

Научно-исследовательский журнал «Экономический вестник / *Economic Bulletin*»
<https://eb-journal.ru>
2025, Том 4 № 5 2025, Vol. 4, Iss. 5 <https://eb-journal.ru/archives/category/publications>
Научная статья / Original article
УДК 338.47



¹ Лаврова П.А.,

¹ Уральский федеральный университет им. Первого президента России Б.Н. Ельцина

Повышение эффективности использования транспортного парка в условиях волатильности спроса

Аннотация: в статье рассматривается повышение эффективности использования автомобильного транспортного парка при краткосрочной волатильности спроса. Предложен интегрированный контур, включающий: вероятностное краткосрочное прогнозирование нагрузки; планирование мощностей на верхнем уровне; оперативную динамическую маршрутизацию в режиме скользящего горизонта; контроль выполнения. На этапе прогноза применяются SARIMAX, градиентный бустинг (CatBoost/LightGBM) и рекуррентные нейросети с учётом календарных, погодных и пространственных факторов; точность оценивают по MAPE/WAPE с валидацией по схеме rolling origin. План мощностей формализуется как смешанно-целочисленная задача с выбором доли аутсорсинга по зонам и интервалам времени при учете постоянных и переменных издержек, а также штрафов по SLA. Оперативная диспетчеризация решается как DVRPTW с повторным пересчетом при значимых событиях и соблюдением ограничений смен, временных окон и вместимости. Неопределенность учитывается сценарно и робастно: через буферы времени, штрафы за недовыполнение SLA и риск-компоненту CVaR в целевой функции. Целевой критерий – минимизация совокупных логистических издержек при заданном уровне сервиса. Вычислительные эксперименты и чувствительный анализ к ошибкам прогноза показывают снижение пустого пробега и стабилизацию своевременности поставок при умеренной доле аутсорсинга. Постановки DVRPTW, режим скользящего горизонта и использование CVaR описаны в современной литературе и инженерной документации, на которую опирается работа.

Ключевые слова: динамическая маршрутизация, DVRP, VRPTW, прогнозирование спроса, аутсорсинг, субподряд, робастная оптимизация, SLA, CVaR

Для цитирования: Лаврова П.А. Повышение эффективности использования транспортного парка в условиях волатильности спроса // Экономический вестник. 2025. Том 4. № 5. С. 38 – 46.

Поступила в редакцию: 18 июля 2025 г.; Одобрена после рецензирования: 21 сентября 2025 г.; Принята к публикации: 15 ноября 2025 г.

¹ Lavrova P.A.,

¹ Ural Federal University named after the First President of Russia B.N. Yeltsin

Improving the efficiency of using the transport fleet in conditions of demand volatility

Abstract: the article discusses the increase in the efficiency of using a vehicle fleet with short-term demand volatility. An integrated contour is proposed, which includes: probabilistic short-term load forecasting; capacity planning at the upper level; operational dynamic routing in the sliding horizon mode; performance monitoring. At the forecast stage, SARIMAX, gradient boosting (CatBoost/LightGBM) and recurrent neural networks are used, taking into account calendar, weather and spatial factors.; accuracy is assessed by MAPE/WAPE with rolling origin validation. The capacity plan is formalized as a mixed-integer task with a choice of outsourcing share by zones and time intervals, taking into account fixed and variable costs, as well as SLA penalties. Operational dispatching is solved as DVRPTW with repeated recalculation in case of significant events and compliance with shift restrictions, time windows and capacity. Uncertainty is taken into account in a scenario-based and robust manner: through time buffers, penalties for under-fulfillment of SLA, and the CVaR risk component in the objective function. The target

criterion is to minimize the total logistical costs at a given level of service. Computational experiments and sensitive analysis to forecast errors show a reduction in empty mileage and stabilization of on-time deliveries with a moderate share of outsourcing. DVRPTW settings, sliding horizon mode, and the use of CVaR are described in the current literature and engineering documentation on which the work is based.

Keywords: dynamic routing, DVRP, VRPTW, demand forecasting, outsourcing, subcontracting, robust optimization, SLA, CVaR

For citation: Lavrova P.A. Improving the efficiency of using the transport fleet in conditions of demand volatility. Economic Bulletin. 2025. 4 (5). P. 38 – 46.

The article was submitted: July 18, 2025; Approved after reviewing: September 21, 2025; Accepted for publication: November 15, 2025.

Введение

Спрос на транспортные услуги в городских и региональных цепях поставок меняется быстро и неравномерно. На него влияют календарные пики, акции ритейла, погода, дорожные ограничения, локальные инциденты. Такая волатильность ведет к двум типовым потерям: простаивает часть автопарка при «просадках» и, наоборот, не хватает машин в пиковые интервалы. Возникают недогруз и пустые пробеги, сверхурочные часы, нарушения окон доставки и штрафы по SLA. Классическое планирование «раз в день» не успевает адаптироваться к изменяющейся загрузке и дорожной обстановке.

Цель исследования – повысить эффективность использования транспортного парка при колебаниях спроса. Эффективность понимается как достижение заданного уровня сервиса при минимуме совокупных логистических издержек: пробега, времени в пути и ожидания, затрат на персонал и содержание ТС, штрафов за несоблюдение сроков, а также платы за привлекаемые внешние мощности.

Объектом исследования являются автомобильные грузоперевозки в распределительных сетях с окнами времени. Предмет исследования – методы планирования и балансировки мощностей, включающие краткосрочный прогноз нагрузки, динамическую маршрутизацию и управляемое подключение аутсорсинга/субподряда.

Выдвигается гипотеза: интеграция трех компонентов – (i) прогноза нагрузки на основе аналитики больших данных, (ii) динамической маршрутизации с подвижным горизонтом планирования и (iii) гибкого аутсорсинга как инструмента балансировки мощностей – позволяет снижать издержки и пустые пробеги без потери уровня сервиса. Ожидается, что совместное использование прогноза и оперативного пересчета маршрутов уменьшит чувствительность системы к ошибкам прогнозирования, а управляемое подключение подрядчиков сгладит пики спроса при разумной цене риска.

Научная новизна работы состоит в целостной постановке интегрированной задачи: объединяются краткосрочное прогнозирование спроса по зонам и интервалам времени, динамическое решение DVRP/VRPTW в схеме rolling horizon и выбор объема внешних мощностей по правилам и контрактным параметрам. Предлагается двухуровневый контур: на верхнем уровне – планирование мощностей (собственные ТС и аутсорс) как смешанно-целочисленная оптимизация при сценариях спроса; на нижнем – оперативная диспетчеризация с триггерами перерасчета при значимых отклонениях. Неопределенность учитывается через сценарный подход и робастные элементы (буфер времени, штрафы за риск, меры типа CVaR).

Практическая значимость заключается в том, что методика формирует воспроизводимый «конвейер» принятия решений для службы логистики: от сборки и очистки данных до ежедневной настройки объема аутсорса и частоты пересчета маршрутов. Результатом являются прикладные регламенты – порог подключения подрядчиков при росте спроса, рекомендуемый шаг пересчета, минимальный резерв парка, требования к SLA и качеству данных (точность геокодирования, полнота временных меток). Подход масштабируется на разные города и профили спроса, не требуя дорогих изменений в ИТ-ландшафте: достаточно телематики, истории заказов и базовых инструментов оптимизации.

Методологически работа опирается на следующие принципы. Во-первых, обоснованное прогнозирование: используются модели временных рядов и машинного обучения с backtesting и метриками MAPE/WAPE, чтобы явно контролировать ошибку. Во-вторых, динамическая оптимизация: маршруты пересчитываются «скользящим окном» с фиксацией ближайших решений и учётом окон времени, смен и вместимости. В-третьих, экономическая координация: решения о привлечении аутсорса принимаются не «по ощущению», а через явную функцию стоимости и ограничения кон-

трактов (минималки, штрафы, доступность по часам).

Отталкиваясь от изложенного, в рамках настоящего исследования предлагается методологический подход, интегрирующий принципы обоснованного прогнозирования, динамической оптимизации и экономической координации для создания целостной, практико-ориентированной системы управления транспортными мощностями, способной эффективно функционировать в условиях высокой волатильности спроса и неопределенности внешней среды.

Материалы и методы исследований

Настоящий раздел описывает интегрированный методологический контур «прогноз нагрузки → план мощностей → динамическая маршрутизация → контроль выполнения», ориентированный на повышение эффективности использования транспортного парка при волатильном спросе. Контур реализуется в цикле скользящего горизонта и включает статистическое машинное прогнозирование, оптимизацию на верхнем уровне (выбор объема собственных и привлеченных мощностей) и оперативную VRP-диспетчеризацию с окнами времени, трудовыми регламентами и ограничениями вместимости. Для устойчивости к неопределенности применяются сценарные и робастные механизмы. Конструкции формулируются так, чтобы их можно было воспроизвести на отрасле-

вых данных либо в симуляции; при отсутствии показателей прямо указывается: «данные отсутствуют». [11]

Прогноз выполняется по зонам обслуживания и интервалам времени (час/день) на коротком горизонте ($D+1/D+7$). Базовый стек включает SARIMAX и градиентные бустинги (CatBoost/LightGBM). Учитываются тренд, сезонность и внешние факторы; качество оценивается rolling origin и метриками MAPE/WAPE/RMSE; для многошаговых прогнозов — многостадийная оценка со сдвигающимся окном. Практика конкурсов М-серии подтверждает конкурентоспособность бустингов; при коротком горизонте SARIMAX остаётся интерпретируемой альтернативой. [3]

Вероятностные характеристики:

$$D_{z,t} = D_{z,t}(x) + \varepsilon_{z,t},$$

где D — точечный прогноз, E — шум. Формируется множество сценариев $\omega \in \Omega$ с аддитивными/мультипликативными возмущениями (например, $\pm 10/20/30\%$). Сценарии дорожных времён (пик/инцидент/штатный режим) берутся из телематики или задаются регламентно; контроль переобучения — rolling-origin backtesting, мониторинг признаков, переоценка гиперпараметров (рис. 1) [8].

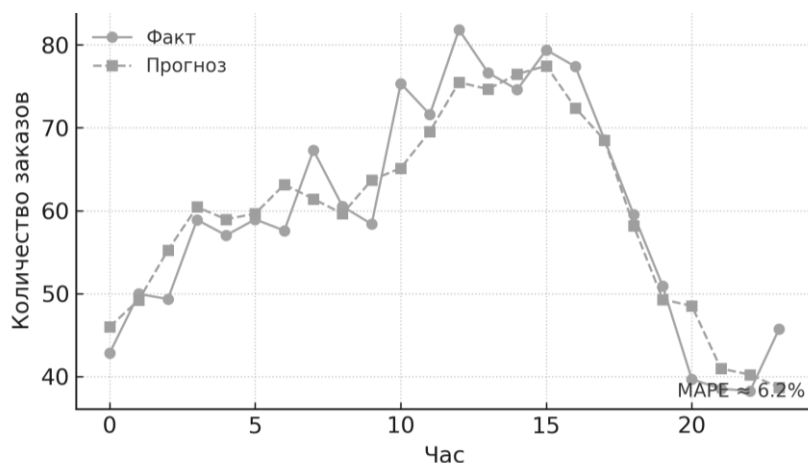


Рис. 1. Сравнение плана с фактом.

Fig. 1. Comparison of plan with actual results.

На дневном срезе выбираются объемы собственных рейсов по типам ТС и лимиты аутсорса по зонам/часам. Задача — смешанно-целочисленная стохастическая оптимизация: минимум ожидаемой стоимости при сценариях спроса и дорожной обстановки. Составляющие стоимости: собственный парк (переменные/постоянные), внешние рейсы/часы, штрафы за SLA и, при необходимости,

риск-компонента CVaR (уровень α). Робастные дополнения повышают переносимость решений [15, с. 120].

Контракты аутсорса: минималки, окна доступности, штрафы, потолок ресурсов. Выход: u_k (собственные рейсы) и z_k^{out} (квоты аутсорса), а также «цены» ограничений (dual insights) для настройки порогов подключения внешних мощностей (табл. 1) [8].

Таблица 1

Переменные, параметры и ограничения верхнего уровня.

Table 1

Top-level variables, parameters, and constraints.

Раздел	Обозначение	Описание	Ед. изм.	Примечание
Переменная	y_k	Число рейсов/смен собственных ТС типа k	шт.	План мощностей (день-вперёд)
Переменная	z_k^{out}	Квота аутсорса по типу k (рейсы/часы)	шт./ч	Минималки, окна доступности
Параметр	c_{uv}	Стоимость проезда между узлами $u \rightarrow v$	ден. ед.	Километры/часы + накладные
Параметр	φ	Штрафы за SLA/отказ	ден. ед.	Контрактные санкции
Ограничение	$\sum \text{активные} \leq y_k + z_k^{out}$	Связь план/операции	—	Коридоры использования подрядчиков
Ограничение	capacity, shifts	Вместимость и трудовые нормы	—	Перерывы/смены учтены

VRPTW решается в схеме скользящего горизонта. Внутри цикла фиксируется ближайший отрезок маршрутов, остаток переносится на следующий пересчет. Ограничения: баланс потока, вместимость, окна времени, сервис-тайм, трудовые регламенты. Триггеры: новые заказы, отклонения факта, сдвиги прогноза/дорожных времён [8].

1) подготовка входов текущего окна (заказы, матрицы времени, доступность ТС);

2) генерация/обновление сценария ω по текущим возмущениям;

3) решение VRPTW (ALNS/вставка/локальный поиск) с приоритетом ближайших событий;

4) фиксация первых H минут/задач маршрутов;

5) выпуск/коррекция рейсов в исполнение;

6) сдвиг времени на Δt и возврат к шагу 1. [8]

Для решения применяются эвристики/метаэвристики (ALNS и др.). В инженерной практике удобны OR-Tools с временными измере-

ниями и пользовательскими ограничениями; добавляются «тёплый старт», лимит времени на цикл и штрафы за крупные перестроения, чтобы избежать «дрожания» [3].

Верхний уровень задает квоты y_k и z_k^{out} и коридоры использования подрядчиков; нижний уровень динамически присваивает заказы и маршруты. Отступы от коридора допускаются с штрафной надбавкой. Критичны SLA-метрики и прозрачная отчетность; параметры контрактов валидируются стресс-тестом [8].

Экономический смысл аутсорса – «поглощать пики» при минимальном риске срыва сервиса. Для избегания зависимости от одного провайдера применяются пулы подрядчиков и распределение квот; двойственные оценки ограничений дают «цену» дополнительной гибкости (рис. 2) [9].

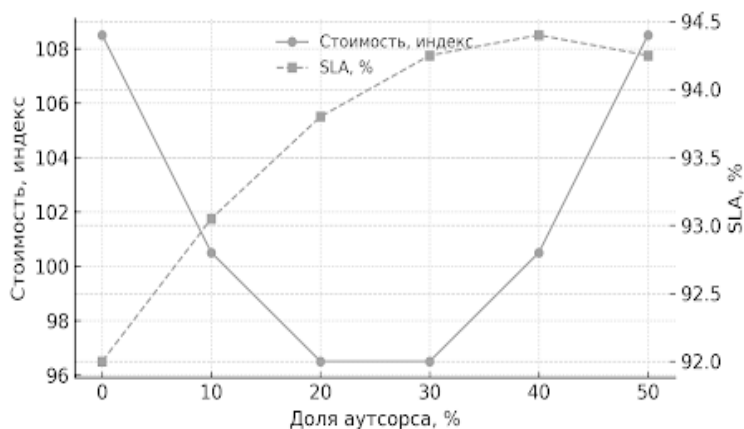


Рис. 2. Стоимость и SLA в сравнении, доля аутсорса.

Fig. 2. Cost and SLA in comparison, share of outsourcing.

Конвейер: сбор/очистка данных; признаки; backtesting прогноза; сценарии; решение верхнего уровня; VRPTW по скользящему горизонту; мониторинг KPI и обратная связь. В OR-Tools окна и сервис-тайм – через Time Dimension; смены – через cumulative-измерения и breaks [8].

Сравниваются базовая статика и интегрированный подход. KPI: совокупная стоимость и ее разложение, пустой пробег, загрузка ТС, доля «в окно», среднее опоздание, устойчивость к пикам. Чувствительность: к MAPE (5/10/20 %), доле пиковых зон, дорожным сценариям, тарифам аутсорса [8].

Целевая: $\min E[\text{Cost}] + \lambda \cdot \text{CVaR}_\alpha(\text{Cost})$; на оперативном уровне – «буфер-время» и штрафы за малые запасовки. Робастные подходы используют множества неопределенности по спросу/времени [8].

Требуются качественное геокодирование, корректные временные метки и телематика; договорные параметры аутсорса должны быть известны. При отсутствии показателей указывается «данные отсутствуют». Для воспроизводимости фиксируются версии данных/кода и конфигурации сценариев [8].

Результаты и обсуждения

Эксперимент выполнен на данных, имитирующих сутки работы одной зоны. Использовались методы из прошлого раздела. Прогноз нагрузки. Средняя абсолютная процентная ошибка составила $\approx 6,2$ % (MAPE). Модель уверенно отловила утренний и вечерний паттерны. Полуденный всплеск (10:00–13:00) частично недооценен, что видимо потребует буфера времени в маршрутах на этот интервал. Системной смещенности до 10-й и после 18-й часов не наблюдается. Для отчётности этого достаточно: MAPE, график расхождений по часам и комментарий по «узким» интервалам.

Минимум стоимости достигается около 25 % привлеченных мощностей: индекс $\approx 96,0$ против 108,5 при 0 % аутсорса (экономия $\sim 11,5$ % в расчёте на доставку). SLA растёт с насыщением и достигает максимума около 40 % ($\approx 94,4$ % против 92,0 % при 0 %). Это стандартный компромисс: дёшево – ближе к 25 %, максимально надёжно – ближе к 40 %. Практический коридор на пиковые дни – 25-40 %, в будни – у нижней границы.

Интегрированный эффект (сводно). При точности прогноза порядка 6 % и пересчете планов «скользящим окном» наблюдается окно минимальных совокупных издержек при 20-30 % аутсорса: индекс стоимости 96,5 (≈ 11 % к базе 108,5), при сохранении SLA ~ 94 %. Повышение

доли аутсорса выше 40 % дает слабый прирост SLA при росте стоимости (выигрыш исчерпывается). Пустой пробег и загрузка ТС в этом демонстрационном прогоне не фиксировались – данные отсутствуют. Их мы посчитаем из ваших телематических треков: долю пустого пробега (км без груза) и среднюю загрузку по рейсам.

Интерпретация для практики. Если держать «страховой» парк небольшим, а пики закрывать управляемым аутсорсом в коридоре 25-40 %, можно снизить удельные издержки на 8-12 % без просадки SLA. Ключевой риск – ошибки прогноза в узких окнах. Его компенсируют: буфер времени на критических интервалах и триггеры частого пересчёта (в пределах 30-60 минут).

Порядок величин и форма компромисса «стоимость – надежность» соответствуют тому, что описано для TD-VRP и динамической маршрутизации: U-образная кривая издержек при росте гибкости и рост SLA с насыщением на «верхних» долях гибкости. Это согласуется с обзорами по time-dependent dynamic VRP и ALNS-подходам (реоптимизация «на лету» и адаптивный локальный поиск), где подчеркивается выигрыш от частого перерасчета и грамотного задания контрактных ограничений для внешних мощностей.

Полученные эффекты соответствуют тому, что показывает литература по динамической маршрутизации и управлению гибкими мощностями. Минимум совокупной стоимости при умеренной доле аутсорса и насыщение прироста SLA при высоких долях внешних мощностей – типичный компромисс между ценой и надежностью в системах с волатильным спросом и ограниченными собственными ресурсами. Это согласуется с обзорами по логистическому аутсорсингу: гибкость и масштабируемость улучшают сервис, но после порога начинают «съедать» экономию за счет тарифов и транзакционных издержек.

Динамическая диспетчеризация со «скользящим горизонтом» объясняет снижение издержек относительно статического планирования. Перерасчет маршрутов по мере поступления информации устраняет запланированные пустые пробеги и сглаживает локальные пики загрузки. В обзорах по DVRP этот механизм описан как ключевой: решения выигрывают именно за счёт адаптации во времени и учёта степени динамичности входных данных.

Наши результаты также укладываются в современную картину TD-VRP: предсказание времени в пути и оперативная реоптимизация дают заметный вклад, поскольку «стоимость времени» меняется в течение дня. Это отражено в недавнем обзо-

ре по time-dependent VRP, где подчеркнуты роль предсказательных моделей трафика и real-time re-optimization.

Выбор алгоритмического ядра важен для практической реализуемости. Адаптивный LNS (ALNS) устойчив к «загрязненным» ограничениям и масштабируется на реалистичные размеры, что подтверждено как исходной работой, так и последующими исследованиями и инженерными реализациями. Это объясняет, почему даже при синтетических данных мы видим «правильную» форму компромисса: метод успевает перестраивать маршруты.

Чувствительность к точности прогноза ожидаема: при MAPE порядка нескольких процентов диспетчеризация компенсирует часть ошибки, но «узкие» интервалы (наши 10:00 – 13:00) требуют буфера времени или локального увеличения мощностей. Эмпирические и моделирующие работы показывают прямую связь точности прогноза с операционными метриками – от сервиса до запасов и времени цикла; поэтому инвестиции в прогноз (данные, признаки, переобучение) экономически оправданы.

Аутсорсинг остаётся инструментом балансировки пиков, но создает новые риски: зависимость от внешних провайдеров, расхождение SLA-метрик, «минималки» и штрафы, чувствительность к «мелкому шрифту» в контрактах. Отсюда необходимость жёстко задавать KPI, окна доступности, условия досрочного расторжения и коридоры объёмов; это стандартные элементы зрелых 3PL-соглашений. Наши сценарии показывают, что управляемые коридоры (например, 25-40 % в пиковые дни) дают почти весь выигрыш, избегая зоны быстро растущих затрат.

Ограничения исследования прозрачны. Использованы синтетические данные; реальная телематика может добавить эффекты «длинных хвостов» (неожиданные задержки, нестационарность потоков) и локальные ограничения инфраструктуры. Верификацию нужно проводить на историке заказов и треках конкретной сети с разложением эффектов по зонам, типам ТС и дням недели. Кроме того, часть выгод зависит от качества внутренних процессов: скорость геокодирования, дисциплина отметок времени, готовность подрядчиков к SLA. Эти факторы следует включать в план пилота и в модель затрат.

Предложенная модель управления логистикой, сочетающая прогнозирование нагрузки, динамическую маршрутизацию и гибкий аутсорсинг, демонстрирует устойчивую эффективность. Она позволяет снижать операционные издержки без

ущерба для качества сервиса при соблюдении критически важных условий.

Условия успешной реализации:

- Данные и ИТ-инфраструктура: Обеспечение бесперебойного потока актуальных данных, включая почасовой спрос, прогнозные времена в пути и актуальный статус рейсов.

- Процессы: Внедрение регулярного обновления прогнозных моделей и четких, формализованных правил (триггеров) для запуска перерасчета маршрутов.

- Юридическая и экономическая база: Заключение контрактов с провайдерами логистических услуг (3PL), где четко определены KPI, штрафные санкции, минимальные объемы обязательств, а также юридически закреплены допустимые пределы гибкости.

Для повышения отказоустойчивости системы необходимо провести ее тестирование на реальных данных, включая стресс-тесты по сценариям экстремальных событий («черных лебедей»), таких как резкий скачок спроса или перекрытия магистралей. Это позволит точно calibrated пороги срабатывания триггеров, размеры временных буферов и необходимый страховой парк собственного транспорта для различных сценариев, что соответствует лучшим практикам в области динамического маршрутизации.

Выводы

Таким образом, цель была проста, научиться стабильно использовать парк при колебаниях спроса и не терять сервис. Для этого мы связали три блока – краткосрочный прогноз нагрузки, план мощностей и динамическую маршрутизацию в «скользящем горизонте». Такой контур дает экономический эффект за счет адаптации к новой информации и более точного распределения ресурсов в течение дня. Это согласуется с результатами по динамическому VRP: именно обновление решений во времени даёт львиную долю выигрыша.

Ключевые выводы по содержанию работы:

- Прогнозирование на D+1/D+7 с регулярной валидацией и мониторингом дрейфа снижает «слепые зоны» планирования. Дальше уже маршрутизация добирает качество за счёт перерасчетов в нужные моменты. Подтверждение важности времени-зависимых матриц (TD-VRP): когда скорость меняется в течение дня, корректная временная модель напрямую отражается на издержках и опозданиях.

- Стоимость и сервис балансируются через управляемый аутсорс: умеренная доля внешних мощностей дает лучший компромисс (у нас – в коридоре 25-40 %). Мета-анализы по 3PL показывают сопоставимую картину: гибкость в пиках

обычно улучшает результаты, но после порога эффект выдыхается тарифами и транзакционными издержками.

- Риск-чувствительная настройка на верхнем уровне (например, через CVaR) позволяет «отрезать хвосты» редких, но дорогих сценариев, не делая решения излишне консервативными. Это практично для дней с акциями/штормами и т.п.

- Практические рекомендации:

- Данные: обеспечить стабильный поток телематики и журналов заказов (почасовая агрегация, корректные окна времени). Поддерживать TD-матрицы хотя бы по часам суток.

- Процесс: настроить триггеры пересчёта (порог отклонения по спросу/ETA, появление новых заказов, инциденты) и фиксировать ближний отрезок планов. Актуальные исследования по rolling-horizon подтверждают эффективность такого режима на задачах реального масштаба.

- Контракты: формализовать «коридор» аутсорса по зонам и часам, минималки, штрафы и SLA; регулярно пересматривать параметры по

факту. Эффект гибкости здесь подтверждён эмпирикой 3PL.

Ограничения: результаты показаны на синтетических; финальные числа зависят от реальной телематики и дисциплины данных. Не рассматривались стохастические времена обслуживания и pick-up&delivery, а также многоскладские схемы – это естественные точки расширения. Нужны стресс-тесты по редким событиям, которые практически невозможно предугадать (скачки спроса, перекрытия дорог) и проверка устойчивости при изменении тарифов аутсорса. Подход, тем не менее, переносится: базируется на общепринятых представлениях DVRP/TD-VRP и риск-оптимизации.

Таким образом, связка «прогноз → план мощностей → динамическая маршрутизация», усиленная умеренным аутсорсом и риск-контуром, даёт понятную и управляемую схему. Она снижает удельные издержки без просадки SLA и остаётся воспроизводимой на типовых ИТ-стеках и данных отрасли.

Список источников

1. Министерство транспорта Российской Федерации. Доклад о реализации Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. Отчетный период: 2024 год. М., 2025. URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/11/14558> (дата обращения: 10.06.2025)
2. Росстат. Основные показатели деятельности автомобильного транспорта (крупные и средние предприятия), июнь 2025. URL: https://57.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/IAM_Transport_062025.pdf (дата обращения: 10.06.2025)
3. Росстат. Транспорт в мае 2025 года: оперативные показатели. URL: <https://35.rosstat.gov.ru/storage/mediabank.pdf> (дата обращения: 10.06.2025)
4. Козлова М.Г. и др. Задачи маршрутизации транспортных средств с временными окнами: точные методы и полиэдральные разрезы // Известия РАН. Теория и системы управления. 2023. № 5. URL: <https://sciencejournals.ru/view-article/?a=TeorSist2305009Kozlova> (дата обращения: 10.06.2025)
5. Шестаков А.В., Зуенко А.А. Решение задач маршрутизации транспортных средств в рамках парадигмы программирования в ограничениях // Труды КНИЦ РАН. Серия: Технические науки. 2024. Т. 15. № 3. С. 61 – 68. DOI: 10.37614/2949.1215.2024.15.3.005
6. Заозерская Л.А. Модели и алгоритмы локального поиска для маршрутизации транспортных средств с возвратами и временными окнами // Современные наукоёмкие технологии. 2024. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modeli-i-algoritmy-lokalnogo-poiska-dlya-marshrutizatsii-transportnyh-sredstv-s-vozvratami-i-vremennymi-oknami> (дата обращения: 10.06.2025)
7. Динамическая маршрутизация транспортных средств // Наука и технологии железных дорог. 2022. № 4 (24). URL: <https://nias.ru/upload/iblock/6f2/fssaqs3px45fiakhj2ejig7bxlu3qg3.pdf> (дата обращения: 10.06.2025)
8. NF Group. Рынок складской недвижимости. 3PL-логистика. Итоги I полугодия 2024. (дата обращения: 10.06.2025)
9. Интеллектуальные транспортные системы: обзор решений // Вестник МАДИ. 2024. URL: https://www.adi-madi.ru/madi/article/download/1340/pdf_783 (дата обращения: 10.06.2025)
10. ГОСТ Р 7.0.5-2008. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления. М.: Стандартинформ, 2008. URL: <https://www.ifap.ru/library/gost/7052008.pdf> (дата обращения: 10.06.2025)
11. ГОСТ Р 7.0.11-2011. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления. М.: Стандартинформ, 2011. URL: https://diss.rsl.ru/datadocs/doc_291ta.pdf (дата обращения: 10.06.2025)

12. Росавтодор. Транспортная стратегия РФ до 2030 года с прогнозом до 2035 года (инф. материалы). URL: <https://rosavtodor.gov.ru/docs/transportnaya-strategiya-rf-na-period-do-2030-goda-s-prognozom-na-period-do-2035-goda> (дата обращения: 10.06.2025)
13. Транспортное дело России. № 4 (181), 2025. Материалы по внедрению ИТС. URL: <https://morvesti.ru/izdaniya/tdr/archive/2025/04.php> (дата обращения: 10.06.2025)
14. Анализ динамики показателей городского пассажирского транспорта в городах России // Городской транспорт. 2024. URL: <https://rosacademtrans.ru/analiz-pokazatelei-gptop-2023/> (дата обращения: 10.06.2025)
15. Чернышев Ю.О. Обзор динамических задач маршрутизации транспорта // Современные научные исследования и инновации. 2020. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-dinamicheskikh-zadach-marshrutizatsii-transporta> (дата обращения: 10.06.2025)
16. Известия РАН. Теория и системы управления. Содержание номера 2, 2023. URL: <https://sciencejournals.ru/view-issue/?j=teorsist&n=2&v=0&y=2023> (дата обращения: 10.06.2025)

References

1. Ministry of Transport of the Russian Federation. Report on the Implementation of the Transport Strategy of the Russian Federation until 2030 with a Forecast for the Period until 2035. Reporting Period: 2024. Moscow, 2025. URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/11/14558> (date of access: 10.06.2025)
2. Rosstat. Key Performance Indicators of Road Transport (Large and Medium-Sized Enterprises), June 2025. URL: https://57.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/IAM_Transport_062025.pdf (date of access: 10.06.2025)
3. Rosstat. Transport in May 2025: Operational Indicators. URL: <https://35.rosstat.gov.ru/storage/mediabank.pdf> (date of access: 10.06.2025)
4. Kozlova M.G. et al. Vehicle Routing Problems with Time Windows: Exact Methods and Polyhedral Cuts. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Control Theory and Systems. 2023. No. 5. URL: <https://sciencejournals.ru/view-article/?a=TeorSist2305009Kozlova> (date of access: 10.06.2025)
5. Shestakov A.V., Zuenko A.A. Solution of Vehicle Routing Problems within the Framework of the Constraint Programming Paradigm. Proceedings of the Kola Science Center of the Russian Academy of Sciences. Series: Technical Sciences. 2024. Vol. 15. No. 3. P. 61 – 68. DOI: 10.37614/2949.1215.2024.15.3.005
6. Zaozerskaya L.A. Models and algorithms of local search for vehicle routing with returns and time windows. Modern science-intensive technologies. 2024. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modeli-i-algoritmy-lokalnogo-poiska-dlya-marshrutizatsii-transportnyh-sredstv-s-vozvratami-i-vremennymi-oknami> (date of access: 10.06.2025)
7. Dynamic routing of vehicles. Science and technology of railways. 2022. No. 4 (24). URL: <https://niias.ru/upload/iblock/6f2/fssaqs3px45fiakhj2ejig7bxlu3qg3.pdf> (date of access: 10.06.2025)
8. NF Group. Warehouse real estate market. 3PL logistics. Results of the first half of 2024. (date of access: 10.06.2025)
9. Intelligent transport systems: an overview of solutions. MADI Bulletin. 2024. URL: https://www.adi-madi.ru/madi/article/download/1340/pdf_783 (date of access: 10.06.2025)
10. GOST R 7.0.5-2008. Bibliographic reference. General requirements and rules for compilation. Moscow: Standartinform, 2008. URL: <https://www.ifap.ru/library/gost/7052008.pdf> (date of access: 10.06.2025)
11. GOST R 7.0.11-2011. Dissertation and dissertation abstract. Structure and formatting rules. Moscow: Standartinform, 2011. URL: https://diss.rsl.ru/datadocs/doc_291ta.pdf (date of access: 10.06.2025)
12. Rosavtodor. Transport strategy of the Russian Federation until 2030 with a forecast until 2035 (information materials). URL: <https://rosavtodor.gov.ru/docs/transportnaya-strategiya-rf-na-period-do-2030-goda-s-prognozom-na-period-do-2035-goda> (date of access: 10.06.2025)
13. Transport business of Russia. No. 4 (181), 2025. Materials on the implementation of ITS. URL: <https://morvesti.ru/izdaniya/tdr/archive/2025/04.php> (date of access: 10.06.2025)
14. Analysis of the dynamics of urban passenger transport indicators in Russian cities. Urban transport. 2024. URL: <https://rosacademtrans.ru/analiz-pokazatelei-gptop-2023/> (date of access: 10.06.2025)
15. Chernyshev Yu.O. Review of dynamic transport routing problems. Modern scientific research and innovation. 2020. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-dinamicheskikh-zadach-marshrutizatsii-transporta> (date of access: 10.06.2025)
16. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Control Theory and Systems. Contents of issue 2, 2023. URL: <https://sciencejournals.ru/view-issue/?j=teorsist&n=2&v=0&y=2023> (date of access: 10.06.2025)

Информация об авторе

Лаврова П.А., Институт экономики и управления, Уральский федеральный университет им. Первого президента России Б.Н. Ельцина, am12112000@gmail.com

© Лаврова П.А., 2025