

**Владимир Н. Козловский, Алексей В. Заятров, Наталья В. Афиногентова**  
**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФАКТОРОВ СЕЗОННОСТИ**  
**В ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА И ЗАТРАТ НА ЕЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**  
**В ПЕРИОД ГАРАНТИЙНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ**

*В статье представлены результаты разработки и практической реализации комплексного инструмента анализа и прогнозирования уровня отказов и затрат на их устранение для автомобилей в период гарантии, с учетом факторов сезонности эксплуатации. С помощью разработанной методологии выявлена номенклатура отказов, имеющих сезонный характер проявления, определены соответствующие затраты на их устранение. Описаны математические модели, отражающие сезонные изменения в поведении безотказности автомобилей. Полученные результаты исследования прошли апробацию и внедрены в практику корпоративных служб качества ведущих автопроизводителей.*  
*Ключевые слова:* качество; надежность; ремонтпригодность; сезонность эксплуатации; автомобиль.

Форм. 16. Рис. 4. Табл. 2. Лит. 17.

**Володимир Н. Козловський, Олексій В. Заятров, Наталія В. Афіногентова**  
**ПРОГНОЗУВАННЯ ВПЛИВУ ФАКТОРІВ СЕЗОННОСТІ**  
**В ОЦІНЮВАННІ ЯКОСТІ ТА ВИТРАТ НА ЇЇ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**  
**В ПЕРІОД ГАРАНТІЙНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМОБІЛІВ**

*У статті представлено результати розробки та практичної реалізації комплексного інструменту аналізу та прогнозування рівня відмов і витрат на їх усунення для автомобілів у період гарантії, з урахуванням факторів сезонності експлуатації. За допомогою розробленої методології виявлено номенклатуру відмов, які мають сезонний прояв, визначено відповідні витрати на їх усунення. Описано математичні моделі, що відображають сезонні зміни в безвідмовності автомобілів. Отримані результати дослідження пройшли апробацию і впроваджені в практику корпоративних служб якості провідних автовиробників.*

*Ключові слова:* якість; надійність; ремонтпридатність; сезонність експлуатації; автомобіль.

**Vladimir N. Kozlovskiy<sup>1</sup>, Aleksey V. Zayatrov<sup>2</sup>, Natalya V. Afinogentova<sup>3</sup>**  
**FORECASTING THE IMPACT OF SEASONALITY FACTOR**  
**IN ASSESSMENT OF QUALITY AND COSTS OF ITS**  
**MAINTENANCE UNDER CAR WARRANTY PERIOD**

*The article presents the results of the integrated analysis for forecasting failures and costs of their removal in vehicles. The analysis is performed on the data, obtained during the guarantee period, taking into account the seasonal factor of operation. Using the developed methodology the authors reveal the failures nomenclature, which have a seasonal character, as well as determine the respective costs of their removal. The article describes the mathematical models showing seasonal changes in failure-free operation of cars. The research results have passed approbation and are implemented in practice of service quality services at leading automakers.*

*Keywords:* quality; reliability; maintainability; seasonality of service; car.

---

<sup>1</sup> Samara State Technical University, Russia.

<sup>2</sup> Tolyatti State University, Russia.

<sup>3</sup> Volga Region State University of Service, Tolyatti, Russia.

**Постановка проблеми.** В умовах масового виробництва і експлуатації технічно складної, високотехнологічної продукції, к числу котрої, несомненно, относятся автомобілі, питання моніторингу якості і гарантійних витрат для виробників являються одними з пріоритетних в забезпеченні ефективності процесів управління, в т.ч. бюджетування гарантії [6].

Сучасна система моніторингу якості продукції на великих підприємствах представляє собою дослідницький комплекс забезпечення достовірної інформації об рівні безотказності і відповідному рівні витрат в експлуатації, як на одиницю, так і на досліджувану групу транспортних засобів. При цьому особливу увагу спеціалісти-аналітики відводять питанням вибору періоду експлуатації, який може змінюватися – від початкового (нульового) етапу до кінцевого (утилізаційного). Як правило, між двома вказаними вище етапами проходять роки або десятки місяців, і обсяг інформації об відказах автомобілів постійно зростає, що забезпечує необхідну повноту і достовірність. Однак суттєвий обсяг даних, що відображає експлуатаційний період життєвого циклу автомобілів, призначений для організації моніторингу якості продукції має декілька характерних особливостей, значно впливаючих на достовірність звітних і прогнозних документів, які готуються корпоративними службами якості підприємств [5]. Розмова йде про фактори сезонності і географії експлуатації транспортних засобів. Практика показує, що відсутність інструментів обліку факторів сезонності і географії експлуатації автомобілів в арсеналі аналітичних служб якості веде до серйозним помилкам прогнозів, наслідком чого є зниження якості процесу бюджетування витрат на гарантійне забезпечення нових автомобілів. В умовах жорсткої конкуренції і тривалого економічного кризи це недопустимо [4].

Представлена робота присвячена розв'язанню задачі обліку факторів сезонності в організації процесу моніторингу і прогнозування якості автомобілів в період гарантійної експлуатації.

**Аналіз останніх досліджень.** Аналіз впливу факторів сезонності на економічну діяльність машинобудівних корпорацій представляє собою комплекс відомих моделей, що відображають коливання попиту і пропозиції. Широкий спектр відповідних моделей представлений в практиці маркетингових служб компаній, що відслідковують зміни на автомобільних ринках з урахуванням сезонності [3]. Також відомі моделі, що враховують вплив факторів сезонності на фінансово-економічні показники компаній [8]. Ці моделі будуються на основі обширних баз даних компаній, які накопичуються десятиліттями і відображають досвід роботи в різних економічних, політичних, а також сезонних умовах [7]. Во всіх випадках можна говорити про наявність експертно-аналітичних комплексів, активно використовуваних для стратегічного позиціонування компаній. При цьому, на наш погляд, використання математичних моделей, що відображають фактори сезонності в питаннях моніторингу якості автомобілів, в повній мірі не реалізовано. Отсюди у компаній, що виводяться на ринки

новую продукцію, виникають проблеми з якістю бюджетування гарантійних зобов'язань [11; 12; 14]. Дійсно, якщо звернути увагу на кліматичні фактори, серед яких, визначають сезонність, то можна виявити певну залежність, пов'язану з тим, що підвищення інтенсивності експлуатації окремих вузлів і агрегатів в певний час року призводить до зростання частоти їх відмов, що, звичайно ж, необхідно враховувати при плануванні якості продукції і витрат [13].

Таким чином, **цілью дослідження** є розробка і реалізація комплексного експертно-аналітичного інструмента оцінки і прогнозування впливу факторів сезонності на якість автомобілів і витрати на його обслуговування в період гарантійної експлуатації. Розробка вказаного комплексу проводиться на основі методів математичного і імітаційного моделювання.

**Основні результати дослідження.** Аналіз впливу сезонності проводиться для відмов, які мають постійний характер (постійні відмови), виявлені в період гарантійної експлуатації на автомобілях, випущених за 3 роки (період гарантійного обслуговування). При цьому постійні відмови – це відмови, що проявляються в кожному місяці періоду аналізу [5; 6].

Визначення тренду частоти виникнення відмов проводиться шляхом аналізу змін значень частоти виникнення в залежності від місяця випуску [2; 15].

На рис. 1 наведено часовий ряд змін частоти виникнення однієї з відмов за 6 місяців аналізу. Нехай лінійний тренд, найкращим чином наближає 6 розглянутих точок у сенсі методу найменших квадратів (рис. 1), описується рівнянням:

$$y_n = b + kn, \quad (1)$$

де  $n$  – порядковий номер місяця;  $b$  і  $k$  – параметри лінійного тренду, визначаються за формулами:

$$b = \frac{\left(\sum_{n=1}^N n^2\right) \times \left(\sum_{n=1}^N \bar{d}_n\right) - \left(\sum_{n=1}^N n\right) \times \left(\sum_{n=1}^N n \times \bar{d}_n\right)}{N \times \left(\sum_{n=1}^N n^2\right) - \left(\sum_{n=1}^N n\right)^2}; \quad (2)$$

$$k = \frac{N \times \left(\sum_{n=1}^N n \times \bar{d}_n\right) - \left(\sum_{n=1}^N n\right) \times \left(\sum_{n=1}^N \bar{d}_n\right)}{N \times \left(\sum_{n=1}^N n^2\right) - \left(\sum_{n=1}^N n\right)^2}, \quad (3)$$

де  $N$  – кількість розглянутих місяців аналізу ( $N = 6$ ).

Як видно з рис. 1б, за весь період аналізу частота виникнення збільшилася (за трендом) на  $y_N - y_1$  ( $N = 6$ ). Для визначення відносного зміння тренду за один місяць аналізу розділимо отриману величину на значення лінії тренду в першій точці аналізу  $y_1$  на 5 (довжина періоду аналізу мінус один місяць) за формулою:

$$tr = \frac{1}{N-1} \times \frac{y_N - y_1}{y_1} \times 100\% = \frac{(b+Nk) - (b+k)}{(N-1)(b+k)} \times 100\% = \frac{k}{b+k} \times 100\%. \quad (4)$$

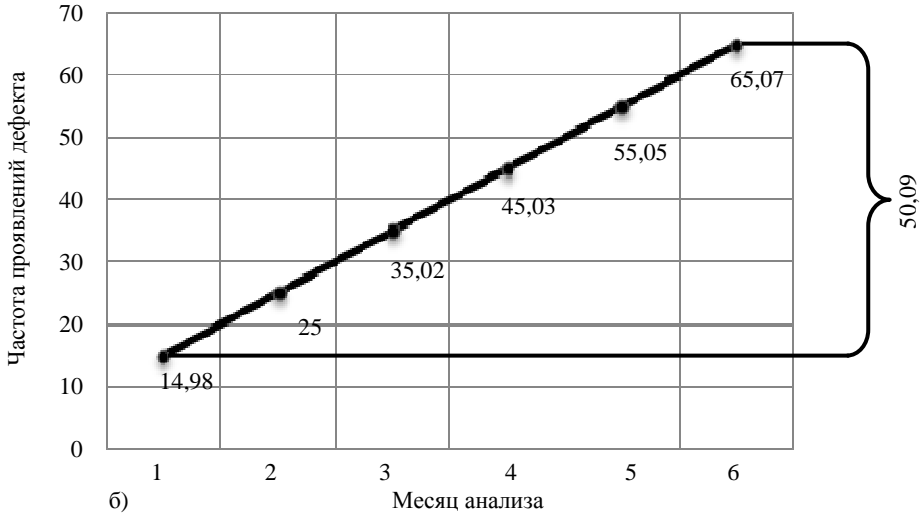
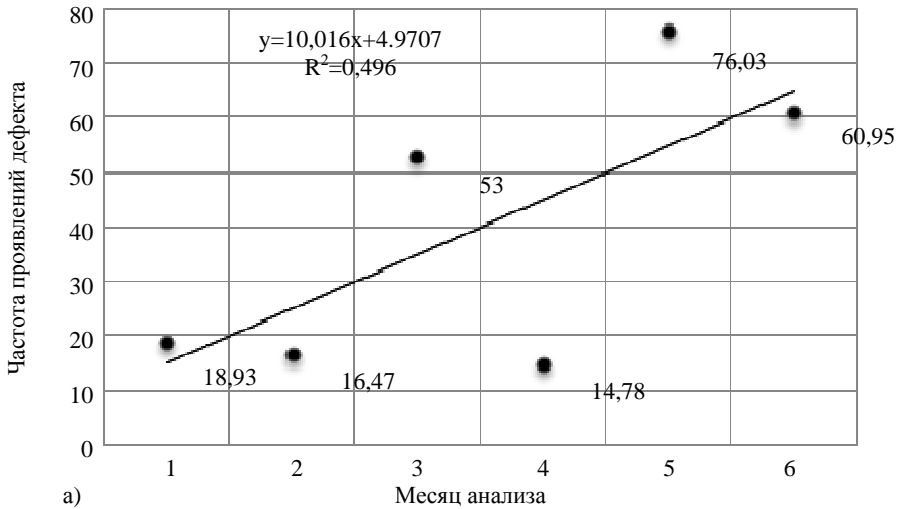


Рис. 1. Вычисление тренда частоты возникновения отказа, построено по данным [9, 86–93]

Оценить степень зависимости частоты возникновения отказа от времени (месяца выпуска) позволяет коэффициент корреляции, вычисляемый по формуле:

$$R^2 = \frac{N \times \left( \sum_{n=1}^N n \times \bar{d}_n \right) - \left( \sum_{n=1}^N n \right) \times \left( \sum_{n=1}^N \bar{d}_n \right)}{\left( N \times \left( \sum_{n=1}^N (\bar{d}_n)^2 \right) - \left( \sum_{n=1}^N \bar{d}_n \right)^2 \right) \times \left( N \times \left( \sum_{n=1}^N n^2 \right) - \left( \sum_{n=1}^N n \right)^2 \right)}. \quad (5)$$

Тренд частоты возникновения за месяц с учётом степени зависимости частоты возникновения от времени определяется по формуле:

$$tr^* = tr \times R^2 \quad (6)$$

Этот показатель и используется в оценке факторов сезонности для определения тенденции изменения частоты возникновения отказов.

Период анализа влияния сезонности должен включать как минимум 2 предполагаемых периода колебаний, но желательно рассматривать 3 периода колебаний – 36 месяцев. Не рекомендуется включать в период анализа влияния сезонности месяцы, в которые на временной ряд действовали известные особые причины (если эти причины и их влияние идентифицированы, то следует устранить из анализируемого ряда результаты действия таких причин).

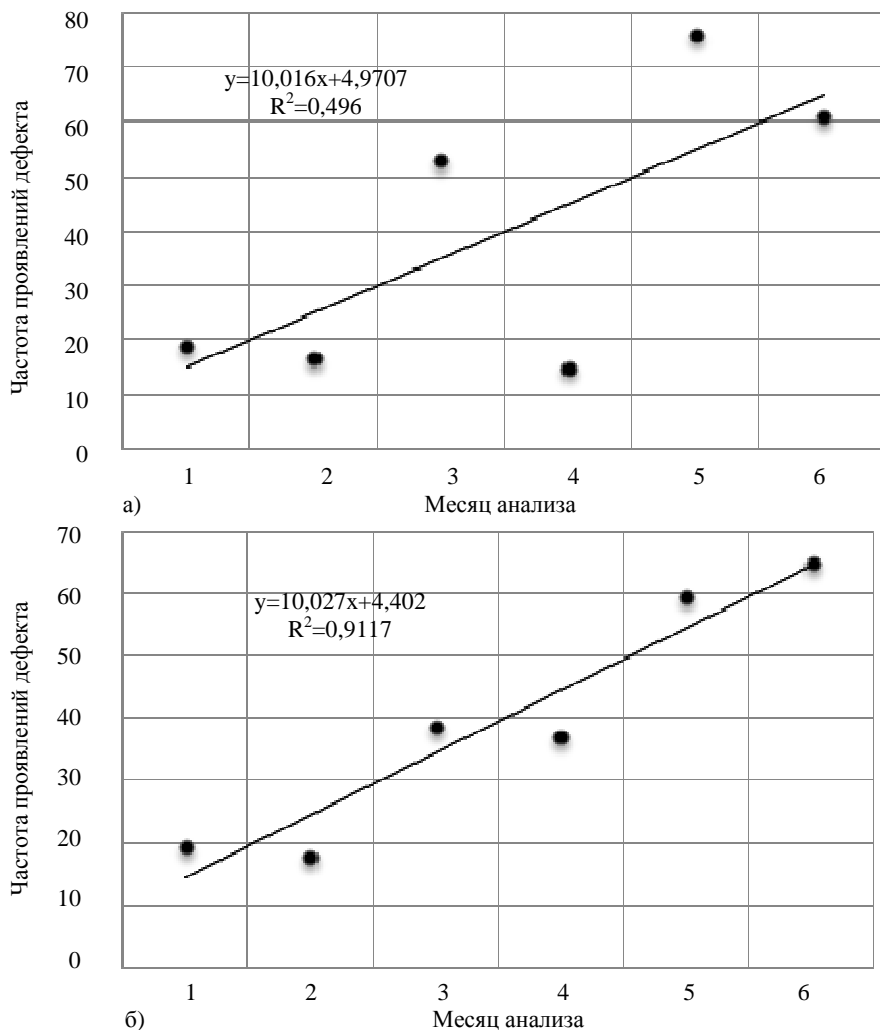


Рис. 2. Оценивание степени зависимости частоты возникновения отказа от времени, построено по данным [9, 86–93]

Для определения первого и последнего (36-ого) месяцев выпуска используется табл. 1.

Таблица 1. Определение периода анализа влияния сезонности [9, 95]

Расчетный месяц	Дата выпуска автомобиля	
	Первый месяц периода анализа влияния сезонности	Последний месяц периода анализа влияния сезонности
Январь (год)*	Июнь (год-4)	Январь (год)
Февраль (год)	Июль (год-4)	Февраль (год)
Март (год)	Август (год-4)	Март (год)
Апрель (год)	Сентябрь (год-4)	Апрель (год)
Май (год)	Октябрь (год-4)	Май (год)
Июнь (год)	Ноябрь (год-4)	Июнь (год)
Июль (год)	Декабрь (год-4)	Июль (год)
Август (год)	Январь (год-3)	Август (год)
Сентябрь (год)	Февраль (год-3)	Сентябрь (год)
Октябрь (год)	Март (год-3)	Октябрь (год)
Ноябрь (год)	Апрель (год-3)	Ноябрь (год)
Декабрь (год)	Май (год-3)	Декабрь (год)

\* год, в который производится расчет.

Для каждого  $i$ -го отказа рассчитывается количество его проявлений на автомобилях, выпущенных в каждом месяце периода анализа влияния сезонности  $D_1^i, D_2^i, \dots, D_N^i$  ( $N$  – количество месяцев периода анализа влияния сезонности).

Для каждого отказа вычисляется частота возникновения в каждом месяце анализа по формуле [1; 10; 16]:

$$\bar{d}_n^i = \frac{D_n^i}{V_n} \times 10^6, \quad (7)$$

где  $n$  – порядковый номер месяца анализа влияния сезонности ( $n = \overline{1, N}$ );  $V_n$  – количество автомобилей, выпущенных в каждом месяце.

Выделяем из рассматриваемого ряда дефектности (1) уп линейную (долгосрочную) составляющую по формуле:

$$x_n = y_n - (b + kn) = y_n - b - kn, \quad n = \overline{1, N}, \quad (8)$$

где  $y_n$  – исходный временной ряд частоты возникновения;  $x_n$  – временной ряд частоты возникновения, из которого удалена линейная составляющая.

Параметры линейного тренда  $b$  и  $k$  определяются по формулам (2) и (3) для периода, соответствующей длительности  $N$ .

В качестве математической модели, описывающей сезонные изменения в поведении отказов, рассматриваем уравнение:

$$g_n = a \times \sin\left(\frac{2\pi}{T} n + \varphi_0\right), \quad n = \overline{1, N}, \quad (9)$$

где  $a$ ,  $T$  и  $\varphi_0$  – амплитуда, период и начальная фаза сезонных колебаний соответственно.

Период коливань  $T$  равен 12 місяцям, т.к. розглядаються сезонні зміни відмов, повторюючіся від року до року.

Начальну фазу коливань  $\varphi_0$  також достатньо визначати з точністю до місяця. Таким чином, розглядаються тільки початкові фази коливань, кратні  $1/12$  періода, т.е.

$$\varphi_0 = \frac{2\pi}{T}\tau_0 = \frac{\pi}{6}\tau_0, \tau_0 = \overline{0,11}. \quad (10)$$

При пошуку оптимальної апроксимуючої функції виду (9) необхідно розглянути тільки 12 можливих початкових фаз.

Вплив сезонності на відмови в залежності від початкової фази коливань приведено в табл. 2.

Таблиця 2. Вплив місяця випуску автомобіля на сезонні зміни відмов [9, 101]

Начальна фаза	Максимальне збільшення дефектності з-за сезонності	Максимальне зменшення дефектності з-за сезонності	Відсутність впливу сезонності
0	Апрель	Октябрь	Январь, июль
1	Май	Ноябрь	Февраль, август
2	Июнь	Декабрь	Март, сентябрь
3	Июль	Январь	Апрель, октябрь
4	Август	Февраль	Май, ноябрь
5	Сентябрь	Март	Июнь, декабрь
6	Октябрь	Апрель	Июль, январь
7	Ноябрь	Май	Август, февраль
8	Декабрь	Июнь	Сентябрь, март
9	Январь	Июль	Октябрь, апрель
10	Февраль	Август	Ноябрь, май
11	Март	Сентябрь	Декабрь, июнь

Крім того, функція синус, представлена в рівнянні (9), має наступне властивість:

$$\sin(\varphi) = -\sin(\pi + \varphi). \quad (11)$$

Следовательно, з точністю до знака амплітуди можна скоротити кількість розглядаємих початкових фаз до 6 (наприклад,  $\tau_0 = \overline{0,5}$ ).

Таким чином, рівняння, описуюче сезонні коливання відмов, має вигляд:

$$g_n = a \times \sin\left(\frac{\pi}{6}(n + \tau_0)\right), \quad n = \overline{1, N}, \quad \tau_0 = \overline{0,5}. \quad (12)$$

Для визначення амплітуди коливань використаємо метод найменших квадратів (МНК) [2; 15]. Мінімізується функція:

$$G = \sum_{n=1}^N \left( x_n - a \times \sin\left(\frac{\pi}{6}(n + \tau_0)\right) \right)^2 \rightarrow \min, \quad \tau_0 = \overline{0,5}. \quad (13)$$

При допомозі МНК отримуємо значення оптимальних амплітуд (в залежності від  $\tau_0$ ):

$$a_{\tau_0} = \frac{\sum_{n=1}^N x_n \times \sin\left(\frac{\pi}{6}(n + \tau_0)\right)}{\sum_{n=1}^N \left[\sin\left(\frac{\pi}{6}(n + \tau_0)\right)\right]^2}, \quad \tau_0 = \overline{0,5}. \quad (14)$$

Очевидно, что минимальное значение функции  $G$  достигается при максимальной по модулю амплитуде  $a_{\tau_0}$ . Следовательно, для поиска гармонической функции, наилучшим образом приближающей  $x_n$ , достаточно найти максимальную по модулю амплитуду из  $a_0, a_1, \dots, a_5$  и начальную фазу  $\tau_0 = \overline{0,5}$ , при которой достигается эта амплитуда.

Для оценивания значимости полученных сезонных колебаний сравним качество приближения исходного ряда отказов  $y_n$  при помощи линейного тренда, определяемое по формуле:

$$F_{\text{лин}} = \sum_{n=1}^N [y_n - b - kn]^2, \quad (15)$$

с качеством приближения исходного ряда отказов  $y_n$  при помощи комбинации линейного и гармонического трендов, определяемых по формуле:

$$F_{\text{лин+гарм}} = \sum_{n=1}^N \left[ y_n - b - kn - a \times \sin\left(\frac{\pi}{6}(n + \tau_0)\right) \right]^2. \quad (16)$$

Серия проведенных экспериментов позволяет получить эмпирическое правило определения значимости гармонической составляющей (или влияния сезонности на изменение отказов), если

$$\frac{F_{\text{лин}}}{F_{\text{лин+гарм}}} \geq 1,5,$$

то влияние гармонической составляющей тренда признается значимым. В противном случае влияние сезонности на частоту проявления отказов признается незначимым.

Для отказов, влияние сезонности на которые признано значимым, в дальнейшем производится коррекция исходного временного ряда  $y_n$ . Для этого из анализируемого исходного временного ряда частоты проявления отказов вычитается сезонная (гармоническая) составляющая, определенная ранее. Все дальнейшие вычисления для таких отказов необходимо производить с учетом этой коррекции [9; 13; 17].

В качестве примера приведем несколько временных рядов частоты возникновения (и полученные тренды с учетом гармонической составляющей) отказов и затрат на их устранение, влияние сезонных факторов на которые является наиболее значимым (рис. 3–4).

**Выводы и перспективы дальнейших исследований.** Таким образом, в результате исследования разработан и реализован комплексный экспертно-аналитический инструмент оценки и прогнозирования влияния факторов сезонности на качество автомобилей и затраты на его обеспечение в период гарантийной эксплуатации. Полученные в ходе работы математические модели в практике автомобильной промышленности позволяют учитывать влияние факторов сезонности на уровень отказов автомобилей в период гарантийной экс-



плуатации, и соответственно, обеспечивают возможность для прогнозирования затрат на обеспечение качества продукции.



Рис. 3. Анализ влияние факторов сезонности на отказ (течь) сальника коленчатого вала двигателя, построено по данным [9, 323–326]

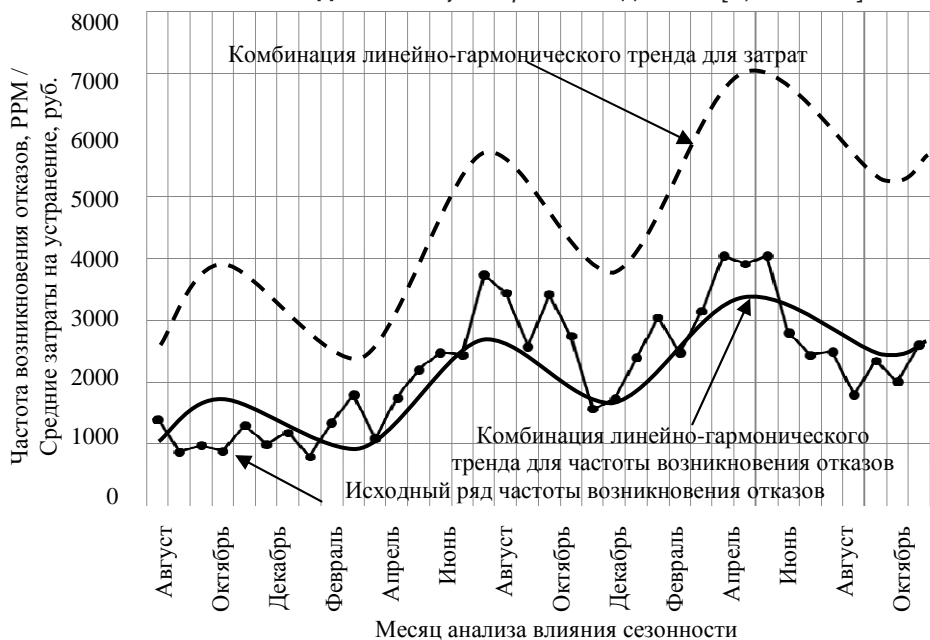


Рис. 4. Анализ влияние факторов сезонности на отказ (стук) передней верхней опоры, построено по данным [9, 323–326]

Дальнейшая работа по повышению эффективности экспертно-аналитического и прогностического аппарата заключается в реализации автоматизированных интеллектуальных алгоритмов и моделей поиска с целью обеспечения наиболее полной и достоверной многофакторной оценки качества автомобилей, как в период гарантийной эксплуатации, так и после него.

1. Анализ видов и последствий потенциальных отказов. FMEA. Ссылочное руководство / Пер. с англ. – Н. Новгород: Приоритет, 2012. – 282 с.
2. Брандт З. Анализ данных. Статистические и вычислительные методы для научных работников и инженеров / Пер. с англ. – М.: Мир, 2003. – 686 с.
3. Бредихин А.Л. Экономические механизмы управления сбытом автомобилей с сезонным характером спроса: На примере ОАО «АВТОВАЗ»: Дис... канд. экон. наук: 08.00.05. – Самара, 2005. – 163 с.
4. Ватсон Г. Методология «Шесть сигм» для лидеров, или как достичь 3,4 дефекта на миллион возможностей / Пер. с англ. А.Л. Раскина; Под науч. ред. Ю.П. Адлера. – М.: Стандарты и качество, 2006. – 224 с.
5. Годлевский В.Е., Плотников А.Н., Юнак Г.Л. Применение статистических методов в автомобилестроении / Под ред. А.В. Васильчука. – Самара: Перспектива, 2003. – 196 с.
6. Годлевский В.Е., Юнак Г.Л. Менеджмент качества в автомобилестроении: монография / Под ред. А.В. Васильчука. – Самара: Офорт; Академический инжиниринговый центр, 2005. – 628 с.
7. Курилов К.Ю. Хеджирование финансовых рынков предприятий автомобилестроения. Практические аспекты // Автомобильная промышленность. – 2013. – №4. – С. 2–7.
8. Курилов К.Ю., Курилова А.А. Причины замедления продаж автомобилей на российском рынке // Автомобильная промышленность. – 2013. – №12. – С. 2–6.
9. Панюков Д.И., Козловский В.Н. Комплекс обеспечения качества системы электрооборудования автомобилей: Монография. – Saarbrücken, Palmarium Academic Publishing, AV Akademikerverland GmbH&Co., Deutschland, 2014. – 360 с.
10. Перспективное планирование качества продукции и план управления. APQP. Ссылочное руководство / Пер. с англ. – Н. Новгород: Приоритет, 2012. – 221 с.
11. Разработка методов оценки экономической эффективности мероприятий и проектов, направленных на повышение качества продукции. Технический отчет по проекту «Развитие системы качества». – Самара: Академический инжиниринговый центр, 2005. – 70 с.
12. Разработка методов оценки экономической эффективности мероприятий и проектов, направленных на повышение качества продукции. Технический отчет по направлению «Оценка эффективности корректирующих действий в информационной системе «Учет, планирование и контроль мероприятий по улучшению качества автомобилей». – Тольятти, 2003. – 48 с.
13. Строганов В.И. Обеспечение качества электромобилей и гибридов в эксплуатации: Монография. – Saarbrücken, Palmarium Academic Publishing, AV Akademikerverland GmbH&Co., Deutschland, 2015. – 397 с.
14. Строганов В.И., Клейменов С.И. Модели аналитических исследований качества и надежности легковых автомобилей в эксплуатации // Автомобильная промышленность. – 2013. – №9. – С. 2–6.
15. Шиндовский Э., Шюрц О. Статистические методы управления качеством. – М., 1976. – 600 с.
16. Юнак Г.Л., Годлевский В.Е., Иванов Г.В. Методические материалы. Планирование и применение FMEA конструкции, технологии и оборудования на ОАО «АВТОВАЗ». – Самара, 2005. – 176 с.
17. Ютт В.Е. Математическое моделирование надежности системы электрооборудования современного легкового автомобиля // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2009. – №1. – С. 31–34.

Стаття надійшла до редакції 13.10.2015.