



УДК 629.1.07

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРАТЕГИИ СОВМЕСТНОЙ ЗАМЕНЫ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ РЕМОНТЕ АВТОТРАНСПОРТА

Рзаева Камар Сисеновна

старший преподаватель

НАО «Каспийский университет технологий и инжиниринга» им. Ш Есенова,

г. Актау, Республика Казахстан

Аннотация. В статье выполнена оценка эффективности стратегии совместной замены конструктивных элементов при ремонте автотранспорта, позволяющая определить оптимальную стратегию для решения задач управления эксплуатационной надежностью автотранспортными средствами.

Ключевые слова: стратегия совместной замены, надежность, ресурс, наработка, деталь

Ремонтопригодность автомобиля зависит не только от быстросъемности агрегатов и деталей, числа используемых инструментов, ремонтной оснастки и других достаточно очевидных факторов, но и от стратегии замены деталей при ремонте.

Можно выделить три варианта организации замен деталей при ремонте автомобиля:

- замена только отказавшей детали (ресурс каждой детали в этом случае используется полностью, но возникает необходимость частых разборок, велики простои автомобиля в ремонте).
- плановая замена групп деталей (агрегатов) до момента наступления отказа (такой вариант часто используется в авиации, при этом обеспечивается высокая безотказность, но ресурс деталей существенно недоиспользуется).
- стратегия совместной замены группы деталей при отказе одной детали группы (имеет преимущества первого и второго варианта).

При ремонте автомобилей, в основном интуитивно, используется третий вариант организации замен деталей. Из опыта установлено, что при ремонте автомобилей ЗиЛ-5301, в среднем, заменяют [1]:

2,24 детали – в коробке передач;

2,36 детали – в заднем мосту;

1,78 детали – в карданной передаче.

Эффективность совместной замены деталей при ремонте можно оценить коэффициентом использования ресурса детали β_i и коэффициентом использования стоимости группы деталей β_c . Коэффициенты находят по следующей формуле:



$$\beta_i = \frac{\bar{X}_o}{\bar{X}_i}, (1)$$

где: $\bar{X}_i$ - средний ресурс детали при ее работе до отказа;

$\bar{X}_o$ - средний ресурс группы совместно заменяемых деталей.

Математическое выражение средних ресурсов:

$$\bar{X}_i = \int_0^{\infty} R(x)_i dx, \quad \bar{X}_o = \int_0^{\infty} R(x)_o dx = \int_0^{\infty} \prod_{i=1}^n R(x)_i dx. (2)$$

Очевидным условием оптимальности стратегии совместной замены деталей является наиболее полное использование их ресурса, что достигается при $\beta_i \rightarrow 1$. Определим в каких случаях будет выполняться это условие на примере.

Решается вопрос о плановой совместной замене поршней компрессора и задних рессор автомобиля ЗиЛ-5301, поскольку их средние ресурсы оказались одинаковыми. Известно, что ресурс поршней распределен по нормальному закону с коэффициентом вариации $\nu_{II} = 0,2$, а ресурс рессор по закону Вейбулла с коэффициентом вариации $\nu_p = 0,77$. Поскольку отказ автомобиля произойдет при отказе хотя бы одной из четырех рассматриваемых деталей, можно считать, что эти детали образуют структурную схему из четырех последовательно включенных элементов. Исследуем кривые безотказности, представленные на рисунке 1.

Безотказность двух поршней $R(x)_{2II} = R(x)_{1II}^2$, средний ресурс для двух поршней $\bar{X}_{2II} = \int_0^{\infty} R(x)_{2II} dx$. Безотказность двух рессор $R_{2P} = R(x)_{1P}^2$, средний ресурс двух рессор $\bar{X}_{2P} = \int_0^{\infty} R(x)_{2P} dx$. Общая безотказность для группы совместно заменяемых деталей $R(x)_o = R(x)_{2II} \cdot R(x)_{2P}$, средний ресурс группы совместно заменяемых деталей $\bar{X}_o = \int_0^{\infty} R(x)_o dx$.

Из анализа кривых безотказностей видно, что чем больше рассеяние ресурса деталей, тем больше недоиспользуется ресурс совместно заменяемых деталей. Чем больше деталей входит в группу, тем меньше будет коэффициент использования их ресурса. При малых наработках поршни компрессора практически безотказны, а рессоры могут отказывать, а при больших наработках некоторые рессоры остаются работоспособными, но все поршни уже достигают предельного значения ресурса.

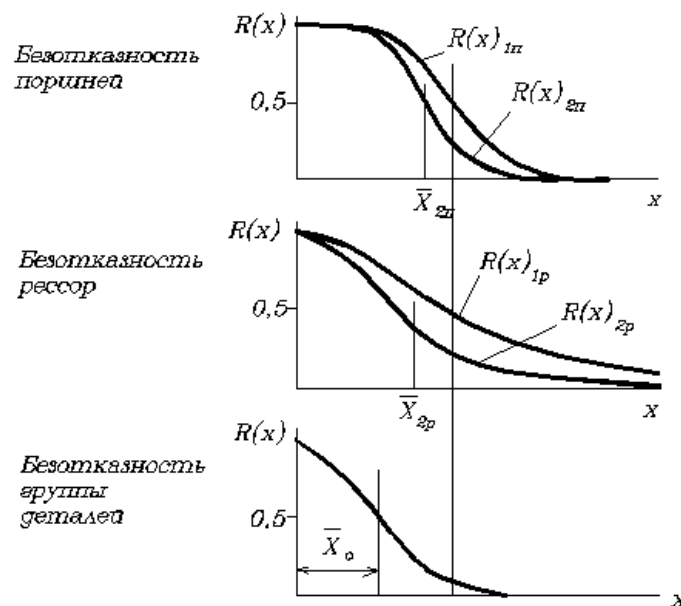


Рисунок 1 – Кривые безотказности для группы совместно заменяемых деталей

Таким образом, можно сформулировать следующие рекомендации для плановой совместной замены группы деталей при ремонте автомобиля (с позиции использования ресурса деталей):

- количество деталей, включаемых в группу для совместной замены, должно быть не очень большим;
- плановая совместная замена эффективнее для деталей, имеющих малую вариацию ресурса;
- все детали, включаемые в группу для совместной замены, должны иметь не только равные средние ресурсы, но и тождественные законы распределения вероятностей наработок до предельного состояния.

Детали, объединяемые в группу для совместной замены, могут иметь различную стоимость, что учитывается в коэффициенте использования стоимости $\beta_C = \frac{\sum C_i \beta_i}{\sum C_i}$, где C_i - стоимость детали, входящей в группу.

Если ресурс деталей используется полностью и $\beta_i \rightarrow 1$, то и $\beta_C \rightarrow 1$; если все детали имеют одинаковую стоимость $C_i = C$, то $\beta_C = \frac{C \sum \beta_i}{nC} = \frac{\sum \beta_i}{n}$, а если еще все детали будут иметь одинаковый коэффициент использования ресурса, то $\beta_C = \beta_i$.

Рассмотрим случай совместной замены двух деталей с большой разницей в стоимости, когда $C_1 = 100C_2$ (например, принимают решение в плановом порядке заменять шестерню и шпонку). Коэффициент использования стоимости $\beta_c = \frac{C_1\beta_1 + C_2\beta_2}{C_1 + C_2} = \frac{100\beta_1 + \beta_2}{101}$. По этому выражению, при $\beta_1 \cong 1$ и $\beta_2 \cong 0,01$, $\beta_c \cong 0,99$. Если взять $\beta_1 \cong 0,01$ и $\beta_2 \cong 1$, то $\beta_c \cong 0,02$.

Отсюда следует, что при стратегии плановой совместной замены деталей при ремонте автомобиля, ресурс дорогой детали должен быть использован полностью, т. е. вероятность отказа очень дешевой детали до выхода из строя всех дорогих деталей должна быть очень маленькой. Расположение кривых безотказностей для этого случая должно соответствовать рисунку 2.

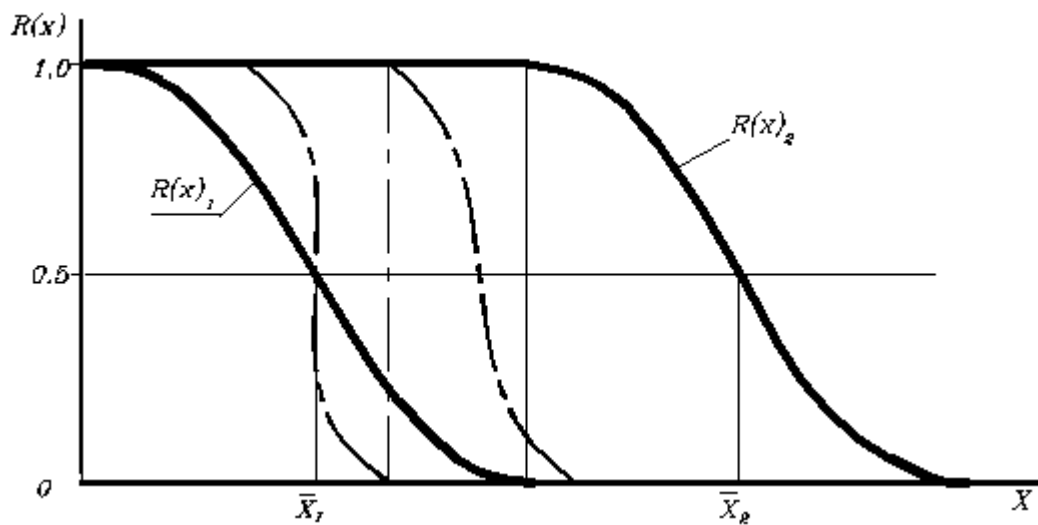


Рисунок 2 – Расположение кривых безотказностей в случае вероятности отказа очень дешевой детали

Из приведенного примера ясна проблема равнопрочного автомобиля, который состоит из большого числа деталей разной стоимости. Для равнопрочного автомобиля не достаточно условия равенства средних ресурсов, а необходимо также отсутствие рассеяния ресурса всех деталей, что практически невозможно.

При не одинаковых, но сопоставимых стоимости деталей, вводимых в группу для совместной замены, оптимальное соотношение средних ресурсов можно найти путем определения экстремального значения коэффициента стоимости деталей. По результатам расчетов строят специальные номограммы [2]. Например, при $C_1 = 3C_2$ и коэффициенте вариации $v_1 = v_2 = 0,2$ наилучшее использование стоимостей деталей достигается при $\bar{X}_2 = 1,25\bar{X}_1$, т.е. средний ресурс более дешевой детали должен быть на 25% выше среднего ресурса более дорогой детали.

Следует подчеркнуть, что рассматриваемые зависимости относятся к стратегии плановой совместной замены установленной заранее группы деталей, что оговаривается в технических условиях на ремонт автомобиля.

Проводя совместную замену деталей при ремонте автомобиля, обычно интуитивно учитывают не только стоимость заменяемых деталей, но и издержки, которые могут возникать при отказах деталей. Например, при ремонте заднего моста автомобилей совместной замена подлежит четыре детали: полуось, подшипник, запорное кольцо и крышка подшипника. Отказ каждой из этой группы деталей имеет различные последствия.

Износ или питтинг подшипника приводит к повышенному шуму. Ослабление натяга запорного кольца приводит к выдвиганию полуоси, когда шлицевая часть полуоси выходит из зацепления с шестерней, автомобиль останавливается. Усталостное разрушение полуоси, испытывающей циклические нагрузки, приведет к отрыву колеса, опрокидыванию автомобиля в кювет или выезд на встречную полосу с возможными тяжелыми последствиями.

Обозначая среднюю величину издержек от отказа детали J_i и зная коэффициент использования ресурса β_i , который, по сути, отражает как бы вероятность отказа детали, можно найти средние издержки при групповой замене деталей $\sum_{i=1}^n J_i \cdot \beta_i$. По аналогии с коэффициентом использования стоимости деталей, введем в рассмотрение коэффициент издержек при групповой замене деталей $\beta_J = \frac{\sum J_i \cdot \beta_i}{\sum J_i}$. Здесь в знаменателе записаны суммарные издержки, когда ресурс всех деталей группы использовался бы полностью[3].

Оптимальной будет такая стратегия замены деталей, когда $\beta_J \rightarrow \min$, что достигается при $\beta_i \rightarrow \min$. Ранее было показано, что коэффициент использования ресурса уменьшается при увеличении числа совместно заменяемых деталей. Это соответствует здравой логике: если после первого отказа заменять весь автомобиль в целом, то число отказов и их последствий будет меньше (естественно, здесь мы не учитываем приработку, возможность проявления скрытых дефектов изготовления, которые обнаруживаются у новых автомобилей и т. п.).

Средние затраты от недоиспользования стоимостей совместно заменяемых деталей

$\sum_{i=1}^n C_i \cdot (1 - \beta_i)$, общие затраты будут равны сумме:

$$I_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n J_i \cdot \beta_i + \sum_{i=1}^n C_i \cdot (1 - \beta_i) \quad (3)$$



Естественным условием эффективности стратегии совместной замены деталей при ремонте автомобиля является снижение общих затрат от недоиспользования ресурса деталей и издержек, связанных с отказом деталей. Преобразуя выражение общих затрат, можно записать:

$$I_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n (J_i - C_i) \cdot \beta_i + \sum_{i=1}^n C_i \rightarrow \min \quad (4)$$

Несмотря на то, что издержки от отказа некоторых деталей могут быть меньше их стоимости, общие затраты не могут быть равны нулю. Докажем это от обратного, переписав выражение общих затрат следующим образом,

$\sum J_i \cdot \beta_i - \sum C_i \cdot \beta_i + \sum C_i = 0$. Разделив все на $\sum J_i$ и заменяя $\sum C_i \beta_i = \beta_C \sum C_i$, получим $\beta_J = (\beta_C - 1) \cdot \frac{\sum C_i}{\sum J_i}$. Как было показано ранее, $\beta_C \leq 1$, значит $\beta_J \leq 0$, что невозможно.

Подставляя выражение коэффициента использования ресурса, получим:

$$I_{\Sigma} = \overline{X}_0 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{J_i - C_i}{\overline{X}_i} + \sum_{i=1}^n C_i \rightarrow \min \quad (5)$$

На основании полученного выражения можно дать следующие рекомендации по формированию группы деталей для их совместной замены при ремонте автомобиля:

- дешевые детали, отказ которых приводит к большим издержкам (повреждение других деталей, необходимость выполнения трудоемких разборочно-сборочных работ, влияние на безопасность автомобиля и т. п.) должны иметь большой ресурс;
- дорогие детали, отказ которых не приводит к большим издержкам, должны иметь ресурс меньший, чем ресурс дешевых деталей;
- количество деталей, включаемых в группу совместной замены, не должно быть очень большим.

Соблюдение этих рекомендаций особенно важно для деталей, отказ которых носит внезапный, как бы непредсказуемый, характер (разрушение хрупких материалов, поломка из-за образования невидимых усталостных трещин и т. п.).

Вывод

Стратегия плановой совместной замены конструктивных элементов при ремонте автомобиля, предполагает полное использование ресурса дорогостоящей детали при условии минимальной вероятности отказа очень дешевых деталей.



Список литературы:

1. Шарыпов А.В., Осипов Г.В. Основы теории надежности транспортных систем: Учебное пособие. — Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2006. -128 с.
2. Баженов, Ю.В. Прогнозирование остаточного ресурса конструктивных элементов в условиях эксплуатации / Ю.В. Баженов, М.Ю. Баженов // Фундаментальные исследования. - 2015. - № 4. - С. 16-21.
3. Роговенко Т. Н. Основы теории надежности и планирования эксперимента : учебное пособие : [спец. "Автосервис и фирменное обслуживание", "Автомобили и автомобильное хозяйство" [и др.]] / Т.Н. РоговенкоРост.гос. строит. ун-т. - Ростов-на-Дону, 2006. – С. 176.