

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2023, Том 15, № 3 / 2023, Vol. 15, Iss. 3 <https://esj.today/issue-3-2023.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/15ECVN323.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Тахтамышев, Х. М. Обоснование методов прогнозирования потребности в запасных частях автомобилей в условиях функционирования автотранспортных предприятий / Х. М. Тахтамышев, С. А. Белов, Ю. Х. Гукетлев // Вестник евразийской науки. — 2023. — Т. 15. — № 3. — URL: <https://esj.today/PDF/15ECVN323.pdf>

For citation:

Takhtamyshev Kh.M., Belov S.A., Guketlev Yu.Kh. Substantiation of spare parts forecasting methods in the environment of motor transport enterprises. *The Eurasian Scientific Journal*. 2023; 15(3): 15ECVN323. Available at: <https://esj.today/PDF/15ECVN323.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

УДК 334.02

ГРНТИ 73.31

Тахтамышев Хизир Махмудович

ГАОУ ВО «Невинномысский государственный гуманитарно-технический институт», Невинномысск, Россия
Профессор кафедры «Строительства, транспорта и машиностроения»
Доктор технических наук, профессор
E-mail: hizirt43@mail.ru

Белов Сергей Александрович

ГАОУ ВО «Невинномысский государственный гуманитарно-технический институт», Невинномысск, Россия
Доцент кафедры «Строительства, транспорта и машиностроения»
E-mail: belovmail@yandex.ru

Гукетлев Юсуф Хаджибирамович

ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет», Майкоп, Россия
Профессор кафедры «Организации и управления транспортными процессами»
Доктор экономических наук, профессор
E-mail: guketlevuh@mail.ru

**Обоснование методов прогнозирования
потребности в запасных частях автомобилей в условиях
функционирования автотранспортных предприятий**

Аннотация. В статье авторы отмечают важность прогнозирования расхода запасных частей к автомобилям, эксплуатирующимся в автотранспортных предприятиях, ввиду большой разномарочности и вероятностного характера потоков заявок. Своевременное определение предстоящего объема заказов на запасные части для парка автомобилей снижает издержки на содержание запасов и предотвращает дефицит, приводящий к простоям автомобилей.

Авторы предлагают для прогнозирования расхода использовать известные методы прогнозирования случайных процессов. Для выбора и обоснования наиболее эффективного метода с целью прогнозирования спроса на запасные части в условиях автотранспортных предприятий предлагается проведение экспериментальных исследований применительно к потокам заявок, имеющих место при функционировании автотранспортных предприятий. Судя по закономерностям изменения потоков заявок, наиболее адекватными для решения поставленной задачи являются математико-статистические методы прогнозирования случайных процессов.

В статье предлагается провести исследование применимости трех известных методов краткосрочного прогнозирования, в числе которых метод экстраполяции рядов динамики, экспоненциального сглаживания и метод скользящих средних. Авторами были рассчитаны прогнозы числа ремонтов и запасных частей по 20 наименованиям для автомобилей КамАЗ-5320 и 15 наименованиям для автомобилей ЗИЛ-5301 автотранспортного предприятия «АКРО» города Ставрополя.

Проведенные исследования показали, что для получения наиболее точных результатов целесообразно использовать соответствующий метод прогнозирования, отражающий определенные закономерности потоков заявок. Так, по второстепенным элементам небольшого спроса и малой трудоемкости их устранения прогнозы были рассчитаны методом скользящей средней. Для деталей, имеющих некоторую тенденцию и средний спрос в течение рассматриваемого периода, удовлетворительные результаты показал метод экстраполяции рядов динамики. Для запасных частей повышенного спроса и выраженных тенденций изменения динамики наилучшие результаты получены при использовании метода экспоненциального сглаживания.

Таким образом, авторы пришли к заключению, что три приведенных метода прогнозирования охватывают основные закономерности изменения потока заявок на запасные части для парков автомобилей и могут быть рекомендованы для применения на действующих предприятиях.

Ключевые слова: потоки заявок; автотранспортные предприятия; закономерности; тенденции; прогноз; методы; ряды динамики; сглаживание; точность; запасные части; результат; автомобили; спрос; экстраполяция

Введение

Важным условием поддержания высокой технической готовности автомобильных парков является оперативное обеспечение автотранспортных предприятий (АТП) запасными частями и материалами^{1, 2}. Принимая во внимание случайный характер потоков отказов автомобилей, большое значение имеет возможность прогнозирования предстоящего спроса на запасные части, что обеспечивает своевременное принятие решений о поставках запчастей на предстоящие периоды времени для исключения их дефицита. Традиционные методы планирования расхода запасных частей для автомобилей и отдельных агрегатов, получивших ранее широкое распространение, основаны на прогнозировании пробега и нормативных наработках на отказ автомобилей [1; 2]. Такой подход чрезвычайно затруднял получение достоверного прогноза по широкой номенклатуре запчастей, так как требовал наличия данных о ресурсах деталей различных марок автомобилей, эксплуатирующихся на одном предприятии. Другой подход, получивший распространение в последние десятилетия, базируется на основных положениях теории управления запасами [3], когда спрос на все запасные части парков автомобилей рассматривается в совокупности независимо от марок автомобилей по всей номенклатуре, хранящейся на складах предприятий. Для этих целей применяются статистические методы прогнозирования случайных процессов, которые используют математический аппарат теории случайных процессов [4; 5]. Большое разнообразие математических моделей прогнозирования ставит задачу обоснования и выбора наиболее

¹ Малевич, Ю.В. Организация обеспечения автотранспортных предприятий запасными частями на основе логистического подхода [Электронный ресурс]: Дис. ... канд. экон. наук — М.: РГБ, 2002.

² Тахтамышев Х.М. Основы технологического расчета автотранспортных предприятий. — М.: ИНФРА-М. 2016. — 352 с.

адекватного из них применительно к потокам заявок на запасные части для парков автомобилей. Поэтому **целью** исследования было обоснование и выбор методов прогнозирования с учетом особенностей и закономерностей изменения спроса на запасные части автомобилей с учетом многомарочности парков автотранспортных предприятий и тенденций для экстраполяции в краткосрочной перспективе по результатам наблюдений в реальных условиях эксплуатации. В качестве **гипотезы** выдвигалось предположение, что для различных закономерностей потоков заявок на запасные части существуют конкретные методы прогнозирования, которые наиболее адекватно аппроксимируют исследуемые процессы и при этом приемлемы для использования в практике автотранспортных предприятий для всей номенклатуры складских запасов.

Задачами исследования являлись сбор статистических данных о расходе запасных частей действующих предприятий по различной номенклатуре за определенный период времени, проведение расчетов прогнозов по различным методам, анализ результатов расчетов.

Методы исследования

Анализ литературных источников показал, что существует большое разнообразие методов прогнозирования случайных процессов, которые базируются на различной основе [3–5]. Для выбора и обоснования наиболее эффективного метода для целей прогнозирования спроса на запасные части в условиях автотранспортных предприятий необходимо было проведение исследований применительно к потокам заявок, имеющих место при функционировании предприятий [6; 7].

На следующем этапе было необходимо провести анализ литературных источников, посвященный прогнозированию запасных частей на автомобильном транспорте, который показал, что большинство исследователей используют известные методы прогнозирования случайных процессов, к которым относятся математико-статистические методы³ [5–8]. Обзор этих источников показал, что основное внимание уделяется прогнозированию расхода запасных частей для автосервисных предприятий, не располагающих собственным парком автомобилей⁴ [6] и крупным логистическим сетям [7], для которых применяемый аппарат регрессионного анализа на практике неприемлем ввиду необходимости сбора огромного материала [9], а прогнозировать предлагается одним из методов по всей номенклатуре запчастей независимо от спроса и стоимости [10].

В связи с изложенным, на первом этапе проводились расчеты по трем наиболее известным универсальным математико-статистическим методам прогнозирования по основной номенклатуре запчастей. Принципиальная возможность применения математико-статистических методов изучения и прогнозирования потребности основывается на определенной инерционности исследуемых процессов, к особенностям которой относятся и потоки отказов совокупности автомобилей, эксплуатирующихся в одном автотранспортном предприятии (АТП).

Показателями качества прогнозирования могут быть приняты различные величины из класса оценочных критериев [4].^{3, 5} Точность предсказания можно оценить по формуле из работы [4]:

³ Горелова В.Л., Мельникова Е.Н. Основы прогнозирования систем. — М.: Высшая школа, 1986. — 285 с.

⁴ Гришин А.С. Разработка методики прогнозирования потребности предприятий автосервиса в запасных частях: Дис. ... канд. наук: 05.22.10 М.: 2005. — 153 с.

⁵ Воробьев Н.Н. Теория рядов. 6-е изд., стереотипное. СПб.: Издательство «Лань», 2002. — 408 с.

$$\varepsilon = x^*(t) - x(t), \quad (1)$$

где $x^*(t)$ — предсказанная; $x(t)$ — действительная функция; ε — ошибка предсказания.

Одним из известных математико- статистических методов прогнозирования спроса, базирующийся на статистических данных за прошлые периоды и установлении закономерностей изменения и развития прогнозируемой величины, является метод экстраполяции рядов динамики. Сущность метода экстраполяции состоит в следующем: на графике, построенном по эмпирическим данным, вычерчивается приближенная кривая, аппроксимирующая выявленную закономерность; находится аналитическое выражение этой кривой; определяются параметры, входящие в математическую формулу, и экстраполируется динамический ряд по найденной кривой.

Для аппроксимации экспериментальной кривой наиболее часто используется полином вида:

$$Y_x = b_0 + b_1x + b_2x^2 + \dots + b_nx^n. \quad (2)$$

На первом этапе по методу наименьших квадратов вычисляются значения коэффициентов b_0 , b_1 и так далее. Затем устанавливается прогноз на $x + t$ период.

Применение данного метода наиболее эффективно при устойчивой тенденции к изменению потребности в запасных частях и материалах, в противном случае рекомендуется метод скользящих средних, который дает возможность выявить имеющиеся колебания на протяжении исследуемого периода времени, сгладить случайные отклонения и получить достоверную характеристику прогнозируемой величины. Сглаживание можно производить методом взвешенной или невзвешенной скользящей средней.

Для получения более точного прогноза вводится поправочный коэффициент β на каждый период времени, равный отношению среднего значения расхода запчастей к аналогичной величине за рассматриваемый период времени. Выражение скользящей средней с учетом поправочного коэффициента имеет вид:

$$W_{kl}^{(n)} = \sum_{i=1}^n \gamma_i y_i, \quad (3)$$

где $\gamma_i = \frac{i\beta}{n}$; n — количество периодов, включенных в расчет; k — начальный период расчета; y_i — реализация в i -м периоде; l — период, для которого производится расчет поправочного коэффициента β .

Метод скользящих средних реагирует лишь в некоторой степени на динамические тенденции в отчетном периоде, однако с его помощью невозможно определить величину потребности на предстоящий период большую, чем наибольший элемент, входящий в расчет взвешенной скользящей средней.

Другим методом прогнозирования потребности на предстоящий период является экспоненциальный (степенной) метод. Экспоненциальное сглаживание основано на предположении, что предсказываемое значение некоторой функции $x(t)$ может быть записано рядом Тэйлора, члены которого выражаются формулами экспоненциального сглаживания первого порядка.

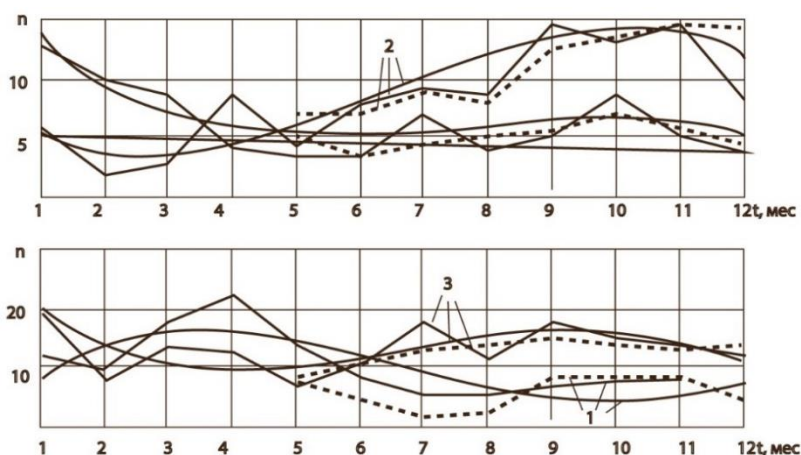
$$S_t(x) = \alpha X_t + (1 - \alpha)S_{t-1}(x), \quad (4)$$

где $S_t(x)$ — новое усредненное значение функции; $x(t)$ — последнее известное значение функции; α — коэффициент сглаживания; $S_{t-1}(x)$ — предыдущее усредненное значение функции (4).

Коэффициент сглаживания принимает значения в пределах (0-1). Формулы для определения экспоненциально-сглаженной величины высших порядков аналогичны низшему. Для инженерных расчетов чаще применяются два члена ряда. Точность прогноза в случае использования метода экспоненциального сглаживания зависит от величины коэффициента сглаживания, оптимальное значение которого вычисляется по минимальному значению среднеквадратического отклонения величины прогноза.

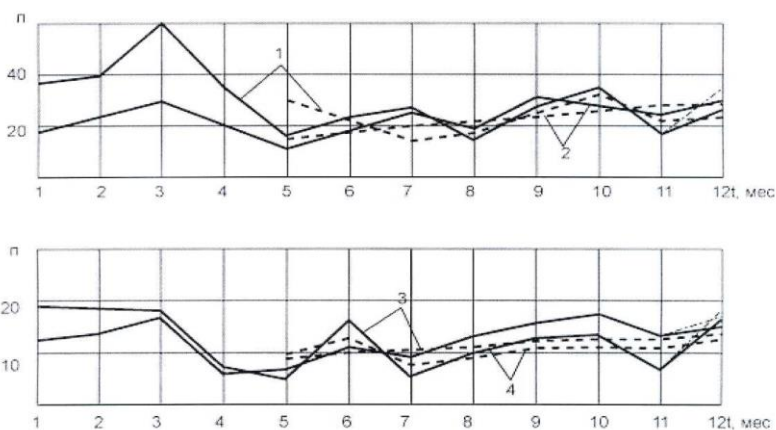
Результаты и обсуждение

Принимая во внимание эффективность математико-статистических методов краткосрочного прогнозирования, для облегчения расчетов были составлены компьютерные программы их реализации и рассчитаны прогнозы числа ремонтов и запасных частей по 20 наименованиям для автомобилей КамАЗ-5320 и 15 автомобилям АТП ООО «АКРО» г. Ставрополя. Для предсказания ожидаемых величин по методу экстраполяции рядов динамики использовался полином вида (2) третьей степени.



1 — двигателя; 2 — коробки передач; 3 — заднего моста; — — прогнозируемое по методу экспоненциального сглаживания; - - - - - прогнозируемое по методу экстраполяции рядов динамики

Рисунок 1. Изменение суммарного потока отказов элементов автомобилей КамАЗ-5320 по месяцам года (составлено авторами)



1 — сцепления; 2 — ручного тормоза; 3 — генератора; 4 — стартера; — — прогнозируемое по методу экспоненциального сглаживания; - - - - - прогнозируемое по методу экстраполяции рядов динамики

Рисунок 2. Изменение суммарного потока отказов элементов автомобилей ЗИЛ-5301 по месяцам года (составлено авторами)

Наиболее точные результаты расчетов данным методом получены для рядов, имеющих выраженную тенденцию зависимости от сезонных условий. Например, по автомобилям КамАЗ-5320 (рис. 1) для двигателей процент ошибки составлял 2,96 %, для стартеров 4,1 %. В то же время большие погрешности прогноза наблюдались по коробке передач (11 %). По автомобилям ЗИЛ-5301 лучшие результаты были получены для коробки передач (4,9 %), заднего моста (4,2 %), задних рессор (6,1 %), причем, для последнего элемента абсолютная погрешность составляла всего 1,2. Еще меньшую ошибку имел ручной тормоз (0,6), но ввиду небольшого значения потребности в ручном тормозе в качестве запчасти, процент ошибки достигал 13 %.

При расчете прогноза методом экспоненциального сглаживания оказалось, что наилучшие результаты получаются для малой предыстории k , равной четырем. Для самообучения модели при нахождении оптимального значения параметра α производились расчеты по шести месяцам (май — ноябрь), после чего устанавливался прогноз на декабрь (рис. 2). Для элементов автомобилей обеих моделей значения параметра α находились в пределах 0,14–0,36. Значение погрешностей по основной группе элементов указывают на большую универсальность этого метода по сравнению с предыдущим.

Так, по автомобилям КамАЗ-5320 удовлетворительные результаты ($\delta \leq 5\%$) дали прогнозы по заднему мосту, задним рессорам, ручному тормозу, стартеру; допустимые значения ошибок имели величины прогнозов по двигателю — 6,6 %, сцеплению — 5,9 %, карданной передаче — 12,7 %. По автомобилям ЗИЛ-5301 значения прогнозов были в целом с несколько большими погрешностями.

Хорошие результаты отмечены по стартеру, что объясняется небольшими абсолютными значениями количества отказов автомобилей по неисправности данного элемента. Так, погрешности расчетов лежали в пределах 1,15–2 для стартера; для двигателя — 0,7, для коробки передач — 3,8, для заднего моста — 0,8, для передней оси — 2,2 и т. д.

В практике автотранспортных предприятий для своевременного восстановления отказавших элементов высокая точность прогнозов важна для агрегатов основной группы. По второстепенным элементам большие относительные погрешности прогнозов не вызывают серьезных последствий ввиду небольшого числа отказов и малой трудоемкости их устранения. Для элементов этой группы прогнозы были рассчитаны методом скользящей средней, как наиболее простому и достаточно эффективному для стационарных процессов.

Результаты прогнозирования по данному методу для нескольких элементов представлены в таблице. Абсолютные погрешности прогнозирования количества отказов лежали в пределах 1–1,5 для автомобилей КамАЗ-5320 и в пределах 2–3 для автомобилей ЗИЛ-5301. Учитывая малую величину спроса на ремонт и запасные части, следует признать результаты расчетов для приведенных элементов в таблице вполне удовлетворительными.

Таблица

Характеристики законов распределения входящих потоков отказов

Элементы автомобилей	КамАЗ-5320			ЗИЛ-5301		
	факт. отказов	прогноз	погрешность, %	факт. отказов	прогноз	погрешность, %
1 Стеклоочиститель	1	1,7	70	6	4,9	16
2 Топливный насос	1	1,1	10	1	1,1	10
3 Глушитель	3	3,2	6,6	3	3,3	10
4 Водяной насос	1	1,4	40	3	2,8	7
5 Радиатор	4	3,7	7,5	8	7,4	7

Составлена авторами

Достоверность полученных нами результатов подтверждается ранее проведенными исследованиями других авторов на автомобильном транспорте [8]. Однако применяемые в настоящей работе математические модели отличаются простотой и полным охватом существующих закономерностей изменения потоков заявок на запасные части, имеющих место в реальных условиях эксплуатации автотранспортных предприятий. Таким образом, подтвердилась ранее принятая гипотеза исследования. Вместе с тем, необходимо учитывать, что предложенные математические модели требуют разработки компьютерных программ, что не всегда под силу малым автотранспортным предприятиям.

Выводы

Подводя итоги, следует отметить, что методы экстраполяции рядов динамики, экспоненциального сглаживания и скользящей средней охватывают наиболее характерные закономерности изменения потребности в запасных частях совокупности автомобилей, эксплуатируемых в конкретном автотранспортном предприятии. Результаты расчетов по указанным методам могут быть успешно использованы для годового, квартального и месячного прогнозирования расхода запчастей.

Вместе с тем, необходимо учитывать, что исходной информацией являются статистические данные о фактическом расходе деталей, узлов и агрегатов в АТП, которые могут иметь существенные отклонения от норм. В связи с этим отмечается, что предлагаемые к практическому использованию методы прогнозирования не заменяют традиционные глобальные методы нормирования и планирования спроса на запасные части в масштабах заводов-производителей автомобилей и отрасли [8], но достаточно эффективны для конкретных автотранспортных предприятий.

Следует также подчеркнуть, что широкое использование в последние годы компьютерных технологий при управлении запасами [9; 10] значительно облегчает внедрение приведенных краткосрочных методов прогнозирования спроса на запасные части в практику автотранспортных предприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шейнин, А.М. Методика прогнозирования числа ремонтов и запасных частей. / А.М. Шейнин // Сб. «Надежность и диагностика агрегатов и систем автомобилей». — М.: Транспорт, 1969. — С. 45–49.
2. Дажин, В.Г. Методика расчета потребности в запасных частях / В.Г. Дажин. // Автомобильная промышленность. — 1979. — № 10. — С. 9–12.
3. Дж. Шрайбфедер Эффективное управление запасами / Джон Шрайбфедер // М.: Альпина Бизнес — букс, 2006. — 304 с.
4. Орлов, Ю.Н. Нестационарные временные ряды / Ю.Н. Орлов, К.П. Осминкин // М.: Изд-во УРСС. 2011. — 384 с.
5. Синай, Я.Г. Теория вероятностей и случайные процессы / Я.Г. Синай, Л.Б. Коралов // М.: Изд-во МЦНМО, 2013. — 408 с.
6. Ефимов, В.К. Оптимизация планирования и распределения запасных частей к автомобильным двигателям // В.К. Ефимов, В.С. Лукинский, В.И. Сергеев // Двигателестроение, 1984, № 4. С. 48–51.

7. Лазаренко, А.В. Моделирование транспортных схем поставок запасных частей и комплектующих в дилерских сетях / А.В. Лазаренко, А.Н. Моисеев, О.Б. Рогова, А.А. Солнцев // Автоматизация и управление в технических системах — 2013. — № 4.2. с. 8–14.
8. Кирсанов, Е.А. Совершенствование метода определения потребности в запасных частях для системы «автообслуживания» / Е.А. Кирсанов, В.К. Толкачев // Сборник научных трудов МАДИ «Прогрессивные формы организации технического обслуживания автомобилей». М.; 1983.С. 54–58.
9. Бажинов, А.В. Управление потребностью в запасных частях / А.В. Бажинов, Е.М. Гецович // Автомобильный транспорт. — 2009. — Вып. 25. — С. 155–158.
10. Ременцов, А.Н. Управление запасами запасных частей автотранспортных средств, выполняющих перевозку строительных грузов / А.Н. Ременцов, В.А. Зенченко, П.Б. Фетисов // Технология колесных и гусеничных машин. — 2013. № 5 — С. 41–46.

Takhtamyshev Khizir Makhmudovich

Nevinnomyssk State Humanitarian and Technical Institute, Nevinnomyssk, Russia
E-mail: hizirt43@mail.ru

Belov Sergey Aleksandrovich

Nevinnomyssk State Humanitarian and Technical Institute, Nevinnomyssk, Russia
E-mail: belovmail@yandex.ru

Guketlev Yusuf Khadjibiramovich

Maykop State Technological University, Maykop, Russia
E-mail: guketlevuh@mail.ru

Substantiation of spare parts forecasting methods in the environment of motor transport enterprises

Abstract. In the article, the authors note the importance of predicting the consumption of spare parts for vehicles operated in motor transport enterprises due to the large variety of brands and the probabilistic nature of application flows. Predicting upcoming fleet spare parts orders in a timely manner reduces inventory costs and prevents stockouts that result in vehicle downtime.

The authors propose to use well-known methods for predicting random processes to predict flow. To select and justify the most effective method for forecasting the demand for spare parts in the conditions of motor transport enterprises, it is proposed to conduct research in relation to the flow of applications that occur during the functioning of motor transport enterprises. Judging by the patterns of change in the flows of applications, the most adequate for solving the problem are mathematical and statistical methods for predicting random processes.

The article proposes to study the applicability of three well-known methods of short-term forecasting, including the method of extrapolation of time series, exponential smoothing and the method of moving averages. The authors draw attention to the essence of the extrapolation method, which is to find the analytical expression of the curve; determining the parameters and extrapolating the dynamic series from the found curve. Another method of demand forecasting is the exponential (power-law) method, which is based on the assumption that the predicted value of a certain function can be written in a Taylor series. The third method that has been proposed for predicting the consumption of spare parts is the weighted moving average method, which responds only to some extent to dynamic trends in the reporting period.

The authors calculated the forecasts for the number of repairs and spare parts for 20 items for KamAZ-5320 vehicles and 15 items for ZIL-5301 vehicles of the AKRO motor transport company in the city of Stavropol.

The conducted studies have shown that in order to obtain the most accurate results, it is advisable to use an appropriate forecasting method that reflects certain patterns of application flows. So, for the secondary elements of low demand and low labor intensity of their elimination, the forecasts were calculated using the moving average method. For parts with a certain trend and average demand during the period under review, the method of extrapolation of time series gave satisfactory results. For spare parts with increased demand and pronounced trends in dynamics, the best results are obtained using the exponential smoothing method.

Thus, the authors came to the conclusion that the above three forecasting methods cover the main patterns of changes in the flow of requests for spare parts for car parks and can be recommended for use in existing enterprises.

Keywords: application flows; trucking companies; patterns; trends; forecast; methods; time series; smoothing; accuracy; spare parts; result; cars; demand; extrapolation