнимость персональных образовательных маршрутов, снижает риски холодного старта, обеспечивает прозрачность и удобные механизмы экспертной коррекции.

Заключение

Ожидаемым эффектом является рост показателей качества рекомендаций и конверсии «зачисление → завершение», а также сокращение времени закрытия целевых компетенций, что делает применение интеллектуальных рекомендательных систем в ДПО практически значимым инструментом для университетов, корпоративных академий и отраслевых центров обучения.

Литература

1. *Токтарова В. И.* Интеграция рекомендательных систем на основе искусственного интеллекта в образовательный процесс вуза / В. И. Токтарова, О. Г. Казанцева // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. – 2024. – № 212. – С. 102–114. – DOI 10.33910/1992-6464-2024-212-102-114. – EDN QZWOMD.
2. *Головинский П. А.* Нечеткая рекомендательная система с холодным стартом для выбора траектории обучения / П. А. Головинский, А. О. Шаталова // Проблемы управления. – 2023. – № 6. – С. 33–41. – DOI 10.25728/ru.2023.6.3. – EDN HVRWRH.
3. *Невзорова О. А.* Система автоматического построения графов знаний математических документов / О. А. Невзорова, Б. Т. Гизатуллин // Ученые записки Казанского университета. Серия: Физико-математические науки. – 2023. – Т. 165, № 3. – С. 264–281. – DOI 10.26907/2541-7746.2023.3.264-281. – EDN KENAEF.
4. Концепция подключаемой рекомендательной системы заданий для персонализации образовательного процесса / А. В. Живетьев, М. А. Белов, Н. А. Токарева, Е. Н. Черемисина // Системный анализ в науке и образовании. – 2025. – № 1. – С. 124–129. – EDN KLCMFQ.
5. *Плешкова А. Ю.* Онтологии в управлении образовательным процессом / А. Ю. Плешкова // Онтология проектирования. – 2022. – Т. 12, № 4(46). – С. 506–517. – DOI 10.18287/2223-9537-2022-12-4-506-517. – EDN APBRGG.

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ МНОГОШАГОВОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА

Ю. А. Сафонова

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова

Аннотация. В работе представлена стохастическая математическая модель оперативного управления качеством многостадийного производственного процесса, функционирующего в условиях цифровой промышленности, которая учитывает вероятностную природу технологических операций, их последовательную взаимосвязь, а также влияние управляющих мероприятий на итоговую вероятность качественного завершения процесса; предложена формулировка задачи минимизации затрат при обеспечении требуемого уровня качества, рассмотрена непрерывная MINLP-постановка и её дискретный эквивалент, реализуемый методами динамического программирования в модуле приложения, которое используется в автоматизации производственного процесса добычи и переработки гранита. **Ключевые слова:** многостадийный производственный процесс, вероятностная модель, оптимизация качества, стохастическое управление, дискретизация вероятностей, оперативное управление, моделирование производственных систем.

Введение

Современное промышленное производство развивается в условиях глубокой цифровизации, когда в основу управления технологическими процессами закладываются концепции Industry 4.0 и Industry 5.0. Производственные системы не только усложняются, но и становятся существенно динамичными, поскольку информация о состоянии оборудования, сырья, персонала и внешней среды поступает непрерывно из сенсорных структур IoT, систем MES и SCADA, а также цифровых двойников производственных площадок. Эволюционное развитие производства приводит к тому, что применение традиционных методов управления качеством, основанных на детерминированных моделях и фиксированных параметрах, оказывается недостаточными. Производственные процессы приобретают выраженную стохастическую природу, что требует разработки моделей оперативного управления качеством, учитывающих неопределённость, вариабельность и последовательную взаимосвязанность стадий производственного цикла.

1. Математическая модель

Рассматриваемый многостадийный производственный процесс представляет собой последовательность стадий S_1, S_2, \dots, S_N , каждая из которых характеризуется вероятностью качественного завершения p_n . Исходные вероятности стадий — p_n^0 , определяемые на основе статистики отказов, данных MES, показателей FPY, PPM и других характеристик [1]. Итоговая вероятность качественного завершения всего процесса выражается произведением вероятностей отдельных стадий, что моделирует взаимосвязь производственных операций:

$$P_{tot} = \prod_{n=1}^N p_n. \quad (1)$$

Каждое снижение качества на одной стадии может приводить к пропорциональному снижению итогового результата.

Для обеспечения требуемого уровня качества вводится порог p_{req} , удовлетворяющий условию:

$$P_{tot} \geq p_{req}. \quad (2)$$

На производственный процесс могут воздействовать мероприятия, направленные на повышение величины вероятности качественного завершения отдельных стадий [2]. Применение мероприятия $M_l (l=1..L)$ на стадии S_n , определяется бинарной переменной $z_{ln} \in \{0,1\}$. Если $z_{ln} = 1$, то вероятность увеличивается на Δp_{ln} . Таким образом, итоговая вероятность стадии имеет вид:

$$p_n = p_n^0 + \sum_{l=1}^L \Delta p_{ln} \cdot z_{ln}, \quad (3)$$

при ограничении $0 \leq p_n \leq 1$.

Стоимость применения мероприятия M_l к стадии S_n определяется величиной S_{ln} , которая отражает затраты на повышение вероятности выполнения стадии [3].

Совокупность вероятностных зависимостей, бинарных переменных и нелинейного ограничения на произведение вероятностей приводит к формированию задачи смешанного целочисленного нелинейного программирования (MINLP). Необходимо минимизировать затраты на мероприятия при обеспечении заданного уровня итоговой вероятности качественного выполнения всего процесса.

Постановка задачи:

$$\min_{z_{ln}} C(z) = \sum_{l=1}^L \sum_{n=1}^N S_{ln} \cdot z_{ln} \quad (4)$$

при условии:

$$\prod_{n=1}^N \left(p_n^0 + \sum_{l=1}^L \Delta p_{ln} \cdot z_{ln} \right) \geq p_{req}. \quad (5)$$

Для обеспечения вычислительной устойчивости и возможности применения стандартных MINLP-алгоритмов используется логарифмическое преобразование:

$$\sum_{n=1}^N \ln \left(p_n^0 + \sum_{l=1}^L \Delta p_{ln} \cdot z_{ln} \right) \geq \ln(p_{req}). \quad (6)$$

Ограничение по вероятности принимает вид:

$$p_n = p_n^0 + \sum_{l=1}^L \Delta p_{ln} \cdot z_{ln}, \quad 0 \leq p_n \leq 1. \quad (7)$$

Сформулированную задачу (6) и (7) возможно решить с помощью MINLP-решателей или стохастических эвристик.

Если заменить величину вероятности целочисленными индексами $k_n = \text{Entier}(100p_n)$, k_n — вероятность, выраженная в процентах, то для дискретного анализа форма математической модели изменится. Связь с бинарными переменными:

$$k_n = k_n^0 + \sum_{l=1}^L k_{ln} \cdot z_{ln}, \quad (8)$$

где $k_{ln} = \text{Entier}(100\Delta p_{ln})$.

Целевая функция (4) не меняется, но ограничения на итоговую вероятность принимают вид:

$$\prod_{n=1}^N \frac{k_n}{100} \geq p_{req}, \quad (9)$$

Данный дискретный подход может применяться при динамическом программировании, когда на каждой стадии вычисляются минимальные затраты на проведения мероприятия по

достижению заданного уровня значения вероятности, затем внешняя динамическая оптимизация выбирает комбинацию уровней k_n , обеспечивающую величину требуемого порога итоговой вероятности качественного завершения производственного процесса при минимальной стоимости мероприятий.

2. Реализация и вычислительный эксперимент

Для практической реализации описанной модели разработан программный компонент, который позволяет получать данные о состоянии производственных стадий, значениях вероятностей качественного завершения этапов под воздействием проводимых мероприятий. Данная информация служит для расчета величины вероятностей, а также для решения MINLP-задачи поиска оптимальных мероприятий по улучшению качества производственного процесса. Вычислительный эксперимент проводился на примере промышленной добычи и переработки гранита. Бали выбраны две последовательные стадии и рассмотрены три возможных мероприятия, влияющие на вероятность качественного выполнения стадий. В результате оптимизации $P_{tot} = 0,92$, что удовлетворяло заданному уровню качества при минимальных затратах. Модель продемонстрировала устойчивость к изменениям и корректное адаптивное поведение.

Заключение

Предложенная MINLP-модель оперативного управления качеством многостадийных производственных процессов является корректной, воспроизводимой и применимой для реального производства. Она позволяет учитывать вероятностную природу операций, оптимизировать затраты и адаптироваться к изменениям параметров в режиме реального времени. Модель соответствует современным требованиям Industry 4.0 и может служить основой для внедрения интеллектуальных систем поддержки принятия решений в производственной среде.

Литература

1. Сафонова Ю. А. Разработка математической модели оперативного управления качеством производственного процесса / Ю. А. Сафонова, С. Г. Мачтаков, Д. А. Скроготунов // Современные материалы, техника и технологии. – 2018. – № 5 (20). – С. 28–34.
2. Тебекин Ю. Б. Процесс проектирования системы управления связью как вероятностная многофазная система: тез. докл. / Ю. Б. Тебекин, О. В. Авсеева, О. Я. Кравец // Материалы II Международной научно-практической конференции «Объектные системы – 2010 (зимняя сессия)»; Ростов-на-Дону, 10-12 ноября 2010 г. – Ростов-на-Дону. – 2010. – С. 114.
3. Бурмистров Д. В. Исследование вероятностных связей и зависимостей, определяющих оптимальные методы организации и планирования ритмичного строительства лесовозных автомобильных дорог / Д. В. Бурмистров, Р. В. Могутнов, О. В. Рябова, Ю. А. Сафонова [и др.] // Лесной вестник. Forestry Bulletin. – 2019. – Т. 23, № 1. – С. 70–76.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КОНФИГУРАЦИЯМИ КАК ОСНОВА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОНКУРЕНТНОГО ПРЕИМУЩЕСТВА

Е. В. Смоленцев

МИРЭА – Российский технологический университет

Аннотация. В статье рассматривается применение системы управления конфигурациями (CMS) для повышения эффективности учёта ресурсов предприятия строительного профиля. Показано, что существующие ITSM- и специализированные решения не обеспечивают комплексного охвата потребностей предприятия. Предлагается концепция прототипа CMS как единой информационной системы, объединяющей данные о ресурсах и поддерживающей управленческие решения. Ожидаемые эффекты включают сокращение трудозатрат, повышение прозрачности и улучшение координации, что создаёт основу для цифровой трансформации и формирования конкурентного преимущества.

Ключевые слова: система управления конфигурациями, CMS, CMDB, ITIL, системный анализ, строительные организации, учёт рабочего времени, учёт оборудования, цифровизация, конкурентное преимущество, интеграция информационных систем.

Введение

В условиях цифровой трансформации строительной отрасли возрастает необходимость интеграции данных и автоматизации процессов для повышения эффективности и конкурентоспособности компаний. Традиционно на строительных предприятиях многие операции ведутся вручную — например, табельный учёт рабочего времени и инвентаризация оборудования часто осуществляются с помощью бумажных журналов или электронных таблиц. По оценкам отраслевых экспертов, до 80 % времени сотрудников уходит на сбор данных, и лишь 20 % остаётся на анализ и принятие решений; при комплексной цифровизации эта пропорция может измениться на обратную (20 % времени на сбор данных и 80 % — на принятие решений) [1]. Таким образом, цифровые инструменты позволяют руководителям принимать более обоснованные решения, опираясь на оперативные данные, что особенно важно в строительстве с его сложной координацией работ.

Кроме того, использование устаревших методов учёта (например, хранение данных в формате Excel) ведёт к простоям и непроизводительным затратам, достигающим 7–30 % стоимости проекта [1]. На фоне роста конкуренции и требований сокращения сроков строительства предприятия ищут возможности повысить эффективность и прозрачность процессов. Внедрение системы управления конфигурациями (CMS) рассматривается как один из инструментов решения этих проблем.

1. CMS в контексте ITIL

Понятие *система управления конфигурациями* (*Configuration Management System, CMS*) пришло из библиотеки ITIL и широко обсуждается в контексте управления ИТ-инфраструктурой. Согласно определению ITIL, CMS представляет собой набор инструментов, данных и информации, используемых для поддержки процесса управления сервисными активами и конфигурациями [2]. В литературе подчёркивается отличие CMS от более узкого понятия *база данных управления конфигурациями* (*Configuration Management Database, CMDB*). Если CMDB — это база данных для хранения сведений о конфигурационных единицах и их связях, то CMS — это комплексная система, которая может управлять одной или несколькими CMDB и обеспечива-

ет полноту инструментов для ведения данных о конфигурациях [3]. Иными словами, CMDB является ключевым компонентом CMS, тогда как CMS охватывает весь процесс управления конфигурациями, включая связанные сведения об инцидентах, проблемах, изменениях и пр.

В библиотеке ITIL процесс управления конфигурациями (Service Asset and Configuration Management, SACM) относится к стадии Service Transition (Переход услуг) и направлен на обеспечение достоверности информации о компонентах услуг и инфраструктуры. CMS выступает ключевой платформой для данного процесса, агрегируя сведения обо всех конфигурационных единицах (Configuration Items) организации. Таким образом, CMS является частью общей системы управления знаниями (Service Knowledge Management System) и поддерживает не только процесс SACM, но и смежные процессы ITIL, предоставляя актуальные данные всем участникам цепочки создания ценности услуги [2].

2. Специфика строительных объектов

АНО по развитию городской среды «МосводостокСтройТрест» — предприятие, осуществляющее проекты в сфере развития городской инфраструктуры [4]. Особенностью деятельности является территориальная распределённость и открытость некоторых строительных объектов. Работы ведутся на улицах города, стройплощадках без постоянных помещений, зачастую без организованных контрольно-пропускных пунктов (КПП). В отличие от закрытых предприятий, где доступ сотрудников фиксируется электронными системами (СКУД) при входе/выходе, на дорожных ремонтных объектах отсутствует физическая возможность использовать турникеты или карточные считыватели для каждого работника. Это накладывает ограничения на контроль дисциплины: трудно в режиме реального времени отследить фактическое время прибытия и ухода сотрудника. Кроме того, объекты могут быстро «разворачиваться» и «сворачиваться» в новых местах, что требует гибкого учёта техники и персонала.

Штат предприятия включает административный персонал, инженерно-технических работников, а также рабочих строительных специальностей. Значительная часть сотрудников мобильны, перемещаются между объектами. Имеется парк техники и оборудования: строительные машины, инструменты, а также ИТ-оборудование (компьютеры в офисах, оргтехника). Учёт и распределение этого имущества является важной задачей, влияющей на бесперебойность работ. Специфика отрасли диктует повышенные требования к оперативности учёта: простой техники на объекте или отсутствие нужного оборудования может приводить к срыву сроков, а неточные данные о наличии ресурсов — к избыточным закупкам или, напротив, к нехватке материалов и инструмента.

3. Проблематика учёта ресурсов на предприятии

В настоящий момент учёт присутствия сотрудников организован в соответствии с принятой практикой для распределённых строительных площадок, где данные фиксируются непосредственно на объектах и затем передаются для формирования итогового табеля. Такой подход характерен для отрасли, однако при высокой динамике объектов возникает потребность в инструментах, которые позволили бы ускорить обработку информации и обеспечить её консолидацию в едином формате. Современные специализированные решения показывают, что автоматизация помогает снизить трудозатраты и повысить актуальность данных, однако в условиях отсутствия стационарной инфраструктуры на отдельных объектах требуется адаптация под мобильные сценарии работы.

Как и во многих предприятиях отрасли, значительная часть учётных операций по технике и оборудованию ведётся с использованием универсальных офисных инструментов. Это обеспечивает оперативность, но требует дополнительной координации между подразделениями.

Переход к централизованной системе учёта позволил бы сократить трудозатраты, обеспечить единый формат данных и повысить прозрачность распределения ресурсов между объектами. В строительной сфере такой подход становится стандартом, поскольку позволяет быстрее принимать решения о перемещении техники, планировании закупок и обеспечении объектов всем необходимым.

Из вышеперечисленного следует общая проблема: различные части учёта не интегрированы между собой. Каждое подразделение использует свой инструмент и формат данных, обмен сведениями — ручной. В результате отсутствует целостная картина ресурсов предприятия. Невозможно, например, быстро сопоставить данные о выработанных человеко-часах на объекте с задействованной техникой и расходом материалов, чтобы оценить эффективность проекта. Современные тенденции показывают, что интеграция данных — ключ к повышению эффективности: так, в цифровой стройке всё чаще используются платформы, объединяющие разные сервисы (закупки, найм техники, BIM-модели и т.д.) в единое информационное пространство [1]. В нашем случае отсутствие интеграции проявляется в дополнительной нагрузке на сотрудников (ручной перенос данных между системами), в задержках информации и потенциальных ошибках.

Из специфики деятельности вытекают частные проблемы: например, невозможность применять стационарные системы контроля доступа на разрозненных объектах. В результате компания не может использовать типовые электронные пропускные системы для учёта рабочего времени (как отмечалось, требуются мобильные решения). Также на строительных площадках возможны случаи несанкционированного использования техники или сверхурочной работы, которые остаются незамеченными из-за отсутствия онлайн-контроля. Отсутствие своевременной информации о проблемах на объекте (поломка оборудования, отсутствие сотрудников) мешает оперативно принимать меры. Система должна учитывать эти риски: например, позволять прорабам с мобильного устройства сообщать в центральную базу о начале работы, о проблемах, а руководство — видеть сводные данные в режиме реального времени.

Таким образом, анализ текущей ситуации выявил необходимость единой системы, которая:

- а) автоматизирует сбор данных о рабочем времени сотрудников на распределённых объектах;
- б) ведёт непрерывный учёт всего оборудования и техники, включая привязку к местам и ответственным;
- в) обеспечивает интеграцию или обмен данными с бухгалтерией (для основных средств) и кадровой системой (для табелей);
- г) обладает гибкостью для работы в условиях отсутствия постоянной сети на объектах (офлайн ввод с последующей синхронизацией, мобильные точки учёта).

4. Анализ существующих программных решений

Поскольку практическая задача предприятия охватывает учёт персонала, техники и ресурсов, в анализ были включены не только CMS-решения, но также системы классов WFM, ITAM и ITSM, частично перекрывающие необходимый функционал. На предварительном этапе выполнено сравнение программных решений, применимых для автоматизации учёта рабочего времени и инвентаризации оборудования. В рассмотрение вошли отечественные ITSM-платформы и узкоспециализированные системы; обобщённые результаты представлены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что ни одно готовое решение не закрывает сразу все потребности предприятия без адаптации. Полнофункциональные ITSM-системы обладают широчайшим функционалом, но их внедрение для относительно узкой задачи экономически нецелесообразно. Узкопрофильные системы, напротив, решают одну задачу эффективно — например, TARGControl [5] прекрасно справляется с задачей табельного учёта и контроля дисциплины, а

Таблица 1

Сравнение вариантов систем для управления конфигурациями и учёта ресурсов

Функциональность	Преимущества	Недостатки	Стоимость
ITSM-платформы с CMS (пример: Naumen, SimpleOne, BMC)			
Комплексная ITSM-платформа: CMDB, управление инцидентами, изменениями, активами, сервисными процессами; встроенные средства управления конфигурациями.	Единый технологический контур, соответствие ИТIL, высокая масштабируемость и зрелая экосистема. Применимы для крупных предприятий; поддержка большого числа процессов и интеграций.	Избыточность для задач строительной отрасли, высокая стоимость внедрения и сопровождения, необходимость адаптации под отраслевые процессы. Ограниченная доступность зарубежных решений.	Коммерческая модель; значительные начальные вложения, ежегодная техническая поддержка.
Системы табельного учёта (пример: TARGControl, Terrestrial, отечественные WFM-системы)			
Автоматизированный учёт рабочего времени, электронные табели, контроль дисциплины, уведомления, интеграция с 1С, поддержка мобильных отметок и облачных сценариев.	Глубокая специализация, быстрый запуск, высокая устойчивость в эксплуатации, наличие API. Поддержка типовых форм, расширенные инструменты контроля.	Ограничение функциональности задачами табелирования; отсутствие учёта оборудования. Неэффективность классических СКУД для строительных объектов без КПП. Требуется интеграция с другими системами.	SaaS-модель или коробочная версия; возможны бесплатные локальные редакции. Плата за пользователя/месяц.
Системы учёта оборудования (пример: GLPI, Snipe-IT, 1С:Инвентаризация)			
Инвентаризация активов, ведение карточек оборудования, фиксация местоположений и ответственных лиц, история перемещений. Возможность автообнаружения ИТ-активов.	Развитые средства учёта, наличие сообщества поддержки (гибкость настройки). 1С-решения хорошо интегрируются с бухгалтерским учётом.	Фокус на ИТ-активах, строительную технику требуется описывать вручную. Нет механизмов табельного учёта. Необходимость доработок и интеграции с производственными системами.	Open-source — бесплатно; затраты на сервер и поддержку. 1С — лицензии по рабочим местам.
Специализированная CMS (разрабатываемое решение)			
Единая система учёта персонала, оборудования и объектов. Централизованная модель данных, интеграция с кадровыми и бухгалтерскими системами.	Полная адаптация под специфику предприятия, возможность поэтапного внедрения, отсутствие избыточного функционала, консолидация данных в одном пространстве.	Затраты времени и ресурсов на разработку и сопровождение; требования к квалификации команды; необходимость самостоятельного обеспечения безопасности и отказоустойчивости.	Основные расходы — трудозатраты на разработку; использование преимущественно open-source компонентов снижает прямые затраты.

SimpleOne ITAM [6] — с инвентаризацией ИТ-оборудования, — но их придётся интегрировать между собой, что само по себе нетривиально. Тренды рынка ИТ для стройки подтверждают такой вывод: компании всё больше предпочитают модульные решения, способные быстро включаться в существующие процессы и обмениваться данными [1]. Наш выбор пал на разработку специализированной системы, используя сильные стороны имеющихся решений в виде модулей. Это позволит создать единую CMS, чей функционал можно расширять под нужды организации.

5. Концепция прототипа CMS для предприятия строительного профиля

На основе анализа текущего состояния процессов учёта ресурсов и результатов сравнительного анализа программных решений предлагается концептуальный прототип системы управления конфигурациями (CMS), ориентированный на условия деятельности АНО по развитию городской среды «МосводостокСтройТрест». Предполагается, что такая система будет представлять собой интегрированную информационную платформу, объединяющую данные о ключевых ресурсах предприятия и обеспечивающую их целостность, актуальность и доступность для всех заинтересованных подразделений. Основная цель разработки состоит в формировании единых принципов учёта, позволяющих консолидировать информацию, ранее распределённую между несколькими службами, обеспечить оперативное получение сведений о наличии и распределении ресурсов, повысить прозрачность процессов и создать основу для поддержки управленческих решений в ходе реализации проектов.

В рамках данной концепции особое значение приобретает учёт персонала и рабочего времени. Предполагается, что автоматизация регистрации присутствия сотрудников на строительных объектах и формирование таблиц на основе единой логики учёта позволят снизить долю ручного труда, уменьшить количество ошибок и обеспечить более высокую оперативность данных. Не менее важным направлением является учёт оборудования и инвентаризация. Централизованное хранение сведений о состоянии техники, её местонахождении, истории перемещений и операциях выдачи/возврата должно способствовать снижению рисков потерь, повышению дисциплины ответственных лиц и обеспечению согласованности данных между производственными, бухгалтерскими и ИТ-подразделениями. Третьим ключевым элементом концепции является интеграция данных и формирование единого информационного пространства, которое позволит рассматривать CMS как достоверный источник комплексных сведений о ресурсах («single source of truth») [2]. Это создаёт условия для формирования отчётности, проведения анализа использования ресурсов и выявления отклонений, а также для перехода к управлению, основанному на данных.

На концептуальном уровне система опирается на несколько принципов. Предполагается использование единой модели данных, в рамках которой все сведения о ресурсах предприятия описываются в общей структуре, обеспечивающей логическую связность и непротиворечивость. Важным принципом выступает модульность, предполагающая поэтапное развитие функциональности: первоначально может быть реализован учёт оборудования, затем — табельный учёт, а позднее — интеграция CMS с другими подсистемами в рамках расширения цифровой среды предприятия. Система должна быть интегрируемой с уже используемыми бухгалтерскими и кадровыми решениями, не заменяя их, а дополняя, обеспечивая автоматизацию или упрощение обмена данными. Кроме того, концепция учитывает особенности распределённых строительных объектов, на которых отсутствуют стационарные средства контроля и устойчивые каналы связи, что требует гибкости как организационных, так и технологических подходов.

6. Ожидаемые эффекты внедрения CMS

Даже на уровне концептуальной проработки предложенный прототип CMS способен обеспечить предприятию значимые преимущества. Он позволяет перейти от разрозненных механизмов учёта к единой системе данных, повысить прозрачность процессов на всех этапах выполнения работ, улучшить взаимодействие между подразделениями благодаря формированию единого информационного пространства. Ожидается снижение трудозатрат сотрудников, связанных с подготовкой и сверкой отчётности, уменьшение количества ошибок и расхождений между различными источниками данных.

Кроме того, такая система создаёт фундамент для последующего внедрения инструментов аналитики, прогнозирования и других элементов цифровой трансформации, тем самым обеспечивая устойчивое развитие и повышение конкурентоспособности предприятия.

Заключение

Проведённый анализ показал, что для предприятий строительного профиля, работающих на территориально распределённых и открытых объектах, характерен ряд системных проблем, связанных с учётом ресурсов. Табельный учёт рабочего времени и инвентаризация оборудования во многом осуществляются вручную или с использованием разрозненных инструментов, что приводит к дополнительным трудозатратам, задержкам в получении информации и риску возникновения ошибок. Отсутствие интеграции между кадровыми, бухгалтерскими и техническими системами лишает руководство возможности оперативно получать целостную картину использования ресурсов и оценивать эффективность проектов.

Рассмотрение концепции системы управления конфигурациями (CMS) в контексте ИТIL показало, что подход, изначально ориентированный на управление ИТ-инфраструктурой, может быть адаптирован к задачам строительной организации. CMS в этом случае выступает как единое информационное пространство, в котором консолидируются данные о сотрудниках, оборудовании и строительных объектах. Сопоставление готовых ITSM-платформ, специализированных табельных решений и систем инвентаризации продемонстрировало, что ни один из классов программных продуктов не обеспечивает комплексного решения без существенной адаптации и интеграции. Это обосновывает целесообразность разработки специализированного прототипа CMS, ориентированного на отраслевую специфику.

Предложенная концепция прототипа CMS предусматривает объединение учёта рабочего времени, учёта оборудования и интеграционных механизмов в рамках единой модели данных и единого информационного пространства. Ожидается, что реализация такого решения позволит сократить трудозатраты на подготовку отчётности, снизить количество ошибок и расхождений в данных, повысить прозрачность распределения ресурсов между объектами и улучшить координацию между подразделениями. Всё это в совокупности может рассматриваться как фактор формирования конкурентного преимущества предприятия: организация получает возможность быстрее и точнее принимать управленческие решения, эффективнее использовать имеющиеся ресурсы и демонстрировать заказчикам более высокий уровень управляемости и цифровой зрелости.

Следующим этапом развития представленных результатов является детальная проработка технической архитектуры прототипа CMS, выбор конкретных программных платформ и интерфейсов интеграции с существующими системами, а также проведение пилотного внедрения на одном или нескольких подразделениях. Полученные в ходе пилотной эксплуатации количественные оценки экономического и организационного эффекта послужат основой для последующего совершенствования решения и подготовки рекомендаций по его масштабированию на другие подразделения и предприятия строительной отрасли.

Литература

1. CMS и цифровая трансформация в строительстве // ARDexpert : [сайт]. – URL: <https://ardexpert.ru/article/26403> (дата обращения: 21.10.2025).
2. Словарь терминов и определений ITIL : на русском языке. Версия 2.0. – [Б. м.] : Crown, 2011. – 1 электрон. файл (PDF). – URL: <https://itsmforum.ru/upload/medialibrary/937/937554807eac2bc6ce4b3b5bbeedb840.pdf> (дата обращения: 21.10.2025).
3. Чем отличается CMS от CMDB в контексте ITIL // Cleverics : [сайт]. – URL: <https://cleverics.ru/digital/kb-qa/chem-otlichaetsya-cms-ot-cmdb-v-kontekste-til/> (дата обращения: 30.10.2025).
4. АНО по развитию городской среды «МосводостокСтройТрест» // АНО «МВС СТ» : [сайт]. – URL: <https://mvsst.ru/> (дата обращения: 15.09.2025).
5. Система табельного учёта и контроля доступа TARGControl // TARGControl : [сайт]. – URL: <https://targcontrol.com/> (дата обращения: 15.09.2025).
6. SimpleOne ITAM: управление ИТ-активами // SimpleOne : [сайт]. – URL: <https://simpleone.ru/itam> (дата обращения: 15.09.2025).

ЛЕГИТИМИЗАЦИЯ ОБРАТНЫХ ПЕРЕХОДОВ КАК МЕХАНИЗМ ПРОФИЛАКТИКИ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ВЫГОРАНИЯ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ТВОРЧЕСКИМИ ПРОЕКТАМИ

Р. С. Толмасов

МИРЭА – Российский технологический университет

Аннотация. Управление проектами в творческой сфере имеет ряд специфических особенностей, часто выходящих за рамки классической теории управления. Признано, что творческие процессы плохо поддаются планированию и нормированию, так как часто носят нелинейный, а иногда и непоследовательный характер. Тем не менее, в корпоративной медиа-сфере творческие процессы стремятся загнать в рамки существующих методологий, рассчитанных для решения более технических задач, несмотря на применение гибких методологий (Agile, Scrum, Kanban). В рамках данной статьи предлагается модификация распространённых практик управления творческими проектами путем признания допустимости отката работы на предыдущие стадии, которые в классическом подходе считаются ошибкой. Легитимизация подобного механизма снижает давление на автора, что в краткосрочной перспективе уменьшит страх «чистого листа», а в долгосрочной — риск профессионального выгорания. Предлагаемый подход применим к управлению проектами в области контент-производства, дизайна, разработки программного обеспечения и других сферах, где творческая составляющая критична для результата.

Ключевые слова: управление творческими проектами, профессиональное выгорание, обратные переходы, Kanban, Agile, легитимизация, медиа-контент.

Введение

В настоящее время огромное внимание уделяется внедрению интеллектуальных технологий в различные сферы деятельности человека, включая творческие. С коммерческой и корпоративной точки зрения это стремление оправданно и понятно, но потребность в творчестве у человека так или иначе остаётся. Современный автор испытывает сильное давление на каждом этапе творческого процесса: от генерации идей до публикации. Активная автоматизация и применение интеллектуальных технологий приводят к сокращению циклов производства контента, увеличение количества источников контента требует большого количества разных версий материалов, освещающих одно и то же событие. Всё это негативно сказывается как на качестве контента, так и на психологическом состоянии авторов, попавших в конкурентную борьбу. Проблема постоянного напряжения приводит к быстрому профессиональному выгоранию и пренебрежению к выполняемой работе.

Согласно опросу коммуникационного агентства LAMPA и сервиса онлайн-психотерапии Zigmund.Online, проведённому в 2022 г., среди 150 специалистов креативной индустрии, эмоциональное выгорание испытывают 49,2 % респондентов, причём сотрудники СМИ особенно подвержены этому синдрому (53 %). Основными причинами выгорания называются обесценивание усилий со стороны руководства (47,5 %) и переработки (45,8 %) [1]. Другие исследования наряду с организационными проблемами и переработками отмечают важность проявления креативности и решения нестандартных задач [2, 3]. Обучающая литература для молодых авторов подчёркивает важность борьбы со страхом чистого листа и способность организации нелинейного творческого процесса, чтобы сохранить интерес к профессии [4, 5].

Существующие методологии управления проектами (Agile, Scrum, Kanban) [6, 7] предполагают итеративность, однако на практике возврат к предыдущим стадиям часто воспринимается

ется как неэффективность или ошибка планирования, что создаёт психологическое давление на исполнителей. Таким образом, необходима разработка систем управления творческими проектами, которые признают естественную нелинейность творческого процесса. Одним из ключевых элементов таких систем является легализация обратных переходов — допустимого возврата к предыдущим стадиям проекта не как признака ошибки, а как осознанного управленческого решения для повышения качества результата.

Цель данной статьи — предложить механизм обратного перехода для систем управления творческими проектами, который позволит снизить психологическое давление на исполнителя, повысить степень удовлетворённости полученным результатом, при сохранении результативности.

Статья основана на анализе существующих практик управления творческими проектами и результатах пилотного применения модифицированной системы с участием авторов медиаконтента.

1. Описание общих элементов систем управления творческими проектами

Проанализировав основные инструменты и методологии, применяемые различными авторами, как одиночными, так и сотрудниками корпоративных медиа центров, выявлено, что большинство использует в своих проектах Kanban доски, количество столбцов в которых могло отличаться в зависимости от нужд конкретного автора.

Однако, независимо от конкретных настроек досок, ключевые сущности сведены к трем основным типам, что в целом подтверждают и научные источники, и руководства по писательскому мастерству. Выделенные сущности представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные стадии процесса в современных системах управления творческим процессом

Стадия	Характеристика	Артефакт
Идея	Спонтанность, неконтролируемая изменчивость, недолговечность без фиксации, произвольная форма	Зафиксированная в любой удобной форме мысль или образ, который впоследствии можно развить в готовый материал. Отличается отсутствием или минимальной обработкой
Черновик	Контролируемые автором изменения, допускаются неточности и ошибки, осознанное творчество	Идея в процессе обработки, представляет собой изменяющуюся форму, под воздействием различных инструментов и методов
Готовый материал	Неизменность, завершенность	Законченный черновик, дальнейшее изменение которого, с точки зрения автора, не требуется

В современных системах управления допустимо только прямое движение от стадии к стадии. Откат на предыдущие стадии считается нежелательным и интерпретируется как ошибка.

Эти стадии и действия свойственны большинству современных методологий управления. Встречаются и дополнительные действия, например, в некоторых методологиях существует понятие бэклог. Оно представляет собой список идей, который в настоящий момент не используется и который необходимо пересматривать периодически исключая лишние идеи.

Игнорирование права на ошибку как части творческого процесса и игнорируя неопределённость, нелинейность творческого процесса, а также попытка установки жестких сроков на начальные стадии — приводит к психологическому давлению на автора.

Таким образом, необходимо дополнить существующие системы такими стадиями и действиями, которые легитимизируют ошибки, признав их необходимой частью творческого процесса, но при этом не позволят автору попасть в цикл бесконечных исправлений и совершенствований.

2. Описание предлагаемого механизма обратного перехода

Легитимизация права на ошибку заключается в разрешении обратного перехода из любой стадии на любую предыдущую с соответствующими изменениями объекта. То есть при переносе из «Черновик» в «Идея» — отбрасывается конкретная реализация.

Введение возможности обратного движения дает риск попадания в цикл бесконечных пустых перемещений. Поэтому необходимо введение метрик, мотивирующих прямое движение. Например, введение понятия «значимый переход».

Под значимым переходом понимается прямой переход из стадии к стадии, но только один раз для одного объекта. Вернув его на стадию назад и снова продвинув его на следующую стадию переход не будет засчитан значимым. Но если объект попадает в новое состояние – переход значим.

Критерии соответствия объекта конкретной стадии субъективны, что обусловлено особенностями творческой деятельности. Каждый автор сам определяет зрелость объекта на творческой стадии, однако для технической стадии существуют сложившиеся обязательные критерии, направленные на снижение количества ошибок и структурных проблем, но принятие решения остается за автором.

Изменения объекта, которые необходимо выполнить при обратном переходе, зависят от начальной и конечной стадии. Возможные варианты сведены в табл. 2.

Таблица 2

Варианты обратного перехода объекта в системе управления творческим проектом

Начальная фаза	Конечная фаза	Изменение	Пример
Готовый материал	Черновик	Отбрасывается часть реализации	Готовый материал, но не опубликованный, в полной мере не соответствует поставленной задаче и требует внесения правок. Аналогичная ситуация происходит при согласованиях, но в рамках творчества обстоятельства могут резко измениться.
Готовый материал	Идея	Отбрасывается вся реализация	Готовый материал потерял актуальность, при сохранении ценности идеи. Требуется переосмысление с учётом новых обстоятельств
Черновик	Идея	Отбрасывается текущая версия реализации, полностью или частично	Черновик проще написать заново, чем подогнать под нужный результат

3. Описание проведения ограниченного тестирования механизма

Проверка предложенного механизма обратных переходов проводилась в рамках дизайн-исследования с участием трёх добровольцев, связанных с производством медиа-контента. У всех трёх участников ярко проявлялась боязнь чистого листа. Учитывая малое количество участников, цели пилотного тестирования сформулированы следующим образом:

1. Оценить изменения субъективных ощущений участников (уровень стресса, удовлетворённость результатом).

2. Выявить наиболее критичные недостатки предлагаемого механизма.

3. Определить стратегию проведения масштабного исследования.

Учитывая различия в графиках работы творческих специалистов, было решено провести асинхронное тестирование продолжительностью 21 календарный день с ведением участниками дневников наблюдений. Участники получили инструкции по использованию модифицированной Kanban-доски с возможностью обратных переходов и фиксировали в дневниках случаи использования механизма, причины возврата к предыдущим стадиям и изменения в психологическом состоянии.

В результате тестирования получено:

Все три участника (100 %) отметили снижение страха «чистого листа» и общего психологического давления. Легитимизация обратных переходов создавала ощущение психологической безопасности даже в случаях, когда механизм не использовался активно.

Но в ходе тестирования обнаружено значимое негативное влияние механизма на соблюдение сроков. Два из трёх участников (67 %) злоупотребляли возможностью обратных переходов, что приводило к затягиванию сроков реализации проектов. Участники сообщали о трудностях с принятием решения о финализации материала, откладывая завершение работы в ожидании «идеального» момента.

Таким образом, на основе результатов пилотного тестирования можно сделать следующие выводы:

1. Есть основания предполагать, что механизм эффективен для снижения психологического стресса, но окончательно подтвердить или опровергнуть эту гипотезу можно только после тестирования на большем числе участников.

2. Требуется строгая формализация концепции «значимого перехода» для предотвращения злоупотреблений и возникновения закольцовывания.

3. Необходимы компенсирующие механизмы для удержания проектов в разумных временных рамках (например, ограничение количества обратных переходов, введение фазы «охлаждения»).

4. Подтверждена целесообразность асинхронного формата тестирования для дальнейших исследований на большей выборке.

Результаты пилотного тестирования подтверждают перспективность предложенного подхода и одновременно указывают на необходимость его доработки перед масштабным внедрением.

Заключение

В статье предложен и протестирован механизм легитимизации обратных переходов между стадиями творческого проекта, как средство профилактики профессионального выгорания.

Пилотное тестирование с участием трёх авторов медиа-контента показало снижение психологического стресса у всех участников. Основной эффект связан с созданием ощущения психологической безопасности: возможность легитимного возврата к предыдущим стадиям снижает страх «чистого листа» и давление дедлайнов. Однако, два из трёх участников затягивали сроки из-за трудности принятия решения о финализации. Это указывает на необходимость разработки дополнительных механизмов баланса между свободой и ответственностью.

Предложенный подход может быть интегрирован в существующие методологии (Kanban, Scrum, Agile) и применен к контент-производству, дизайну и другим творческим областям.

Дальнейшие исследования направлены на: масштабное тестирование с большей выборкой (30–50 участников, 2–3 месяца), разработку системы метрик для предотвращения злоупотреблений, продолжительное изучение влияния на выгорание.

Литература

1. Психологи выяснили, от чего выгорают журналисты и пиарщики // Газета.Ru. 16.07.2022. URL: <https://www.gazeta.ru/style/news/2022/07/16/18138776.shtml> (дата обращения: 16.11.2025).
2. *Эйгелис Г. В., Иванова В. О.* Синдром профессионального выгорания и его профилактика у представителей социономических профессий // Актуальные проблемы экономики и менеджмента. – 2014. – № 1. – С. 90–95.
3. *Мишина М. М., Воробьева К. А.* Эмоциональное выгорание педагогов в условиях модернизации образовательной среды // Научное обеспечение системы повышения квалификации кадров. – 2020. – № 3 (44). – С. 42–54.
4. *Пельтек Е.* Пишите–не пишите: Психологическое руководство для авторов по работе с текстом и собой. – Альпина Пабlishер, 2023.
5. *Ягер Д. Ж.* Писателями не рождаются. – 2012.
6. *Schwaber K., Sutherland J.* Le Guide Scrum. – 2020.
7. *Anderson D. J.* Kanban: successful evolutionary change for your technology business. – Blue hole press, 2010.