

ТОЧНАЯ НАУКА

естественнонаучный журнал

LXXIX Международная научная конференция
"Техноконгресс"

**Сборник статей
международной
естественнонаучной
конференции
с публикацией в НЭБ elibrary.ru**

t-nauka.ru



Кемерово 2026

СБОРНИК СТАТЕЙ СЕМЬДЕСЯТ ДЕВЯТОЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ТЕХНОКОНГРЕСС»

12 января 2026 г.

ББК Ч 214(2Рос-4Ке)73я431

ISBN 978-5-6040934-2-9

Кемерово УДК 378.001. Сборник статей студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава. По результатам LXXIX Международной научной конференции «Техноконгресс», 12 января 2026 г. www.idpluton.ru / Редкол.:

Никитин Павел Игоревич - главный редактор, ответственный за выпуск журнала

Баянов Игорь Вадимович - математик, специалист по построению информационно-аналитических систем, ответственный за первичную модерацию, редактирование и рецензирование статей

Артемасов Валерий Валерьевич - кандидат технических наук, ответственный за финальную модерацию и рецензирование статей

Зими́на Мария Игоревна - кандидат технических наук, ответственный за финальную модерацию и рецензирование статей

Нормирзаев Абдукаюм Рахимбердиеви - кандидат технических наук, Наманганский инженерно-строительный институт (НамМПИ)

Безуглов Александр Михайлович - доктор технических наук, профессор кафедры математики и математического моделирования, Южно-российский государственный политехнический университет (Новочеркасский политехнический институт) им. М.И. Платова,

Наджарян Микаел Товмасович - кандидат технических наук, доцент, Национальный политехнический университет Армении

Шушлебин Игорь Михайлович - кандидат физико-математических наук, кафедра физики твёрдого тела Воронежского государственного технического университета

Равшанов Дилшод Чоршанбиевич - кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Технология, машины и оборудования полиграфического производства», Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими

Крутякова Маргарита Викторовна – доцент, кандидат технических наук, Московский политехнический университет

Гладков Роман Викторович - кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации вооружения и военной техники Рязанского гвардейского высшего воздушно-десантного командного училища

Моногаров Сергей Иванович - кандидат технических наук доцент Армавирского механико-технологического института (филиал) ФГОУ ВО КубГТУ

Шевченко Сергей Николаевич - кандидат технических наук, доцент кафедры СЭУ, Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота РФ

Отакулов Салим - Доктор физико-математических наук, профессор кафедры высшей математики Джизакского политехнического института

А.О. Сергеева (ответственный администратор)[и др.];

Кемерово 2026

В сборнике представлены материалы докладов по результатам научной конференции.

Цель – привлечение студентов к научной деятельности, формирование навыков выполнения научно-исследовательских работ, развитие инициативы в учебе и будущей деятельности в условиях рыночной экономики.

Для студентов, молодых ученых и преподавателей вузов.

Издательский дом «Плутон» www.idpluton.ru e-mail: admin@idpluton.ru

Подписано в печать 12.01.2026 г. Формат 14,8×21 1/4. | Усл. печ. л. 3.2. | Тираж 300.

Все статьи проходят рецензирование (экспертную оценку).

Точка зрения редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов публикуемых статей.

Авторы статей несут полную ответственность за содержание статей и за сам факт их публикации.

Редакция не несет ответственности перед авторами и/или третьими лицами и организациями за возможный ущерб, вызванный публикацией статьи.

При использовании и заимствовании материалов ссылка обязательна.

Оглавление

1. МЕТОДОЛОГИЯ WALK-FORWARD ВАЛИДАЦИИ ДЛЯ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРОГНОЗНЫХ МОДЕЛЕЙ НА ФИНАНСОВЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДАХ.....3
Решетников С.Е.
2. СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО АВТОБУСНОГО ПАРКА КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ.....9
Шилов М.А., Смирнов К.А.
3. АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА ПЕРЕКРЕСТКАХ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНА ГОРОДА МОСКВЫ.....13
Заводов М.Д., Киселев Е.С.
4. АНАЛИЗ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОЛНОВОДНОГО ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА В ПЛОСКОСТИ Е НА ОСНОВЕ МЕТОДА СОХРАНЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ МОЩНОСТИ.21
Лю Чжидо, Крутиев С.В.

Решетников Сергей Евгеньевич**Reshetnikov Sergei Evgenievich**

Магистрант

Забайкальский государственный университет

УДК 336.76

МЕТОДОЛОГИЯ WALK-FORWARD ВАЛИДАЦИИ ДЛЯ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ПРОГНОЗНЫХ МОДЕЛЕЙ НА ФИНАНСОВЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДАХ**WALK-FORWARD VALIDATION METHODOLOGY FOR COMPARATIVE ANALYSIS OF FORECASTING MODELS ON FINANCIAL TIME SERIES**

Аннотация. В статье предлагается методологический протокол walk-forward валидации (скользящего тестирования) для сравнительного анализа прогнозных моделей на финансовых временных рядах. Протокол включает формальное описание схемы скользящего окна, правила контроля утечки данных (data leakage) и рекомендации по выбору параметров валидации. На примере сравнения классических эконометрических моделей (ARIMA, GARCH) и алгоритмов машинного обучения (LSTM, Random Forest) показано, как применение протокола обеспечивает воспроизводимость, реалистичность оценки и статистическую достоверность результатов. Представлены практические рекомендации по интеграции протокола в исследовательские и производственные пайплайны финансового моделирования.

Abstract. The article proposes a walk-forward validation (rolling window testing) methodology for comparative analysis of forecasting models on financial time series. The protocol includes a formal description of the sliding window scheme, rules for controlling data leakage, and recommendations for selecting validation parameters. Using the example of comparing classical econometric models (ARIMA, GARCH) and machine learning algorithms (LSTM, Random Forest), it is shown how the application of the protocol ensures reproducibility, realistic assessment and statistical reliability of results. Practical recommendations for integrating the protocol into research and production pipelines of financial modeling are presented.

Ключевые слова: временные ряды; валидация, walk-forward; скользящее окно; утечка данных; сравнительный анализ; финансовое моделирование; воспроизводимость.

Keywords: time series; validation; walk-forward; sliding window; data leakage; comparative analysis; financial modeling; reproducibility.

Введение

Сравнительный анализ прогнозных моделей на финансовых временных рядах представляет собой сложную методологическую задачу, где достоверность результатов напрямую зависит от корректности выбранной схемы валидации. Традиционные подходы, такие как одноразовое разбиение на обучающую и тестовую выборки или кросс-валидация без учёта временного порядка, часто приводят к оптимистическим оценкам качества моделей из-за утечки данных (data leakage) и нарушения предположения о независимости наблюдений. В условиях финансовых рынков, где временная структура и нестационарность данных являются ключевыми характеристиками, некорректная валидация может привести к принятию ошибочных решений при внедрении моделей в практику управления рисками и инвестициями.

Walk-forward валидация (скользящее тестирование) рассматривается как "золотой стандарт" для оценки прогнозных моделей на временных рядах, поскольку она максимально приближена к реальному процессу последовательного прогнозирования. Однако в научной литературе отсутствует единый формализованный протокол применения этого метода, учитывающий особенности финансовых данных: нестационарность, кластеризацию волатильности, наличие структурных сдвигов и необходимость строгого контроля утечек данных на всех этапах предобработки.

Цель настоящего исследования — разработать и представить детальный методологический

протокол walk-forward валидации, ориентированный на сравнительный анализ прогнозных моделей на финансовых временных рядах. Протокол включает: (1) формальное описание алгоритма скользящего окна с математическими обозначениями; (2) правила контроля утечек данных при предобработке и создании признаков; (3) рекомендации по выбору параметров валидации; (4) методику агрегации и статистической оценки результатов.

Научная новизна работы заключается в систематизации и формализации подхода walk-forward валидации применительно к задачам финансового моделирования, с акцентом на обеспечение воспроизводимости и достоверности сравнительных исследований.

1. Обзор методов валидации временных рядов

1.1. Традиционные подходы и их ограничения

Классические методы валидации, разработанные для задач машинного обучения с независимыми наблюдениями, оказываются неприменимыми или субоптимальными для временных рядов:

1. **Одноразовое разбиение (hold-out):** Разделение данных на фиксированные обучающую (70-80%) и тестовую (20-30%) выборки. Основной недостаток - оценка производится на единственном временном отрезке, что не отражает устойчивость модели к изменяющимся рыночным условиям.

2. **K-fold кросс-валидация:** Данные случайным образом разбиваются на K блоков, каждый из которых по очереди используется в качестве тестовой выборки. Для временных рядов этот метод неприменим, поскольку нарушает временной порядок и приводит к утечке информации из будущего в прошлое.

3. **Временная кросс-валидация (time series cross-validation):** Модификация K-fold, где разделение происходит с учётом временного порядка. Однако при случайном выборе точек разделения может происходить "заглядывание в будущее" при создании признаков и нормализации.

1.2. Walk-forward валидация как альтернатива

Walk-forward валидация (также известная как rolling-origin evaluation, rolling window validation) предполагает последовательное смещение окна данных, где на каждом шаге модель обучается на исторических данных и тестируется на следующем временном отрезке, после чего окно сдвигается вперёд.

Преимущества подхода:

- **Реалистичность:** Имитирует реальный процесс прогнозирования.
- **Оценка устойчивости:** Позволяет оценить производительность модели в различных рыночных режимах.
- **Контроль утечек:** Естественным образом предотвращает попадание информации из будущего в обучение.

Таблица 1. Сравнение методов валидации для временных рядов

| Метод | Сохранение временного порядка | Контроль утечек данных | Оценка устойчивости | Вычислительная сложность |
|----------------|-------------------------------|------------------------|---------------------|--------------------------|
| Hold - out | Частично | Низкий | Низкая | Низкая |
| K – fold CV | Нет | Очень низкий | Средняя | Средняя |
| Time series CV | Да | Средний | Средняя | Средняя |
| Walk-forward | Да | Высокий | Высокая | Высокая |

2. Методологический протокол walk-forward валидации

2.1. Формальное описание алгоритма

Пусть имеется временной ряд:

$$\{Y_t\}_{t=1}^T,$$

Существует последовательность значений $\{y_1, y_2, \dots, y_T\}$ зависимых от индекса времени t , начиная с момента $t=1$ и заканчивая моментом $t=T$.

Walk-forward валидация определяется параметрами:

- W_{train} : Размер обучающего окна.
- W_{val} : Размер валидационного окна.
- W_{test} : Размер тестового окна.

- s – Шаг сдвига окна.

Алгоритм состоит из последовательных шагов:

Определение количества полных окон (K) по формуле:

$$K = \lfloor T - (W_{train} + W_{val} + W_{test})/s \rfloor + 1,$$

Для каждого шага k , окна разделяются следующим образом:

- Обучение: $Train_k = [t_k, t_k + W_{train} - 1]$
- Валидация: $Val_k = [t_k + W_{train}, t_k + W_{train} + W_{val} - 1]$
- Тестирование: $Test_k = [t_k + W_{train} + W_{val}, t_k + W_{train} + W_{val} + W_{test} - 1]$

Где начальная точка первого окна задаётся как $t_1 = 1$.

Каждый следующий интервал сдвигается на величину s :

$$t_{k+1} = t_k + s,$$

2.2. Контроль утечек данных (Data Leakage Prevention)

Контроль утечки данных является ключевым требованием walk-forward подхода. Важно убедиться, что модель обучается только на тех данных, которые были бы доступны на соответствующий исторический момент.

Правило 1: Нормализация данных

Перед началом моделирования важно нормализовать данные. Все нормализации выполняются только на основе обучающих данных текущего окна:

$$x_k^{(norm)} = \frac{x - \mu_{train}(k)}{\sigma_{train}(k)},$$

где:

$\mu_{train}(k)$ - среднее значение признака в окне $Train_k$,

$\sigma_{train}(k)$ - стандартное отклонение признака в окне $Train_k$.

Правило 2: Генерация новых признаков

При создании новых признаков (лаговых значений, скользящих средних и др.) расчёт должен проводиться исключительно внутри обучающего окна:

- Лаговый признак: $L_k = y_{t-1}$
- Скользящее среднее: $MA_t(m) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Y_{t-i}$, где m – окно усреднения.

Параметры для расчета скользящей средней также выбираются только на обучающем множестве.

Правило 3: Применение модели на валидационных и тестовых данных

Все предсказания на валидационной и тестовой выборках строятся исключительно с использованием нормализаций и параметров, полученных на обучающей выборке. Никаких повторных расчётов на валидационных или тестовых данных не производится.

Таким образом, протокол walk-forward обеспечивает строгий контроль над временем обработки данных и минимизирует риск утечки будущих данных в процесс обучения и тестирования модели.

3. Пример применения протокола на финансовых данных

3.1. Экспериментальная установка

Для демонстрации работы протокола использованы исторические данные ETF SPY (прокси индекса S&P 500) за период 2015–2024 гг. (~2500 торговых дней). Исходные цены преобразованы в логарифмические доходности: $r_t = \ln(P_t) - \ln(P_{t-1})$.

где:

P_t – цена актива в момент времени t .

P_{t-1} – цена актива в предыдущий момент времени ($t-1$).

Функция $\ln(x)$ означает натуральный логарифм числа x .

Сравниваемые модели:

1. ARIMA(p,d,q) — эконометрическая модель для прогноза доходности.
2. GARCH(1,1) с t -распределением — модель условной волатильности.
3. LSTM — рекуррентная нейросеть для прогнозирования последовательностей.
4. Random Forest — ансамбль деревьев для классификации направления движения.

Параметры walk-forward:

1. $W_{train} = 800$ дней
2. $W_{val} = 200$ дней
3. $W_{test} = 200$ дней

4. $s = 60$ дней
5. $K = 22$ независимых тестовых прогона

3.2. Реализация контроля утечек и агрегация результатов

Нормализация и создание признаков выполнялись отдельно для каждого окна k по данным $Train_k$. Гиперпараметры моделей подбирались на Val_k , но оценивались на $Test_k$. Для каждой модели вычислялись специализированные метрики (MSE, QLIKE, Accurasy и др.). Итоговые оценки получены усреднением метрик по всем $K = 22$ окнам.

3.3 Сравнение с альтернативными подходами валидации.

Для количественного сравнения проведён дополнительный эксперимент: те же модели оценены с использованием:

- Метод А: Одноразовое разбиение 70%/30%.
- Метод В: Walk-forward без контроля утечек (нормализация по всему ряду).
- Метод С: Предлагаемый протокол (walk-forward + контроль утечек).

Таблица 2. Сравнение методов валидации на примере прогноза доходности (средний R^2)

| Модель | Метод А | Метод В | Метод С(протокол) |
|--------|---------|---------|-------------------|
| ARIMA | 0.03 | 0.02 | ≈ 0.00 |
| LSTM | 0.05 | 0.04 | ≈ 0.00 |

Выводы:

1. Метод А даёт излишне оптимистичные оценки.
2. Метод В частично решает проблему, но утечки при предобработке сохраняются.
3. Только полный протокол (Метод С) обеспечивает реалистичные и воспроизводимые результаты.

5. Практические рекомендации

1. Выбор параметров окна:
 - W_{train} должен быть достаточно большим для обучения (обычно 2-4 года дневных данных).
 - W_{test} должен отражать бизнес-цикл или типичный горизонт прогноза (например, 3-12 месяцев).
 - Шаг s можно установить равным W_{test} для непересекающихся окон или меньшим для более частой переоценки.
2. Интеграция в ML-пайплайн:
 - Создайте функцию, которая инкапсулирует логику walk-forward разделения и контроля утечек.
 - Используйте классы трансформеров (например, из scikit-learn), сохраняющие состояние для корректного применения к новым данным.
3. Оценка и представление результатов:
 - Всегда представляйте средние метрики по всем окнам и их вариацию (например, стандартное отклонение).
 - Используйте статистические тесты (Diebold-Mariano) для сравнения моделей, применяя поправку на множественное тестирование.

5. Экономическая интерпретация результатов.

Полученные методологические результаты и выводы эксперимента имеют непосредственное значение для различных участников финансового рынка и могут быть интерпретированы в контексте решения прикладных экономических задач.

5.1. Управление рисками и капиталом

Результаты, демонстрирующие высокую эффективность моделей класса GARCH для прогнозирования волатильности, напрямую применимы в задачах риск-менеджмента. Динамические оценки условной дисперсии, получаемые с помощью walk-forward протокола, позволяют:

- Расчёт адекватного Value at Risk (VaR): Использование GARCH-прогнозов волатильности, в отличие от статических исторических оценок, позволяет точнее оценивать потенциальные убытки портфеля, особенно в периоды рыночной турбулентности. Это способствует оптимизации резервирования капитала под рыночные риски в соответствии с регуляторными требованиями (например, Базель III).

- Динамическое хеджирование: Прогнозы волатильности могут служить основой для корректировки стратегий хеджирования. Увеличение прогнозируемой волатильности является сигналом для усиления хеджа или сокращения рискованных позиций.

- Определение кредитных лимитов и маржи: Для кредиторов и клиринговых организаций точная оценка волатильности активов — ключевой фактор при установлении размеров обеспечительного взноса (маржи) и лимитов на операции

5.2. Инвестиционный анализ и принятие решений

Вывод о низкой предсказуемости однодневной доходности на развитых рынках имеет важное информационно-ограничительное значение для инвесторов и аналитиков:

- Реалистичность ожиданий: Результаты предостерегают от избыточного доверия к краткосрочным прогнозам цен, полученным исключительно на исторических данных, и смещают фокус на анализ долгосрочных фундаментальных факторов, диверсификацию и контроль издержек.

- Использование в качестве бенчмарка: Простая модель ARIMA (или даже константный прогноз) может и должна использоваться как обязательный базовый уровень (baseline). Любая более сложная или дорогостоящая модель (включая нейросети) должна демонстрировать статистически значимое и экономически ощутимое превосходство над этим бенчмарком, чтобы оправдать своё внедрение

- Интерпретация сигналов ML-моделей: Вероятностные выходы таких моделей, как Random Forest, даже при невысокой точности классификации, могут служить дополнительным фильтром или индикатором неопределенности. Например, период, когда модель последовательно выдаёт вероятности, близкие к 50%, может интерпретироваться как фаза повышенной непредсказуемости рынка, требующая консервативной стратегии.

5.3. Разработка и тестирование торговых стратегий

Предложенный методологический протокол является инструментом **обеспечения надежности** при создании алгоритмических и количественных стратегий.

- Валидация стратегий: Walk-forward тестирование имитирует реальное развёртывание стратегии во времени, что позволяет оценить её устойчивость к разным рыночным режимам (бычий тренд, боковое движение, кризис) и избежать переобучения на исторических данных.

- Сравнение и выбор моделей: Для quant-разработчиков протокол предоставляет чёткую и воспроизводимую процедуру для выбора лучшей прогнозной модели или их ансамбля под конкретную задачу (прогноз тренда, волатильности, корреляции), что напрямую влияет на потенциальную доходность и стабильность стратегии.

5.4. Макропруденциальный надзор и стабильность рынка

На макроуровне достоверные методики оценки рисков, подобные предложенной, способствуют **повышению устойчивости финансовой системы**.

- Стресс-тестирование: Регуляторы и системно значимые финансовые институты могут использовать строгие протоколы валидации для более реалистичного стресс-тестирования портфелей, учитывая кластеризацию волатильности и "тяжёлые хвосты".

- Оценка системного риска: Моделирование и прогнозирование волатильности широких рыночных индексов (как SPY в данном исследовании) является важным компонентом для оценки уровня системного риска в экономике.

Таким образом, разработанная методология выходит за рамки чисто технического сравнения алгоритмов. Она предоставляет **экономическому агенту** — будь то риск-менеджер, инвестор, quant-разработчик или регулятор — структурированный и достоверный инструмент для принятия обоснованных решений в условиях неопределённости финансовых рынков.

Заключение

Предложенный методологический протокол walk-forward валидации предоставляет исследователям и практикам структурированный подход к сравнительному анализу прогнозных моделей на финансовых временных рядах. Ключевыми преимуществами протокола являются обеспечение воспроизводимости результатов, реалистичность оценки за счёт имитации реального процесса прогнозирования и строгий контроль утечек данных на всех этапах. Применение протокола на примере сравнения классических и машинных моделей продемонстрировало его эффективность для получения статистически достоверных выводов. Дальнейшее развитие методологии может быть связано с автоматизацией выбора оптимальных параметров валидации и интеграцией протокола в облачные платформы для анализа данных.

Библиографический список:

1. Нэвэла А. Ю., Лапшин В. А. Модельный риск и подходы к его количественной оценке на примере моделей рыночного риска // Финансовая аналитика: проблемы и решения. — 2022.
2. Hyndman R.J., Athanasopoulos G. Forecasting: principles and practice. 3rd ed. 2021.
3. Refaelizadeh P. et al. Cross-Validation // Encyclopedia of Database Systems. 2016.
4. Артамонов Н.В., Ивин Е.А., Курбацкий А.Н., Фантаццини Д. Введение в анализ временных рядов: учеб. пособие. — Вологда: ВолНИЦ РАН, 2021.
5. Бокс Дж., Дженкинс Г., Рейнсел Г. Анализ временных рядов: прогноз и управление. — Москва: Мир, 1974.
6. Болдырев А.С., Мищенко А.В. Методы прогнозирования временных рядов в экономике и финансах. — Москва: ИНФРА-М, 2019.
7. Вапник В.Н. Восстановление зависимостей по эмпирическим данным. — Москва: Наука, 1979.
8. Воронцов К.В. Лекции по алгоритмам восстановления регрессии. — Москва: МАКС Пресс, 2018.
9. Грабовецкий В.В. Моделирование и прогнозирование финансовых временных рядов с использованием ARCH/GARCH моделей // Финансы и кредит. — 2018. — № 12.
10. Доугерти К. Введение в эконометрику. — Москва: ИНФРА-М, 2020.
11. Катышев П.К., Пересецкий А.А. Эконометрика. Начальный курс. — Москва: Дело, 2021.
12. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов. — Москва: Финансы и статистика, 2003.
13. Мамонов М.Е., Соловьева Ю.В. Машинное обучение в финансах: от теории к практике. — СПб.: Питер, 2022.
14. Пересецкий А.А., Маневич В.А., Погорелова П.В., Аганин А.Д. Сравнение моделей прогнозирования волатильности криптовалют и фондового рынка // Экономический журнал ВШЭ. — 2023.
15. Решетников С.Е. Анализ моделей, используемых в задачах прогнозирования фондового рынка // [Научный электронный журнал «Инновации. Наука. Образование». 2025 // Отв. ред. Сафронов А.И. — Тольятти: — 2025.— № 128 (декабрь).— 288 с.— URL: <http://innovjourn.ru>.

Шилов Максим Алексеевич
Shilov Maxim Alekseevich

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

Смирнов Константин Алексеевич
Smirnov Konstantin Alekseevich

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича

УДК 656.132

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО АВТОБУСНОГО ПАРКА КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

STRUCTURAL AND FUNCTIONAL ANALYSIS OF A MODERN BUS FLEET AS AN AUTOMATION OBJECT

Аннотация. В статье проводится структурно-функциональный анализ современного автобусного парка как сложной организационно-технической системы. Выделены и описаны шесть ключевых взаимосвязанных подсистем: транспортные средства, технического обслуживания и ремонта, складской учет, оперативное управление, персонал и маршрутная сеть. Исследование фокусируется на анализе их интеграции, демонстрируя, как изменение состояния одной подсистемы влияет на всю систему. Обосновывается необходимость создания единого информационного контура для координации процессов. Работа служит теоретической основой для разработки программно-аппаратного комплекса мониторинга и управления процессами автопарка.

Abstract. This article provides a structural and functional analysis of a modern bus fleet as a complex organizational and technical system. Six key interconnected subsystems are identified and described: vehicles, maintenance and repair, inventory control, operational management, personnel, and route network. The study focuses on analyzing their integration, demonstrating how a change in the state of one subsystem affects the entire system. The need to create a unified information system for process coordination is substantiated. This work serves as a theoretical basis for the development of a hardware and software system for monitoring and managing fleet processes.

Ключевые слова: автоматизация автопарка, организационно-техническая система, управление транспортом, оперативное управление, управление персоналом, маршрутная сеть, системный анализ, единый информационный контур.

Keywords: fleet automation, organizational and technical system, transport management, operational management, personnel management, route network, systems analysis, unified information system.

Современный автобусный автопарк как объект автоматизации представляет собой сложную организационно-техническую систему [1]. Эта система (рисунок 1) состоит из взаимосвязанных подсистем, таких как: транспортные средства (ТС), техническое обслуживание и ремонт (ТОиР), складской учет запчастей (СУЗ), оперативное управление (ОУ), персонал и маршрутная сеть.



Рис. 1. Система управления автобусным автопарком

Основой данной системы является комплексное управление транспортными средствами

автопарка, которое, в первую очередь, предполагает ведение детального реестра по каждому транспортному средству. Этот реестр представляет собой не просто список, а электронную карточку автобуса, содержащую его технические характеристики (модель, год выпуска, пассажироместимость, тип двигателя и топлива), юридические данные (VIN, номер страхового полиса, сроки техосмотра), а также постоянно обновляемую информацию о его текущем операционном статусе (на маршруте, в ремонте, в резерве).

Техническое обслуживание и ремонт (ТОиР) образуют важную подсистему, эффективность которой строится на принципе планового подхода с автоматическим формированием заявок на ремонт [2]. Он подразумевает, что система не полагается на человеческую память или бумажные журналы, а автоматизированно, на основе заданных регламентов технического обслуживания и данных телематики, отслеживает пробег и моточасы. Когда наступает время очередного ТО или замены масла, фильтров, тормозных колодок, система автоматически формирует и направляет заявку в технический отдел, назначая приоритет, резервируя дату, время и необходимые запчасти. Это позволяет перейти от обслуживания «по факту поломки» к превентивной модели, предотвращая простои и сокращая затраты. Данная подсистема тесно взаимодействует с подсистемой складского учета запчастей, где ведется учет запасов запчастей и расходных материалов, что гарантирует их доступность как для плановых работ, так и для срочного ремонта. Помимо этого, данная подсистема также может принять заявку на «срочный ремонт» от подсистемы оперативного управления.

Подсистема складского учета запчастей (СУЗ) функционирует как интеллектуальный модуль, центральной задачей которого является обеспечение бесперебойной работы автопарка. Его назначение — минимизировать простои транспортных средств, вызванные отсутствием необходимых запчастей и материалов. Ключевой особенностью подсистемы является ведение детального и актуального учета. Этот учет выходит за рамки простого перечня деталей, представляя собой сложную систему хранения данных с привязкой к моделям автобусов, их узлам, поставщикам и точному местоположению на складе. Все это обеспечивает работу в режиме, близком к реальному времени, что критически важно для оперативности всего сервиса. Неотъемлемой частью работы СУЗ является его тесная и автоматизированная интеграция с подсистемой технического обслуживания и ремонта (ТОиР). При автоматическом формировании заявки на плановое ТО система складского учета выполняет резервирование необходимых запчастей для конкретной работы, что гарантирует их физическое наличие к запланированной дате.

Подсистема оперативного управления (ОУ) выполняет роль центра, обеспечивающего синхронизацию работы подвижного состава с маршрутной сетью в режиме реального времени [3]. Ее работа заключается не только в мониторинге местоположения автобусов на цифровой карте местности, но и в активном анализе соблюдения графика движения. При обнаружении задержки, превышения допустимого интервала или возникновения непредвиденной ситуации – дорожно-транспортное происшествие, техническая неисправность автобуса на маршруте, система ОУ инициирует протокол оперативного перераспределения транспорта. Это означает, что диспетчер, обладая всей полнотой информации, может оперативно направить на маршрут резервный автобус, изменить траекторию движения другого транспортного средства для посадки пассажиров, скорректировать график в онлайн-режиме, а также отправить ремонтную бригаду с тягачом, минимизируя тем самым задержки для пассажиров и сохраняя общую регулярность перевозок.

Эффективность оперативного управления напрямую зависит от качества и структуры подсистемы управления маршрутной сетью. Это информационная база, содержащая не просто перечень улиц и остановок, а цифровую модель всех маршрутов с детализированными параметрами: расписания, время прохождения между контрольными точками, плановые интервалы движения, сезонные и часовые коэффициенты пассажиропотока. Данная подсистема позволяет проводить имитационное моделирование, оценивая, как изменения в расписании или введение нового маршрута повлияют на всю сеть [1]. Она предоставляет подсистеме ОУ эталонные данные, с которыми сравнивается фактическое положение автобусов, и является основой для долгосрочного планирования и оптимизации транспортного обслуживания территории.

Вся эта сложная организационно-техническая система приводится в действие сотрудниками предприятия, что делает подсистему управления персоналом критически важным элементом. Она выходит далеко за рамки простого учета рабочего времени, представляя собой комплексное решение для управления персоналом. Для сотрудников-водителей система автоматизирует составление сменных графиков, которые формируются с учетом требований трудового законодательства,

сложности и продолжительности маршрутов, а также пожеланий самих сотрудников. Она же ведет электронный журнал контроля квалификации, отслеживая сроки действия медицинских справок, водительских удостоверений и прохождения обязательного инструктажа. Для технического персонала, такого как механики, система фиксирует закрепление за конкретными заявками на ремонт, что позволяет оценивать производительность и качество работы. Таким образом, данная подсистема обеспечивает не только административный учет и контроль, но и способствует повышению ответственности, профессиональному развитию и оптимальной загрузке каждого сотрудника.

Все эти компоненты функционируют как единый механизм, где изменение состояния одного элемента неизбежно влияет на работу всей системы.

Опираясь на системное представление автопарка, управление им следует рассматривать как единый комплексный процесс, направленный на поддержание целостности и эффективности всей системы.

Целостность системы проявляется в неразрывной взаимодействии всех ее компонентов – от автобусов и водителей до маршрутной сети и складских запасов. Это не просто набор отдельных элементов, а сложный организм, где состояние одной подсистемы немедленно сказывается на всех других. Например, поломка одного автобуса (подсистема ТОиР) – это не только локальная неисправность, но и сбой в графике движения (подсистема оперативного управления), повышенная нагрузка на других водителей (подсистема персонала) и потенциальное недовольство пассажиров. Таким образом, поддержание целостности требует скоординированного управления этими связями, обеспечивая их слаженное и предсказуемое взаимодействие для достижения общей цели – стабильных и надежных перевозок.

Эффективность всей системы, в свою очередь, является производной от ее целостности и измеряется не суммой показателей отдельных частей, а общим итогом их совместной работы. Например, эффективность – это не просто низкий расход топлива на одном автобусе, а минимальные совокупные затраты на пассажиро-километр для всего парка. Управление, ориентированное на такую комплексную эффективность, нацелено на устранение системных "узких мест" и конфликтов между взаимодействием подразделений, переводя автопарк на качественно новый уровень производительности и рентабельности.

Управление в современном понимании — это не просто администрирование, а целенаправленный процесс координации ресурсов и деятельности для достижения конкретных целей. Оно преобразует совокупность элементов — функции сотрудников, технические системы, выполнение маршрутного расписания в единый и работоспособный организм, способный не только функционировать, но и адаптироваться к изменяющимся условиям.

Неотъемлемой частью этого процесса является мониторинг. Мониторинг обеспечивает их непрерывным сбором объективные данные о ходе работы, фактическом состоянии объектов и протекающих процессах. Без этого потока актуальной информации любое управленческое решение рискует стать необоснованным и запоздалым.

Именно поэтому главной целью управления является не просто контроль отдельных элементов, а обеспечение слаженного взаимодействия всех подсистем. Мониторинг в этом контексте становится основным источником данных для принятия управленческих решений, предоставляя в реальном времени информацию о состоянии каждого компонента системы и характере их взаимосвязей.

Оно начинается со сбора данных о местоположении и техническом состоянии подвижного состава, что составляет основу для оперативного планирования перевозок. Одновременно система должна обеспечивать координацию службы технического обслуживания и ремонта со складскими запасами, создавая цикл поддержания транспортных средств в исправном состоянии. Не менее важной задачей является синхронизация работы персонала с оперативными потребностями автопарка как системы, что включает как распределение водителей по маршрутам, так и закрепление механиков за конкретными видами работ.

Таким образом, основной задачей автоматизации процессов подсистем автобусного парка становится создание единого информационного контура, обеспечивающего координацию данных и процессов мониторинга и управления [3]. Реализация информационного контура возможна в виде программно-аппаратного комплекса. Необходимо таким образом описать процессы мониторинга и управления, при которых изменение состояния одного элемента в подсистеме, должно вызывать

согласованные изменения в связанных подсистемах. Реализация программно-аппаратного комплекса позволит, к примеру, создавать автоматические заявки на техническое обслуживание при достижении критического пробега автобуса, что позволит уменьшить время ремонта и возможного простоя.

Таким образом, конечной целью построения такого программно-аппаратного комплекса становится повышение эффективности работы автопарка в целом.

Библиографический список:

1. Транспортное планирование и моделирование: Сборник трудов II Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 24–25 мая 2017 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2017. – 341 с. – ISBN 978-5-9227-0767-1. – EDN XWNPWP.

2. Юшков, В. С. Тенденции внедрения автоматизированной информационной системы для автобусного парка / В. С. Юшков // IT-технологии и дизайн: современное состояние и перспективы : Материалы IV научно-практической студенческой конференции, Анапа, 10 ноября 2022 года / Под общей редакцией В.Г. Хлыстовой. – Москва: Московский педагогический государственный университет, 2023. – С. 362-367. – EDN GJEZUV.

3. Юшков, В. С. Автоматизация дежурного автобусного парка / В. С. Юшков // Экспериментальные и теоретические исследования в современной науке : сборник статей по материалам LXX-LXXI международной научно-практической конференции, Новосибирск, 24 ноября 2021 года. Том 10-11 (64). – Новосибирск: Общество с ограниченной ответственностью "Сибирская академическая книга", 2021. – С. 5-10. – EDN UARNVL.

Заводов Михаил Денисович

студент магистратуры кафедры «Прикладная математика и информатика»
Московского политехнического университета
E-mail: street.sila@bk.ru

Киселев Егор Сергеевич

студент магистратуры кафедры «Прикладная математика и информатика»
Московского политехнического университета
E-mail: egkiselev1@yandex.ru

Zavodov Mikhail Denisovich

Master's Student of the Department of Applied Mathematics and Computer Science at Moscow
Polytechnic University

Kiselev Egor Sergeevich

Master's Student of the Department of Applied Mathematics and Computer Science at Moscow
Polytechnic University

УДК 004.6

АНАЛИЗ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА ПЕРЕКРЕСТКАХ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНА ГОРОДА МОСКВЫ**ANALYSIS OF TRANSPORTATION FLOWS AT INTERSECTIONS OF THE STREET AND ROAD NETWORK IN THE CENTRAL DISTRICT OF MOSCOW**

Аннотация. Работа транспортных систем в центральных районах крупных городов сталкивается с объективными ограничениями, обусловленными плотной исторической застройкой и высокой интенсивностью движения. Настоящая статья посвящена методологическим подходам к анализу состояния улично-дорожной сети, опирающимся на агрегированные данные сервиса TomTom. В качестве кейса для исследования избран Тверской район Москвы; анализируется динамика транспортных показателей за август 2024 года. Применение статистических и аналитических методов позволило детально изучить суточную динамику средней скорости и времени в пути на ключевых участках: 1-я Тверская-Ямская улица, Никитский бульвар, Цветной бульвар, Краснопролетарская улица.

Сравнительная оценка транспортной ситуации проводилась с применением индекса задержки (Travel Time Ratio), который соотносит фактическую продолжительность поездки с теоретически нормативной. Анализ продемонстрировал, что параметры движения кардинально различаются для улиц разного функционального назначения: радиальных, бульварных и местных. Исследование зафиксировало интервалы резкого падения скорости в вечерний пиковый час, а также локализовало отрезки с экстремально высокой нерегулярностью транспортного потока - это прямо указывает на неустойчивость дорожных условий. Такие выводы создают основу для прогнозирования заторовых явлений и разработки взвешенных решений по регулированию движения.

Цель: Задача заключается в обнаружении устойчивых паттернов трансформации параметров транспортного потока. Анализ будет проводиться для перекрестков и участков улично-дорожной сети, расположенных в центральном районе. Исходной информационной базой послужат данные, полученные посредством спутникового мониторинга.

Метод или методология проведения работы: В качестве методологической основы исследования выступил комплексный подход, включающий статистический анализ, сравнительное сопоставление и математическую обработку агрегированных данных, полученных посредством GPS-трекинга.

Результаты: В ходе исследования были определены количественные показатели снижения скорости движения в пиковые периоды. Участки дорожной сети классифицированы по уровню образующихся задержек. Кроме того, доказана зависимость устойчивости транспортного потока от категории улицы.

Область применения результатов: Полученные выводы могут быть востребованы в практике городских служб, таких как ЦОДД, а также специалистами в области транспортной инженерии и

проектирования. Их применение представляется целесообразным при формировании схем организации дорожного движения, особенно на территориях с высокой плотностью исторической застройки.

Abstract. The operation of transport systems in the central districts of large cities is subject to objective limitations due to dense historical development and high traffic intensity. This article focuses on methodological approaches to analyzing the state of the street and road network based on aggregated data from the TomTom service. The Tverskoy district of Moscow was chosen as a case study, and the dynamics of transport indicators for August 2024 were analyzed. The use of statistical and analytical methods allowed for a detailed study of the daily dynamics of average speed and travel time on key sections, including 1st Tverskaya-Yamskaya Street, Nikitsky Boulevard, Tsvetnoy Boulevard, and Krasnoproletarskaya Street. A comparative assessment of the transport situation was conducted using the Travel Time Ratio index, which compares the actual travel time with the theoretically recommended time. The analysis demonstrated that traffic parameters differ significantly for streets with different functional purposes, such as radial, boulevard, and local streets. The study identified periods of sharp declines in speed during the evening peak hour and localized sections with extremely high irregularity in traffic flow, indicating unstable road conditions. These findings provide a basis for predicting traffic congestion and developing informed solutions for traffic management.

Objective: The objective is to identify stable patterns of transportation flow transformation. The analysis will be conducted for intersections and sections of the street and road network located in the central district. The initial information base will be based on data obtained through satellite monitoring.

Method or methodology of the study: The study employed a comprehensive approach that includes statistical analysis, comparative comparison, and mathematical processing of aggregated data obtained through GPS tracking.

Results: The study identified quantitative indicators of reduced speed during peak periods. The sections of the road network were classified based on the level of delays. Additionally, the study demonstrated the dependence of traffic flow stability on the category of the street.

Application of the results: The findings can be applied in the practice of urban services, such as the Central Operations Department, as well as by experts in transportation engineering and design. Their application seems to be expedient in the formation of traffic management schemes, especially in areas with a high density of historical buildings.

Ключевые слова: автотранспортный поток; перекрёсток; улично-дорожная сеть; TomTom; средняя скорость; транспортные задержки; организация движения.

Keywords: traffic flow; intersection; street and road network; TomTom; average speed; traffic delays; traffic management.

Введение

В центральных районах мегаполисов наблюдается предельная концентрация перекрёстков, насыщенный трафик и практически отсутствующий резерв для расширения дорожного полотна. Именно здесь качество транспортного обслуживания напрямую зависит от двух факторов. Во-первых, от того, насколько грамотно организовано движение на пересечениях магистралей. Во-вторых, от способности всей системы оперативно реагировать на резкие суточные колебания пассажиропотока и грузоперевозок.

Транспортная нагрузка в Тверском районе Москвы служит характерным примером для анализа. Его пространство пронизывают магистрали общегородского значения, бульвары, площади и локальные проезды, что создает сложную, внутренне неоднородную структуру движения. Суточные колебания интенсивности порождают устойчивые пиковые периоды, для которых типично падение средней скорости и увеличение времени в пути.

Цифровая трансформация городского администрирования выводит на первый план массивы данных, фиксирующих фактическое перемещение транспорта и собираемых навигационными платформами. Обработка подобных массивов открывает возможность для детального изучения реальной дорожной обстановки и последующей локализации дефектных сегментов в структуре улиц и магистралей.

1 Основы анализа транспортных потоков

Под транспортным потоком понимают совокупность автомобилей, перемещающихся по элементам улично-дорожной сети в определенный временной интервал. Для его количественной

характеристики традиционно применяют три базовых параметра: скорость, интенсивность и плотность движения [1].

Оценка транспортных потоков на пересечениях представляет собой процедуру анализа ключевых характеристик, позволяющую судить о работоспособности всей системы. Современная методология акцентирует исследование не столько на пропускной способности, сколько на стабильности движения, колебаниях интенсивности и продолжительности преодоления участка [6].

Временной фактор приобретает первостепенную важность при регулировании транспортных потоков. Их суточная неравномерность диктует необходимость внедрения дифференцированных схем организации, адаптированных под конкретные временные отрезки. Практика показывает, что унифицированные подходы, игнорирующие эту цикличность, неизбежно демонстрируют свою несостоятельность в периоды максимальной нагрузки на дорожную сеть.

2 Исходные данные

Анализ базируется на агрегированных показателях, предоставленных сервисом TomTom за период с 1 по 30 августа 2024 года в формате JSON [2]. Исходный массив информации охватывает сегменты дорожной сети Тверского района Москвы, включая статистические данные о движении транспорта.

Описание сегментов осуществляется посредством ряда характеристик:

- наименование улицы;
- геометрические параметры участка;
- разрешённая скорость;
- функциональная классификация дорожного полотна;
- скоростные показатели: среднее, медианное и гармоническое значения;
- величина стандартного отклонения скоростного режима;
- средняя и медианная продолжительность прохождения участка;
- коэффициент, отражающий соотношение фактического и эталонного времени в пути;
- объём выборочных данных наблюдения.

Исследование проводилось в рамках шести хронологических сегментов, соответствующих суточному циклу:

- 06:00–09:00;
- 09:00–12:00;
- 12:00–15:00;
- 15:00–17:00;
- 17:00–20:00;
- 20:00–23:00.

Анализ перекрёстков в ночное время был исключён из рассмотрения. Это решение обусловлено минимальной транспортной активностью в указанные часы, что существенно снижает аналитическую ценность подобных данных для поставленных исследовательских целей.

Движение транспорта в реальных условиях неизбежно приобретает прерывистый характер. Остановки, рывки, резкие ускорения и торможения - всё это особенно ярко проявляется вблизи перекрёстков. В подобной ситуации оперировать лишь усреднёнными величинами скорости или времени проезда недостаточно, так как их информационная ценность резко падает. Куда более значимыми становятся метрики, отражающие изменчивость потока. К ним относится, в частности, стандартное отклонение скорости - параметр, позволяющий оценить как общую стабильность транспортного потока, так и динамику рассасывания образующихся заторов [7].

Рисунок 1 демонстрирует обобщённую картину суточных колебаний скорости. На графике отчетливо прослеживаются характерные интервалы, когда пропускная способность магистрали заметно падает - это соответствует традиционным утренним и вечерним пиковым нагрузкам.

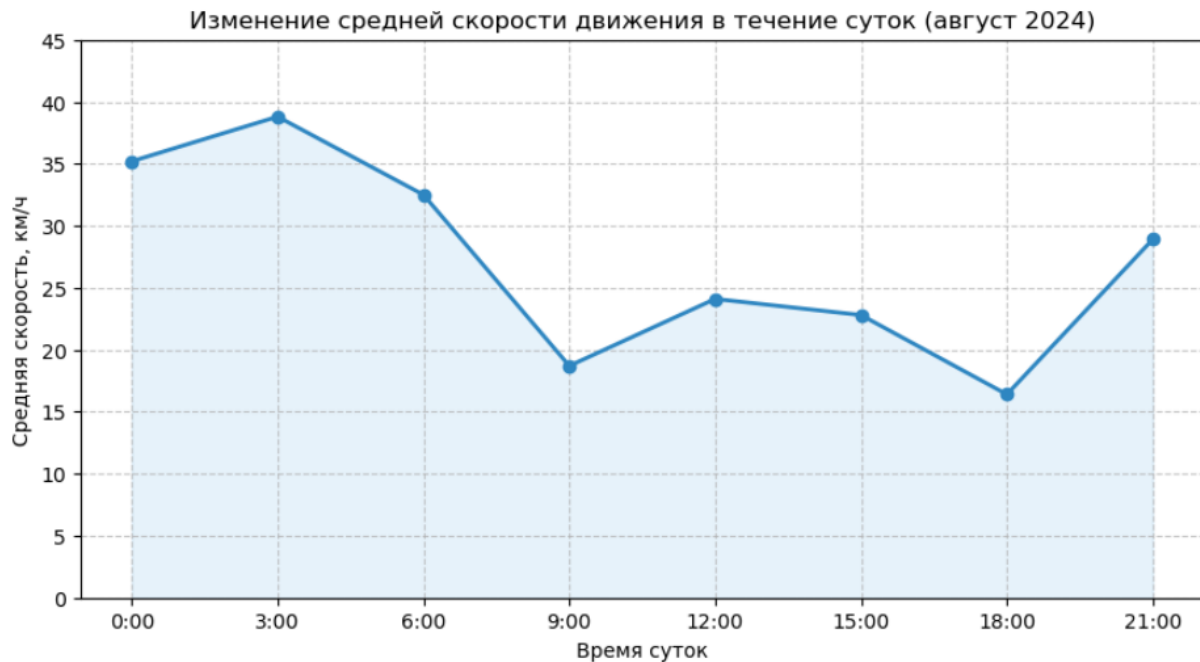


Рис. 1. Изменение средней скорости движения в течение суток

В рамках данного исследования перекрёстки трактуются не в качестве изолированных объектов инфраструктуры. Их сущность определяется как комплекс прилегающих сегментов, которые формируют уличную сеть, сходясь в единых узловых точках.

3 Анализ транспортных характеристик по отдельным улицам

В качестве объектов исследования были отобраны участки магистралей и площадей, расположенных в границах Тверского района:

- Улица 1-я Тверская-Ямская;
- Улица Краснопролетарская;
- Бульвар Цветной;
- Бульвар Никитский;
- Улица Садовая-Кудринская;
- Проспект Академика Сахарова;
- Улица Большая Бронная;
- Площадь Смоленская.

Представленные магистрали образуют перекрёстки различного типа - от крупных транспортных развязок до локальных пересечений бульварного типа. Это создаёт возможность для анализа разнообразных режимов транспортного потока в рамках одного городского квартала.

3.1 1-я Тверская-Ямская улица

Улица 1-я Тверская-Ямская представляет собой важную магистраль, испытывающую значительную транспортную нагрузку. В утренние часы, с шести до девяти, средняя скорость потока приближается к нормативной, достигая отметки свыше 40 километров в час. Это позволяет сделать вывод о том, что пропускная способность перекрёстков на данном участке в указанный период является удовлетворительной.

В вечерние часы, с пяти до восьми вечера, средняя скорость падает до 35–40 километров в час. Время в пути при этом возрастает на 40–60 процентов относительно нормативных значений. Такая динамика свидетельствует о перегрузке перекрестков и нарастании транспортных задержек. Тем не менее, общая картина движения остается относительно стабильной.

3.2 Никитский бульвар

Среди всех проанализированных магистралей именно на Никитском бульваре транспортная ситуация складывается наиболее проблематично. В часы вечернего пика средние скоростные показатели здесь падают до 5–15 километров в час. Фактическая продолжительность поездки по этому участку в 4–7 раз превышает расчетное, или эталонное, время.

Подобная динамика однозначно указывает на резкое падение пропускной способности перекрестков. Причина, вероятно, кроется в совокупности нескольких факторов: интенсивного пешеходного трафика, узкой проезжей части, а также повышенной уязвимости транспортного потока

к любым локальным помехам.

3.3 Цветной бульвар

На Цветном бульваре утренние часы отличаются стабильностью транспортного режима, при этом средняя скорость передвижения держится выше отметки в 40 километров в час. Однако к вечеру картина меняется: вариативность скоростных показателей возрастает, а время, затрачиваемое на проезд, увеличивается. Эти тенденции свидетельствуют о дестабилизации потока и возникновении локальных очагов заторов, преимущественно в зонах пересечений улиц.

3.4 Краснопролетарская улица

На Краснопролетарской улице в утренние часы наблюдается умеренная транспортная нагрузка, однако к вечеру ситуация кардинально меняется. В пиковый период с 17:00 до 20:00 условия движения резко ухудшаются. Средняя скорость падает до 25–30 километров в час, а время, необходимое для проезда, увеличивается более чем на 80 процентов относительно базовых значений.

3.5 Другие улицы района

Садовая-Кудринская улица представляет собой классическую магистраль, испытывающую стабильно высокую транспортную нагрузку. На протяжении большей части светового дня средняя скорость транспортного потока здесь колеблется в диапазоне 35–45 километров в час. Пиковые вечерние часы, с пяти до восьми, закономерно демонстрируют увеличение времени проезда и падение скорости, что служит прямым свидетельством перегруженности перекрестков. При этом общий режим движения сохраняет относительную стабильность, не подвергаясь резким, скачкообразным изменениям скоростных показателей.

На проспекте Академика Сахарова в утренние и дневные часы движение отличается относительной равномерностью. Средняя скорость на отрезке с шести утра до трех дня стабильно держится выше отметки в 40 километров в час. Однако к вечеру ситуация меняется: скорость падает, а время в пути возрастает. Это обусловлено перераспределением транспортных потоков, характерным для центральных районов города.

Рисунок 2 демонстрирует графическую интерпретацию «коэффициента задержки». Данный показатель вычисляется как соотношение фактической продолжительности поездки к времени, которое потребовалось бы в условиях свободного движения. Коэффициент, равный 2.5, указывает на то, что водители вынуждены затрачивать на дорогу в два с половиной раза больше времени по сравнению с идеальным сценарием.

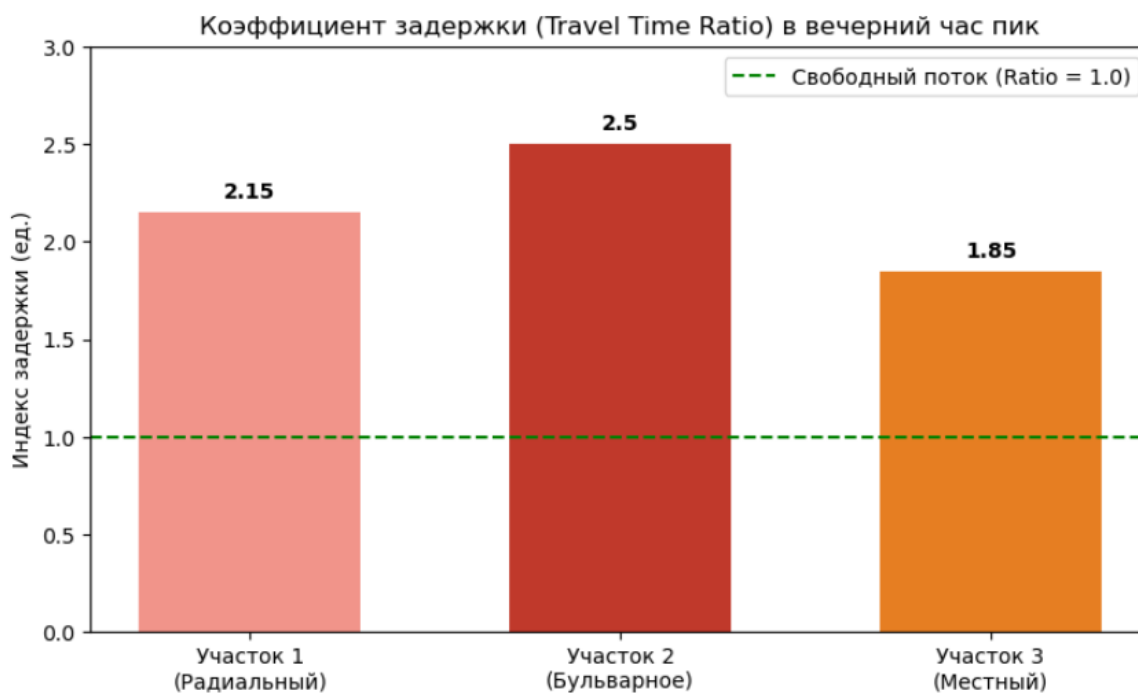


Рис.2. График индекса задержки по участкам

Таблица 1. Показатели движения в интервале 17:00-20:00 содержит сводные данные о параметрах транспортного потока, зафиксированных на ряде улиц Тверского района в часы вечернего пика.

Таблица 1. Показатели движения в интервале 17:00-20:00

| Улица | Средняя скорость, км/ч | Рост времени проезда | Характеристика движения |
|---------------------|------------------------|----------------------|------------------------------------|
| 1-я Тверская-Ямская | 35–40 | +40–60% | Перегруженный, но устойчивый поток |
| Никитский бульвар | 5–15 | +300-600% | Критическая перегрузка |
| Цветной бульвар | 40–45 | +30–50% | Нестабильный поток |
| Краснопролетарская | 25–30 | +80–90% | Снижение пропускной способности |

4 Факторы, определяющие пропускную способность перекрёстков и условия движения

Исследование транспортных параметров выявило, что падение средней скорости в границах Тверского района вызвано комплексным воздействием ряда обстоятельств. Эти обстоятельства в совокупности определяют реальную пропускную способность перекрёстков. Ограничения, формирующие данную ситуацию, носят тройственную природу: они связаны с регулированием движения, геометрией улично-дорожной сети и текущими условиями эксплуатации.

В условиях рассматриваемого транспортного узла пропускная способность формируется под влиянием целого ряда факторов. Помимо режимов работы светофоров, на неё воздействуют характеристики самой дорожной инфраструктуры, специфика структуры потоков и особенности поведения водителей. Традиционные централизованные системы управления, фокусирующиеся на перекрёстке как едином объекте, зачастую игнорируют нюансы отдельных подпотоков. К ним относятся, в частности, их фактическая интенсивность, средняя скорость движения и локализация потенциально опасных конфликтных зон [8].

4.1 Геометрические ограничения перекрёстков

Ограничение пропускной способности на отдельных улицах, включая Никитский бульвар и Большую Бронную, обусловлено параметрами геометрии проезжей части [4]:

- недостаточное число полос для движения;
- отсутствие обособленных полосных участков для выполнения манёвров поворота;
- незначительная протяжённость карманов-накопителей, предвещающих перекрёстки.

Даже при продолжительном зелёном сигнале светофора эффективность перекрёстка остаётся невысокой. Причина кроется в том, что автомобили попросту не успевают организовать в стабильный, непрерывный поток.

Результатом становится образование транспортных заторов, увеличение продолжительности поездки и падение средней скорости движения, которая нередко достигает значений от 5 до 15 километров в час.

4.2 Влияние конфликтных манёвров

Пропускная способность транспортных узлов заметно падает при увеличении доли конфликтующих манёвров, что подтверждается исследованиями [5].

- левые повороты, не выделенные в отдельную фазу светофорного цикла;
- конфликтные точки пересечения встречных транспортных потоков;
- высокая интенсивность пешеходных потоков.

Конфликтность на участках Краснопролетарской улицы и Цветного бульвара провоцирует неравномерный разряд транспортных очередей. Данный вывод подтверждается двумя взаимосвязанными индикаторами: ростом стандартного отклонения скорости движения и существенным увеличением времени проезда, достигающим 80–90 процентов.

Отсюда вытекает важный вывод: падение пропускной способности обусловлено не столько высокой интенсивностью транспортного потока, сколько его принципиальной неустойчивостью, препятствующей стабильному прохождению.

4.3 Роль режимов светофорного регулирования

Влияние светофорного регулирования на пропускную способность улично-дорожной сети действительно существенно. Однако, как демонстрируют исследования, корень проблемы зачастую кроется не в самом факте регулирования. Основной дефект заключается в рассогласовании: временные параметры фаз светофорного цикла не соответствуют реальной, наблюдаемой структуре транспортных потоков [3].

В вечерние часы (с 17:00 до 20:00) для всех исследуемых магистралей характерно:

- удлинение интервалов ожидания;
- возрастание удельного веса простоев в общей продолжительности поездки;
- деградация результативности каждого светофорного цикла.

Особенно ярко данная проблема проявляется на магистральных улицах, таких как 1-я Тверская-Ямская и Садовая-Кудринская. Их геометрические параметры теоретически рассчитаны на пропуск значительных транспортных потоков. Однако существующие режимы светофорного регулирования не позволяют в полной мере реализовать пропускной потенциал перекрёстков, создавая диссонанс между возможностями инфраструктуры и её фактической эксплуатацией.

Заключение

В рамках настоящего исследования была проанализирована интенсивность движения на светофорных перекрёстках в границах Тверского района Москвы. В качестве исходных материалов выступили агрегированные данные сервиса TomTom, охватывающие август 2024 года. Анализ опирался на статистические индикаторы - скорость передвижения и продолжительность проезда участков. Это дало возможность детально описать фактическое состояние транспортного каркаса района, выявив его динамику в разрезе разных временных периодов.

Результаты исследования демонстрируют выраженную неоднородность транспортной обстановки внутри одного административного района. Её параметры - средняя скорость, время проезда, пропускная способность - варьируются в зависимости от категории улицы, конфигурации перекрёстков и конкретного временного интервала. На магистралях, таких как 1-я Тверская-Ямская, Садовая-Кудринская или Проспект Академика Сахарова, в дневное время наблюдается относительно стабильный скоростной режим. Однако с наступлением вечернего пика здесь происходит заметное увеличение времени проезда, что напрямую обусловлено перегрузкой узловых пересечений. Иная картина складывается на улицах бульварного и локального значения - Никитский и Цветной бульвары, Большая Бронная. Для них свойственны более резкие колебания скорости и стремительное падение пропускной способности в периоды максимальной нагрузки.

Падение средней скорости и увеличение задержек в транспортном потоке обусловлено комплексом причин. В первую очередь, это геометрия перекрёстков, создающая пространственные ограничения. Существенную роль играет значительная доля конфликтующих траекторий движения. Немаловажным фактором выступает рассогласование между настройками светофорных объектов и реальной структурой транспортного спроса. Добавляют проблем и эксплуатационные помехи в пределах перекрёсточной зоны. Важно отметить, что падение эффективности зачастую вызвано не дефицитом пропускной способности сети в целом, а локальными «узкими местами» - ограничениями, сконцентрированными в отдельных узлах.

Результаты исследования демонстрируют, что пиковые временные потери при движении концентрируются в вечерние часы, с 17:00 до 20:00. Именно на этот интервал приходится апогей транспортной нагрузки, при которой действующие режимы регулирования уже не справляются с обеспечением бесперебойного пропуска автомобилей. Наиболее критическая ситуация складывается на перекрёстках, отличающихся сложной конфликтной обстановкой и стеснёнными планировочными параметрами: здесь малейшее нарушение плавности потока мгновенно провоцирует лавинообразное увеличение задержек.

Анализ данных свидетельствует о следующем: оптимизировать работу транспортной системы в центральной части города можно лишь при условии системного анализа. Необходимо рассматривать в совокупности геометрию перекрёстков, действующие правила движения и реальные условия эксплуатации. Именно эти параметры в конечном счёте формируют их фактическую пропускную способность.

Библиографически список:

1. Highway Capacity Manual (HCM 6th Edition). URL: (дата обращения: 03.01.2026).
2. TomTom traffic index URL: <https://www.tomtom.com/traffic-index/ranking/> (дата обращения 03.01.2026).
3. Методические рекомендации. ФГБУ «РосдорНИИ», Москва, 2018. URL: (дата обращения 03.01.2026).
4. Воробьёв А.В., Иванов И.И. Транспортные системы и моделирование движения. Москва: Наука, 2019.

5. Gartner N., Messer C., Rathi A. Traffic Flow Theory: A State-of-the-Art Report. U.S. Department of Transportation, FHWA, 2001.
6. Kerner B.S. The Physics of Traffic: Empirical Freeway Pattern Features, Engineering Applications, and Theory. Springer, 2004.
7. Елькин Д.М. Метод построения распределенных систем управления транспортными потоками на основе событийно связанных автоматных моделей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. - Т., 2022.
8. Бочаров Д.А. Робастные алгоритмы локализации траекторий движения транспортных средств в видеопотоке: автореф. дис. ... канд. техн. наук. - М. 2022.

Лю Чжидо

Студент

Южный федеральный университет

Крутиев Сергей Владимирович

кафедра радиофизики, доцент

Южный федеральный университет

Liu Zhiduo

Student

Southern Federal University

Krutiev Sergey Vladimirovich

Department of Radiophysics, Associate Professor

Southern Federal University

УДК 62

АНАЛИЗ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВОЛНОВОДНОГО ПОЛОСОВОГО ФИЛЬТРА В ПЛОСКОСТИ E НА ОСНОВЕ МЕТОДА СОХРАНЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ МОЩНОСТИ**ANALYSIS AND DESIGN OF WAVEGUIDE E-PLANE BANDPASS FILTER BASED ON COMPLEX POWER CONSERVATION METHOD**

Аннотация. Метод сохранения комплексной мощности (ССРТ) был использован для анализа продольных металлических вставок в плоскости E волновода, и была получена обобщенная формула матрицы рассеяния для базового элемента вставки. Для проектирования полосовых фильтров, не обеспечивающих широкую полосу пропускания на основе классического прототипа фильтра нижних частот, в данной работе получено значение нормированного инвертора импеданса на основе прототипа полуволнового распределенного ступенчатого импедансного фильтра, разработана САД-программа для полосовых фильтров в плоскости E волновода и спроектированы несколько широкополосных и узкополосных полосовых фильтров. Полученные результаты хорошо согласуются с результатами, полученными другими методами.

Abstract. The complex power conservation method (CCPT) was used to analyze longitudinal metal inserts in the E-plane of a waveguide, and a generalized scattering matrix formula was derived for the insert's basic element. To design bandpass filters that do not provide a wide bandwidth based on a classical low-pass filter prototype, this paper derives the value of the normalized impedance inverter based on a prototype half-wave distributed stepped impedance filter, develops a CAD program for bandpass filters in the E-plane of a waveguide, and designs several broadband and narrowband bandpass filters. The obtained results are in good agreement with those obtained by other methods.

Ключевые слова: Волноводный полосовой фильтр в плоскости E, комплексное сохранение мощности, прототип фильтра

Keywords: Waveguide E-plane bandpass filter, complex power conservation, filter prototype

Введение

Продольные волноводные фильтры с металлическими вставками в плоскости E широко используются благодаря низким потерям, высокому значению добротности (Q) и отличным внутриполосным потерям на входе, а также низкой стоимости и простоте изготовления. Анализ продольных волноводных фильтров с вставками в плоскости E включает метод эквивалентной схемы, вариационный метод [1] и некоторые численные методы, появившиеся с развитием компьютеров. Метод эквивалентной схемы учитывает только основную моду, поэтому точность проектирования не очень высока. Численные методы, такие как метод конечных элементов, позволяют анализировать структуры произвольной формы, но объем вычислений и время, необходимое для их применения, очень велики, поэтому эффективность невысока; метод согласования мод имеет меньший объем вычислений и более быстрое время вычислений.

Закон сохранения комплексной мощности выводится из метода согласования мод. Он

использует закон сохранения комплексной мощности для замены сложного согласования тангенциального магнитного поля в методе согласования мод, сохраняя при этом согласование легко решаемой тангенциальной компоненты электрического поля. По сути, он применяет теорему Бойнтинга к разрывам, заменяя комбинацию условий согласования магнитного поля и условий согласования электрического поля для решения. Его решение обязательно удовлетворяет условию согласования тангенциального магнитного поля.

Для проектирования фильтра необходимо комбинировать комплексный метод сохранения мощности [2] с сетевым синтезом фильтра. К распространенным методам сетевого синтеза относятся метод Чебышева и метод наиболее плоского фильтра, однако эти методы не позволяют получить фильтр с широким частотным диапазоном. На основе прототипа распределенного ступенчатого импедансного фильтра эта проблема может быть эффективно решена.

В данной работе объединены анализ метода сохранения комплексной мощности и прототип распределенного ступенчатого импедансного фильтра для разработки программы автоматизированного проектирования волноводного полосового фильтра. Результаты хорошо согласуются с данными других литературных источников и результатами моделирования в HFSS.

1. Теоретический анализ

1.1 Анализ с использованием метода сохранения комплексной мощности

Структурная схема продольной диафрагмы показана на рисунке 1. Диафрагма имеет толщину t , длину W и поперечное сечение $a \times b$. Плоскость вставки параллельна узкой стороне волновода. Для продольной металлической вставки в плоскости E , поскольку разрыв непрерывен в направлении x , но непрерывен в направлении y , при возбуждении TE_{10} -моды на разрыве будет возбуждаться только TE_{m0} -мода. Поперечная компонента распределения поля может быть записана как суперпозиция падающей волны $a^{(i)}_{m(n)}$ и отраженной волны $b^{(i)}_{m(n)}$ каждой моды: :

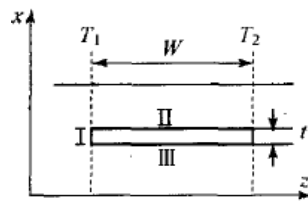


Рисунок 1. Схема продольной структуры диафрагмы.

$$E_t^i = \sum_{m=1}^{\infty} \sqrt{\frac{\omega\mu_0}{abk_z^i}} \sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right) (a_m^i e^{-jk_z^i z} + b_m^i e^{jk_z^i z}) \hat{u}_y \quad (1a)$$

$$E_t^i = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{\frac{\omega\mu_0}{a_i b k_z^i}} \sin\left(\frac{n_i\pi}{a_i}(x - c_i)\right) (a_n^i e^{-jk_z^i z} + b_n^i e^{jk_z^i z}) \hat{u}_y \quad (1b)$$

$$H_t^i = - \sum_{m=1}^{\infty} \sqrt{\frac{k_z^i}{ab\omega\mu_0}} \sin\left(\frac{m\pi}{a}x\right) (a_m^i e^{-jk_z^i z} + b_m^i e^{jk_z^i z}) \hat{u}_x \quad (1c)$$

$$H_t^i = - \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{\frac{k_z^i}{a_i b \omega \mu_0}} \sin\left(\frac{n_i\pi}{a_i}(x - c_i)\right) (a_n^i e^{-jk_z^i z} + b_n^i e^{jk_z^i z}) \hat{u}_x \quad (1d)$$

В формуле E_t^1 , H_t^1 — поперечные электрическое и магнитное поля области I, E_t^i , H_t^i — поперечные электрическое и магнитное поля области i, т.е. области малого волновода, a и a_i , k_z^1 и k_z^i , m и n_i — ширина волновода, постоянная распространения и индекс моды соответствующих областей, $c_3=0$, $c_2=a-a_3$.

Когда $z=0$, поперечное электрическое поле непрерывно на поверхности T_1 , т.е. $E_t^1 = E_t^{II} + E_t^{III}$. Применяя ортогональность тригонометрических функций [3], мы можем проинтегрировать в интервале $[0, a]$, чтобы получить:

$$\mathbf{A}_F + \mathbf{A}_B = \mathbf{P}(\mathbf{B}_F + \mathbf{B}_B) \quad (2)$$

Поскольку комплексная мощность, поступающая в любую пассивную область, равна 0, то есть комплексная мощность сохраняется, мы можем получить:

$$(\mathbf{A}_F - \mathbf{A}_B)^H \mathbf{L}_1 (\mathbf{A}_F + \mathbf{A}_B) = (\mathbf{B}_B - \mathbf{B}_F)^H \mathbf{L}_2 (\mathbf{B}_F + \mathbf{B}_B) \quad (3)$$

$\mathbf{A}_F, \mathbf{A}_B, \mathbf{B}_F, \mathbf{B}_B$ — амплитуды мод большого и малого волноводов соответственно. $(\cdot)_F (\cdot)_B$ представляет падающую и отраженную волны. $(\cdot)^H$ — сопряженная транспонированная матрица. Объединив (2) и (3), мы можем решить уравнение относительно:

$$\mathbf{S}_{21}^A = 2(\mathbf{L}_2^H + \mathbf{L}_{LB})^{-1} \mathbf{P}^H \mathbf{L}_1^H \quad (4a)$$

$$\mathbf{S}_{22}^A = (\mathbf{L}_2^H + \mathbf{L}_{LB})^{-1} (\mathbf{L}_2^H - \mathbf{L}_{LB}) \quad (4b)$$

$$\mathbf{S}_{12}^A = \mathbf{P}(\mathbf{I} + \mathbf{S}_{22}) \quad (4c)$$

$$\mathbf{S}_{11}^A = \mathbf{P}\mathbf{S}_{21} - \mathbf{I} \quad (4d)$$

ОГде $\mathbf{L}_{LB} = \mathbf{P}\mathbf{L}_1^H \mathbf{P}^H$, \mathbf{I} — единичная матрица. Из уравнений 4(a)~4(d) можно получить обобщенную матрицу рассеяния разрыва на поверхности T_1 . В силу симметрии параметр рассеяния на поверхности T_2 равен $(\mathbf{S})_{T2} = (\mathbf{S}^A)_{T1}^t$. Учитывая, что в малом волноводе имеется n мод, полную матрицу рассеяния среднего малого волновода можно получить из уравнения (5):

$$\mathbf{S}_{11} = \mathbf{S}_{11}^A + \mathbf{S}_{12}^A \mathbf{V} (\mathbf{I} - \mathbf{S}_{22}^A \mathbf{V} \mathbf{S}_{22}^A \mathbf{V})^{-1} \mathbf{S}_{22}^A \mathbf{V} \mathbf{S}_{21}^A \quad (6a)$$

$$\mathbf{S}_{12} = \mathbf{S}_{12}^A \mathbf{V} (\mathbf{I} - \mathbf{S}_{22}^A \mathbf{V} \mathbf{S}_{22}^A \mathbf{V})^{-1} \mathbf{S}_{21}^A \quad (6b)$$

$$\mathbf{S}_{21} = \mathbf{S}_{12}^A (\mathbf{I} - \mathbf{V} \mathbf{S}_{22}^A \mathbf{V} \mathbf{S}_{22}^A)^{-1} \mathbf{V} \mathbf{S}_{21}^A \quad (6c)$$

$$\mathbf{S}_{11} = \mathbf{S}_{11}^A + \mathbf{S}_{12}^A (\mathbf{I} - \mathbf{V} \mathbf{S}_{22}^A \mathbf{V} \mathbf{S}_{22}^A)^{-1} \mathbf{V} \mathbf{S}_{22}^A \mathbf{V} \mathbf{S}_{21}^A \quad (6d)$$

1.2 Основные соотношения полосовых фильтров волноводного типа

Значение нормированного инвертора импеданса K , используемое при проектировании волноводного полосового фильтра, получается путем частотного преобразования на основе нормированного значения элемента низкочастотного прототипа фильтра [1]. Низкочастотные прототипы включают в себя максимально плоские, чебышевские и эллиптические низкочастотные прототипы. Узкополосные волноводные полосовые фильтры, разработанные на основе этих низкочастотных прототипов, имеют хорошее соответствие между измеренными и теоретическими значениями [3]. Однако при проектировании широкополосных волноводных полосовых фильтров часто возникают такие проблемы, как неудовлетворительные внутриполосные потери на отражение и сильный сдвиг центральной частоты [4]. В данной работе значение нормированного инвертора импеданса K получено на основе прототипа полуволнового распределенного ступенчатого импедансного фильтра. Разработанный полосовой фильтр имеет широкую полосу пропускания и хорошие потери на отражение.

Для длин волн в волноводе λ_{g1} и λ_{g2} , при заданных частотах края полосы пропускания можно получить длину волны в волноводе на центральной частоте λ_{g0} и коэффициент масштабирования частоты α . Согласно нелинейному уравнению:

$$\frac{\lambda_{g1}}{\lambda_{g0}} \sin\left(\frac{\pi \lambda_{g0}}{\lambda_{g1}}\right) + \frac{\lambda_{g2}}{\lambda_{g0}} \sin\left(\frac{\pi \lambda_{g0}}{\lambda_{g2}}\right) = 0 \quad (7)$$

Мы получаем λ_{g0} , а затем используем следующую формулу для получения α [2]:

$$\alpha = \left(\frac{\lambda_{g1}}{\lambda_{g0}} \sin\left(\frac{\pi \lambda_{g0}}{\lambda_{g1}}\right) \right)^{-1} \quad (8)$$

Порядок пульсаций в полосе пропускания можно определить по минимальным потерям на

отражение в пределах этой полосы:

$$L_p \approx 10 \log_{10} \left(1 + \frac{1}{\varepsilon^2} \right) \quad (9)$$

Количество резонансных полостей фильтра можно определить по внеполосному затуханию LS фильтра.

$$L_s = 10 \log_{10} \left(1 + \varepsilon^2 T_n^2 \left(\frac{\alpha \lambda_{gs}}{\lambda_{g0}} \sin \left(\frac{\pi \lambda_{g0}}{\lambda_{gs}} \right) \right) \right) \quad (10)$$

LS — это значение затухания на частоте полосы заграждения $\text{is. } \ln(x) = \cosh(\text{ncosh}^{-1}x)$

$$Z'_r = \begin{cases} \frac{2\alpha}{y} \sin \left(\frac{(2r-1)\pi}{2n} \right) - \frac{1}{4\alpha y} \left(\frac{y^2 + \sin^2 \left(\frac{r\pi}{n} \right)}{\sin \frac{(2r+1)\pi}{2n}} \right) - \frac{1}{4\alpha y} \left(\frac{y^2 + \sin^2 \left(\frac{(r-1)\pi}{n} \right)}{\sin \frac{(2r-3)\pi}{2n}} \right) & r = 0, n+1 \\ & r = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (11)$$

$$K_{r,r+1} = \sqrt{1 + \left(\sin \left(\frac{r\pi}{n} \right) / y \right)^2} / \sqrt{Z'_r Z'_{r+1}} \quad r = 0, 1, 2, \dots, n \quad (12)$$

$$y = \sinh \left(\frac{1}{n} \sinh^{-1} \frac{1}{\varepsilon} \right) \quad (13)$$

1.3 Разработка фильтра с использованием прототипа и ССРТ

Получение начальных значений

Метод ССРП позволяет с высокой точностью получить 5 параметров базового блока вставки. Эквивалентная схема продольной диафрагмы показана на рисунке 2. Здесь вводится нелинейное уравнение:

$$f(w_i) = K(w_i) - K_i \quad (14)$$

Где $K(\omega)$ — значение обратного импеданса, полученное методом ССРП, ω_i — продольная длина i -го вставки ступени, а K_i — значение обратного импеданса, полученное по уравнению (12). Путем численного решения нелинейного уравнения (14) в данной работе используется метод бисекций для получения начального значения длины диафрагмы. Из эквивалентной схемы продольной диафрагмы можно получить:

$$jX_s = \frac{1 - S_{12} + S_{11}}{1 - S_{11} + S_{12}}, \quad jX_p = \frac{2S_{12}}{(1 - S_{11})^2 + S_{12}^2} \quad (15)$$

X_s и X_p — нормированные последовательные и параллельные реактивные сопротивления эквивалентной сети, а S_{11} и S_{12} — S-параметры режима TE_{10} . $K(\omega_i)$ получается из уравнения (16):

$$K(w_i) = | \tan(\phi/2 + \tan^{-1} X_s) | \quad (16)$$

Следовательно

$$\phi = -\tan^{-1}(2X_p + X_s) - \tan^{-1} X_s \quad (17)$$

можно рассчитать длину резонансной полости l_i

$$l_i = \frac{\lambda_{g0}}{2\pi} \left(\pi - \left| \frac{1}{2} (\phi_i + \phi_{i+1}) \right| \right) \quad (18)$$

Это позволяет нам определить полные размеры фильтра.

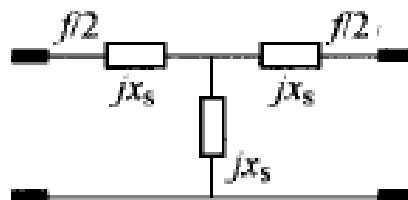


Рисунок 2. Эквивалентная схема К-преобразователя.

Оптимизация

Если полученная характеристика фильтра не соответствует требованиям, можно оптимизировать размер диафрагмы и длину резонансной полости, изменяя их в небольшом диапазоне. Выбор подходящей целевой функции позволяет снизить вычислительную нагрузку и получить сходящиеся результаты. В данном случае выбрана следующая целевая функция:

$$F(\bar{x}) = \sum_{N_s} \left(\frac{L_s}{|S_{11}|} \right)^2 + \sum_{N_p} \left(\frac{|S_{21}|}{L_p} \right)^2 \quad (19)$$

Где $x = (\omega_1, \omega_2 \dots \omega_{n+1}, l_1, l_2 \dots l_n)t$ — размер фильтра, L_p, L_s — минимальное затухание в полосе заграждения и максимальные потери на входе в полосе пропускания соответственно, N_s, N_p — частотные отсчеты, взятые в полосе заграждения и полосе пропускания. Поскольку фильтр имеет симметричную структуру, необходимо выбрать только половину переменных. Нелинейные ограничения могут быть преобразованы в нелинейный метод безусловной оптимизации. Метод преобразования выглядит следующим образом:

$$x_i = x_{li} + \text{random}(0, 1)(x_{hi} - x_{li}) \quad (20)$$

Здесь $\text{random}(0, 1)$ — случайное число от 0 до 1. Для оптимизации можно использовать симплекс-метод [5].

2. Численные результаты и сравнение

Программа для проектирования фильтров была написана на языке Fortran95. Для быстрого определения размеров фильтра достаточно ввести технические характеристики фильтра, такие как частоты на краю полосы пропускания fc_1 и fc_2 , потери на входе в полосе пропускания L_s и затухание в полосе заграждения L_p , а также ширину волновода a и толщину диафрагмы t . В процессе проектирования для получения точных значений использовалось 60 мод для большого волновода и 30 мод для малого волновода. На компьютере P4 2.4G без оптимизации время проектирования фильтра 9-го порядка составляло менее трех минут. С оптимизацией время достижения сходимости составляло приблизительно один час.

Ниже приведены несколько примеров проектирования фильтров. В таблице 1 представлены данные для широкополосного полосового фильтра в диапазоне Ka, а в таблице 2 — данные для узкополосных полосовых фильтров в диапазонах K и Ka. Как видно из таблиц, чем шире полоса пропускания, тем большее количество каскадов фильтра требуется для достижения хороших потерь на входе в полосе пропускания. Кроме того, при проектировании широкополосных фильтров, чтобы гарантировать, что размер вставки первого каскада не будет слишком малым (технические требования предусматривают размер более 0,1 мм), часто приходится жертвовать эффективностью потерь на входе в полосе пропускания. Путем многократной корректировки размеров вставки первого каскада и размера фильтра с помощью программы САПР (рисунок 3) можно получить подходящий размер.

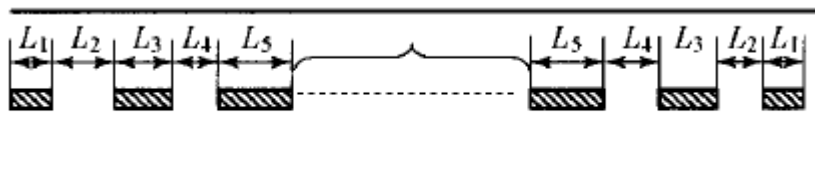


Рисунок 3. Диаграмма размеров фильтра.

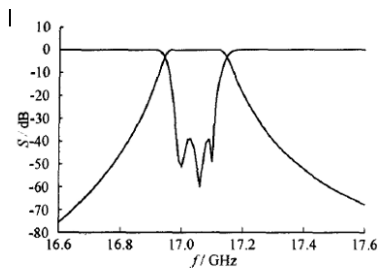
Для проверки корректности этого метода результаты были сопоставлены с результатами, приведенными в ссылке [3]. В каждом расчете использовалось 30 шаблонов, и результаты оказались согласованными.

Таблица 1. Широкополосные полосовые фильтры Ka-диапазона

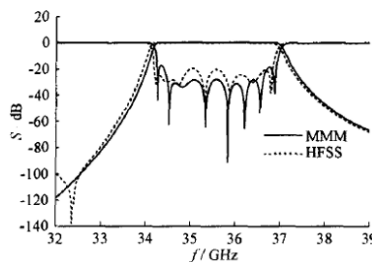
| Размер | Количество полюсов | L1 | L3 | L5 | L7 | L9 | L2 | L4 | L6 | L8 | L10 | Центральная частота | Полоса пропускания 3 дБ |
|--------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|-------------------------|
| mm | | | | | | | | | | | | (GHz) | (MHz) |
| BJ-320 | 8 | 0.105 | 1.568 | 2.439 | 2.692 | 2.754 | 4.012 | 4.114 | 4.118 | 4.118 | | 33.19 | 2000 |
| t=0.1 | 9 | 0.309 | 2.011 | 2.720 | 2.877 | 2.923 | 3.522 | 3.519 | 3.515 | 3.514 | 3.514 | 35.47 | 3000 |
| | 9 | 0.152 | 1.605 | 1.900 | 2.020 | 2.054 | 3.193 | 3.165 | 3.149 | 3.147 | 3.146 | 36.76 | 6000 |

Таблица 2. Узкополосные полосовые фильтры для k-диапазона и ka-диапазона.

| Размер | Количество полюсов | L1 | L3 | L5 | L2 | L4 | L6 | Центральная частота | Полоса пропускания 3 дБ |
|--------|--------------------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|---------------------|-------------------------|
| mm | | | | | | | | (GHz) | (MHz) |
| BJ-140 | 5 | 1.347 | 7.134 | 8.759 | 9.751 | 9.808 | 9.809 | 15.149 | 200 |
| t=1.0 | 5 | 3.320 | 11.892 | 13.912 | 7.353 | 7.322 | 7.321 | 17.075 | 150 |
| BJ-320 | 4 | 1.058 | 4.347 | 4.757 | 5.707 | 5.718 | | 31.038 | 60 |
| t=0.1 | 4 | 1.091 | 4.411 | 4.823 | 5.618 | 5.628 | | 31.263 | 60 |
| | 5 | 1.127 | 4.414 | 4.957 | 3.951 | 3.954 | 3.956 | 37.148 | 240 |
| | 5 | 1.305 | 4.816 | 5.386 | 3.697 | 3.698 | 3.698 | 38.408 | 240 |

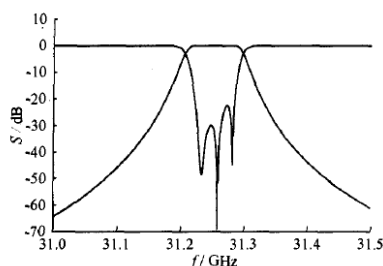


(a) Узкополосный K-диапазон;

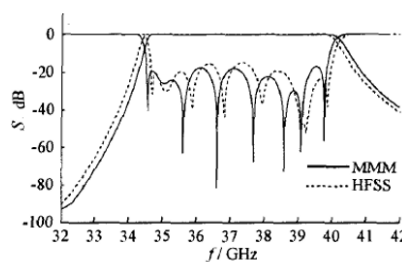


(c) широкополосный Ka-диапазон

(полоса пропускания 3 дБ 3000 МГц)



(b) узкополосный Ka-диапазон



(d) широкополосный Ka-диапазон

(полоса пропускания 3 дБ 6000 МГц)

МГц)

Рисунок 4. Кривые полосовых фильтров для диапазонов k и ka.

В заключение

В данной работе анализируются волноводные фильтры в плоскости E с использованием метода комплексного сохранения мощности и разрабатывается программа САПР на основе прототипа распределения фильтра. Результаты сравниваются с данными из других работ. Наконец,

разработаны несколько узкополосных и широкополосных волноводных полосовых фильтров, и представлены их характеристики. Кроме того, в практической инженерии, из-за механической точности и погрешностей, требуется винтовая настройка и связь. После настройки можно получить фильтр, отвечающий требованиям к характеристикам.

Четырехплечевая планарная щелевая спиральная антенна использует кольцевую резонансную структуру питания. Щелевые спиральные плечи и структура питания вытравлены на противоположных сторонах диэлектрической подложки, что обеспечивает простую конструкцию и удобство изготовления. Добавление нагрузочных резисторов к выводам спиральных плеч может улучшить осевое отношение антенны, но снизит эффективность и коэффициент усиления антенны.

Библиографический список:

1. Вальдемар Куныш. Высокопроизводительная GPS-антенна с вертушкой антенна [С] 1. ION GPS-2000: С.2506—2511
2. Вальдемар Куныш. Антенна с апертурно-связанной щелевой решеткой [Р]. США: 6, 445, 354 В1, 2002
3. Вальдемар Куныш. Щелевая антенна с уменьшенной краевой дифракцией[Р]. США: 6, 452, 560 В2, 2002
4. Нюрнберсер М. В., Волакис Дж. Л.. Новая терминация и щелевая низкоотражающая полость для сверхширокополосных щелевых спиралей[с]. Труды симпозиума IEEE APS, Солт-Лейк-Сити, 2001, 3: С.1528–1531
5. Штуцке Н. А., Филипович Д. С. Четырехканальная щелевая спиральная антенна второго режима аFm с простым однопортовым питанием [J] IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2005, 4: С.213–216.

Научное издание

Коллектив авторов

Сборник материалов LXXIX Международной научной конференции «Техноконгресс»

ISBN 978-5-6040934-2-9

Техниконаучный журнал «Техноконгресс»

Кемерово 2026