

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СЕЗОННОГО СПРОСА НА ЗАПАСНЫЕ ЧАСТИ В МУЛЬТИБРЕНДОВЫХ АВТОСЕРВИСАХ ОСТРОВНОЙ ЭКОНОМИКИ: ПОДХОД НА ОСНОВЕ ДАННЫХ (КИПР)

Джованнис Симос <sup>1</sup>, В.И Сарбаев <sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup> ФГАОУ ВО «Московский политехнический университет», г. Москва, Россия,  
<sup>1</sup> visarbaev@gmail.com

**Аннотация.** Статья посвящена разработке методики прогнозирования сезонного спроса на запасные части для мультибрендовых автосервисных центров Республики Кипр. Предложена математическая модель на основе многофакторной регрессии с учетом сезонности туристических потоков и специфики островной логистики. Апробация методики показала снижение средней ошибки прогноза до 14% и повышение уровня обслуживания до 95,8%.

**Ключевые слова:** прогнозирование спроса, запасные части, автосервис, островная экономика, сезонность, управление запасами, Кипр, регрессионная модель

## FORECASTING SEASONAL DEMAND FOR SPARE PARTS IN MULTI-BRAND AUTO SERVICE CENTERS IN ISLAND ECONOMY: DATA-DRIVEN APPROACH (CYPRUS)

Tziovannis Simos <sup>1</sup>, V.I Sarbaev <sup>2</sup>  
<sup>1,2,3</sup> Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia,  
<sup>1</sup> visarbaev@gmail.com

**Abstract.** The article focuses on developing a methodology for forecasting seasonal demand for spare parts in multi-brand auto service centers in the Republic of Cyprus. A mathematical model based on multifactorial regression is proposed, taking into account the seasonality of tourist flows and the specifics of island logistics. The methodology validation showed a reduction in average forecast error to 14% and an increase in service level to 95.8%.

**Keywords:** demand forecasting, spare parts, auto service, island economy, seasonality, inventory management, Cyprus, regression model

Управление запасами запасных частей представляет собой одну из критических задач для автосервисных предприятий, особенно в условиях островной экономики. Республика Кипр, характеризующаяся удаленностью от основных логистических центров Европы и выраженной сезонностью туристических потоков, создает уникальные вызовы для организации бесперебойного снабжения автосервисных центров необходимыми комплектующими. Средний возраст автомобильного парка страны составляет 13,2 года, что определяет высокий спрос на запасные части, при этом на запасы приходится от 40 до 85 процентов оборотных активов автосервисных предприятий.

Специфика кипрского рынка автосервисных услуг заключается в преобладании мультибрендовых предприятий малого и среднего бизнеса, составляющих более 80 процентов от общего числа зарегистрированных автосервисных центров. Это обуславливает необходимость управления широкой номенклатурой запасных частей при

ограниченных складских площадях и финансовых ресурсах. Низкая средняя рентабельность автосервисного бизнеса на Кипре, составляющая 3,16 процента за последние годы, делает критически важной оптимизацию всех бизнес-процессов, включая управление запасами.

Традиционные методы расчета потребности в запасных частях, разработанные для автотранспортных предприятий с известной структурой парка, не учитывают стохастический характер обращений в независимые автосервисные центры [3,5,6]. Существующие подходы, основанные на нормативах или простой экстраполяции исторических данных, не обеспечивают требуемой точности прогнозирования в условиях высокой неопределенности спроса и множественных факторов влияния [1,2,8]. В связи с этим актуальной становится разработка адаптивных методов, сочетающих преимущества математического моделирования с учетом специфических условий функционирования автосервисных предприятий в островной экономике [4,7].

Целью настоящего исследования является разработка методики прогнозирования сезонного спроса на запасные части для мультибрендовых автосервисных центров с учетом особенностей островной экономики Республики Кипр. Исследование базируется на трехлетних данных автосервисного центра в городе Лимассол, обрабатывающего в среднем двадцать пять автомобилей в сутки и поддерживающего номенклатуру более девятистот позиций запасных частей.

Методологическую основу исследования составляет многофакторная регрессионная модель, учитывающая комплекс детерминант спроса на запасные части. Предложенная классификация факторов включает конструкционные характеристики автомобилей, эксплуатационные параметры, технологические аспекты обслуживания, организационные особенности автосервисного бизнеса, а также компоненты устойчивого развития в рамках концепции экологической, социальной и управленческой ответственности. Для условий Кипра особое значение приобретают сезонный фактор, связанный с туристическими потоками, увеличивающими спрос на быстроизнашиваемые детали на сорок-шестьдесят процентов в летний период, и логистические ограничения островного государства.

Математическая модель прогнозирования спроса представлена в виде степенной регрессии, где зависимая переменная отражает расход конкретной запасной части, а независимые переменные включают глубину модельного ряда обслуживаемых автомобилей, средний возраст автопарка, интенсивность эксплуатации, показатели качества технического обслуживания, уровень применения инновационных технологий, степень специализации автосервисного центра, объем расхода в предыдущем периоде, индекс цен на запасные части, а также показатель углеродной эмиссии от логистических операций. Сезонная компонента моделируется с использованием гармонических функций, позволяющих учитывать циклические колебания спроса в течение года [2].

Для построения модели использовались ежемесячные данные о расходе запасных частей за тридцать шесть месяцев по пяти основным категориям, включающим тормозные колодки, датчики кислорода, топливные насосы, ремни газораспределительного механизма и ступицы колес. Анализ динамики расхода выявил различные паттерны спроса: от относительно стабильного с выраженной сезонностью для быстроизнашиваемых расходников до высоковолатильного со случайными всплесками для редко востребованных узлов. Коэффициент вариации спроса колеблется от 0,25 для тормозных колодок до 0,60 для топливных насосов, что требует дифференцированного подхода к управлению различными категориями номенклатуры.

В таблице 1 представлены основные характеристики спроса на исследуемые категории запасных частей, полученные на основе анализа статистических данных автосервисного центра.

Таблица 1 – Характеристики спроса на основные категории запасных частей  
Table 1 – Demand characteristics for main spare parts categories

| Категория запчастей | Средний расход, шт/мес | Коэфф. вариации | Уровень сервиса, % |
|---------------------|------------------------|-----------------|--------------------|
| Тормозные колодки   | 430                    | 0,25            | 98,5               |
| Датчики кислорода   | 28                     | 0,42            | 95,8               |
| Топливные насосы    | 3,2                    | 0,58            | 92,3               |
| Ремни ГРМ           | 18                     | 0,31            | 96,7               |
| Ступицы колес       | 6,5                    | 0,49            | 93,4               |

Представленные в таблице 1 данные свидетельствуют о значительной вариативности спроса по различным категориям запасных частей. Тормозные колодки демонстрируют наиболее высокий средний расход и стабильность, что обусловлено их регулярной заменой в рамках планового технического обслуживания. Топливные насосы характеризуются низким средним расходом, но высокой вариативностью, что связано со случайным характером их выхода из строя. Достигнутые уровни сервиса отражают фактическую доступность соответствующих запасных частей на складе в момент обращения клиента.

Анализ сезонных колебаний спроса проводился методом хронологических средних с расчетом индексов сезонности для каждого месяца года. Для тормозных колодок индекс сезонности варьируется от 0,85 в апреле-мае до 1,20 в июле-августе, что отражает влияние туристического сезона на интенсивность эксплуатации арендных автомобилей. Графическое представление сезонной динамики спроса приведено на рисунке 1.



Рисунок 1 – Сезонная динамика спроса на тормозные колодки  
Figure 1 – Seasonal dynamics of demand for brake pads

Представленная на рисунке 1 динамика наглядно демонстрирует устойчивый рост спроса в летние месяцы с пиковыми значениями в июле и сентябре. Зимний период характеризуется относительно стабильным спросом с небольшим снижением в конце года, связанным с сокращением количества рабочих дней и откладыванием несрочных ремонтов. Весенний период показывает умеренный рост, обусловленный подготовкой автомобилей к летнему сезону.

Разработанная регрессионная модель была откалибрована методом наименьших квадратов с использованием робастных оценок для минимизации влияния выбросов. Валидация модели на независимой тестовой выборке, составляющей двадцать процентов от общего объема данных, показала ее высокую прогностическую способность. Средняя абсолютная процентная ошибка составила менее пятнадцати процентов для категорий со стабильным спросом и менее двадцати пяти процентов для волатильных категорий. Коэффициент детерминации превысил 0,82 для всех исследованных категорий запасных частей.

Практическая апробация разработанной методики в реальных условиях автосервисного центра осуществлялась в течение двенадцати месяцев с поэтапным внедрением алгоритмов прогнозирования. На первом этапе методика применялась для категории быстрооборачиваемых запасных частей, на втором этапе охват был расширен на позиции средней оборачиваемости, на третьем этапе осуществлено полномасштабное внедрение по всей номенклатуре. Результаты внедрения показали повышение уровня сервиса с 87,3 до 95,8 процента, увеличение оборачиваемости запасов с 8,2 до 11,7 раз в год, снижение среднего уровня запасов на 24,1 процента при одновременном сокращении случаев дефицита в 4,4 раза.

Экономический эффект от внедрения методики составил 58,5 тысяч евро в год при инвестициях 42,3 тысячи евро, обеспечивая срок окупаемости менее девяти месяцев. Структура экономического эффекта включает снижение затрат на хранение за счет оптимизации уровня запасов, сокращение потерь от дефицита и упущенной выгоды, оптимизацию транспортных расходов через консолидацию заказов, экономию от высвобождения оборотного капитала. Дополнительно достигнуто снижение углеродного следа от логистических операций на тридцать один процент за счет сокращения количества поставок на двадцать три процента и увеличения средней загрузки транспорта с шестидесяти двух до восьмидесяти четырех процентов.

Анализ чувствительности показал устойчивость разработанной методики к вариации ключевых параметров внешней среды. При изменении спроса в пределах плюс-минус двадцать процентов от прогнозных значений снижение эффективности системы не превышает пять-семь процентов, что подтверждает робастность алгоритмов. Имитационное моделирование методом Монте-Карло с генерацией десяти тысяч сценариев возможного спроса подтвердило высокую надежность прогнозов при различных реализациях случайных факторов.

Предложенная методика учитывает специфические ограничения, характерные для автосервисных центров островной экономики, включая ограниченность складских площадей, минимальные партии поставки, различные сроки доставки от одного-двух дней для локальных поставщиков до двух-трех недель для импорта, а также необходимость поддержания высокого уровня сервиса в условиях интенсивной конкуренции. Разработанные дифференцированные алгоритмы управления запасами для различных категорий номенклатуры позволяют оптимизировать баланс между затратами на хранение и уровнем обслуживания клиентов.

Таким образом, разработанная методика прогнозирования сезонного спроса на запасные части демонстрирует высокую эффективность при применении в мультибрендовых автосервисных центрах островной экономики. Учет комплекса факторов, включая сезонность туристических потоков, логистические ограничения и требования устойчивого развития, позволяет достичь существенного повышения точности прогнозов и экономических показателей деятельности автосервисных предприятий. Методика может быть адаптирована для применения в других странах со схожими условиями функционирования автосервисного бизнеса, что определяет ее практическую значимость и перспективы дальнейшего развития.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бугримов, В. А. Статистическая основа имитационного моделирования системы управления запасами предприятия автосервиса / В. А. Бугримов, А. А. Шутков, А. А. Данилов // Мир транспорта и технологических машин. – 2017. – № 1. – С. 132–138.
- 2 Гришин, А. С. Разработка методики прогнозирования потребности предприятий автосервиса в запасных частях : : 05.22.10 / Гришин Александр Сергеевич. – М., 2005. – 153 с.
- 3 Гулый, В. В. Методика прогнозирования потребности и оптимизации количества запасных частей дилерской сети станций технического обслуживания : : 05.22.10 / Гулый Владислав Вячеславович. – М., 2022. – 150 с.
- 4 Крамаренко, Е. Р. Модель управления запасами в автосервисе / Е. Р. Крамаренко, И. А. Никулин, А. В. Щербакова // Исследование и проектирование интеллектуальных систем в автомобилестроении, авиастроении и машиностроении : сборник статей. – 2019. – С. 128–131.
- 5 Абдулрахман, М. Д. Повышение гибкости и устойчивости цепочки поставок автомобильных запчастей / М. Д. Абдулрахман, Р. К. Субраманьян, С. К. Хуэй [и др.] // Науки социально-экономического планирования. – 2022. – Том 85. – Артикул 101401.
- 6 Чен, С. Интегрированный подход, основанный на глубоком обучении, для прогнозирования технического обслуживания автомобилей с использованием данных ГИС / С. Чен, Дж. Лю, Х. Ву [и др.] // Инженерия надежности и безопасность систем. – 2021. – Том 216. – Артикул 107919.
- 7 Рамос, Э. Модель управления запасами, основанная на бережливой цепочке поставок, для повышения уровня обслуживания дистрибьютора автомобильного сектора / Э. Рамос, Д. Рокас, Э. Уэрта [и др.] // Международный журнал управления цепочками поставок. – 2020. – Том 9, № 2. – С. 113-131.
- 8 Шен, З. Дж. М. Оптимизационные модели для обслуживания электромобилей: обзор литературы / З. Дж. М. Шен, М. Фенг, К. Мао, Л. Ран // Транспортные исследования, часть В: Методология. – 2019. – Том 128. – С. 462-477.

## REFERENCES

- 1 Bugrimov, V. A. Statistical basis of simulation modeling of the inventory management system of a car service enterprise / V. A. Bugrimov, A. A. Shutov, A. A. Danilov // The world of transport and technological machines. – 2017. – No. 1. – pp. 132-138.
- 2 Grishin, A. S. Development of a methodology for predicting the needs of car service enterprises in spare parts : : 05.22.10 / Grishin Alexander Sergeevich, Moscow, 2005– 153 p.
- 3 Gulyi, V. V. Methodology for predicting the need and optimizing the number of spare parts in the dealer network of service stations : 05.22.10 / Gulyi Vladislav Vyacheslavovich. Moscow, 2022, 150 p.
- 4 Kramarenko E. R., Nikulin I. A., Shcherbakova A.V. Inventory management model in a car service station // Research and design of intelligent systems in the automotive, aircraft, and mechanical engineering industries : a collection of articles. – 2019. – pp. 128-131.
- 5 Abdulrahman, M. D. Increasing the flexibility and sustainability of the automotive spare parts supply chain / M. D. Abdulrahman, R. K. Subramanian, S. K. Hui [et al.] // Sciences of socio-economic planning. – 2022. – Volume 85. – Article 101401.
- 6 Chen, S. Integrated approach based on deep learning for predicting vehicle maintenance using GIS data / S. Chen, J. Liu, H. Wu [et al.] // Reliability engineering and system security. – 2021. – Volume 216. – Article 107919.
- 7 Ramos, E. An inventory management model based on a lean supply chain to improve the service level of an automotive distributor / E. Ramos, D. Rojas, E. Huerta [et al.] // International Journal of Supply Chain Management. 2020. Volume 9, No. 2. pp. 113-131.
- 8 Shen, Z. J. M. Optimization models for electric vehicle maintenance: a review of the literature / Z. J. M. Shen, M. Feng, K. Mao, L. Ran // Transport Research, part B: Methodology. – 2019. – Volume 128. – pp. 462-477.