

УДК 629.113.004

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ И АГРЕГАТОВ

Яковлев К.А. (ФГБОУ ВПО ВГЛТА)

Оценка уровня технического состояния автомобилей и эффективность работы технических служб АТП производится на основании ряда показателей надежности, характеризующих изменение качества изделия по мере его эксплуатации.

Таковыми показателями являются: коэффициент технической готовности; коэффициент выпуска на линию; продолжительность работы на линии; техническая и эксплуатационные скорости; пробег и коэффициент его использования; коэффициент использования грузоподъемности, количество перевезенного груза в тоннах; выполненная работа в тонно-километрах.

К основным технико-эксплуатационным свойствам, закладываемым в автомобиль при его производстве, следует отнести грузоподъемность (емкость), экономичность, комфортабельность, управляемость, устойчивость, производительность, приспособленность к различным условиям эксплуатации и надежность. Каждое свойство может быть охарактеризовано количественно соответствующим показателем.

Стабильность показателей при эксплуатации в определенных условиях зависят, прежде всего, от надежности автомобиля и его агрегатов. Изменение показателей является следствием возникновения отказов, причины которых могут быть конструктивными, технологическими и эксплуатационными. Результаты наблюдения показывают, что, у трети возникших отказов причины носят эксплуатационный характер, а у остальных – производственные (недостатки в конструкции и нарушение технологии).

Надежность автомобилей тесно связана с трудоемкостью работ по их техническому обслуживанию и ремонту. Низкий уровень надежности снижает конкурентоспособность отечественных автомобилей на мировом рынке, загружает промышленность дополнительными заказами на производство запасных частей и, самое главное, вместе с ростом автомобильного парка приводит к не-

оправданному пропорциональному росту численности ремонтных рабочих в АТП, которое может достичь внушительного числа.

Интенсивному и непрерывному повышению надежности автомобилей мешает отсутствие действенной обратной связи между потребителем и производством, заставляющей последнее усиленно совершенствовать надёжность своей продукции.

На практике в качестве оценочного показателя долговечности для автомобиля в целом используется чаще всего ресурс до первого капитального ремонта или ресурс до списания, а для агрегатов – ресурс до ремонта и для деталей – ресурс до списания или межремонтный ресурс.

При оценке безотказности автомобилей наиболее часто используется такой показатель как наработка на отказ. Вместе с тем в ряде случаев определяется вероятность безотказной работы, параметр потока отказов, а также средняя наработка до первого отказа (для заменяемых деталей).

Ремонтопригодность очень часто оценивается оперативной трудоёмкостью текущего ремонта, реже используется средняя трудоёмкость восстановления одного отказа. Вероятность восстановления в заданное время применяется крайне редко.

На автомобильном транспорте широко распространено использование в качестве комплексного показателя оценки эффективности технической эксплуатации и надежности автомобилей коэффициента технической готовности. Он определяет долю календарного времени, в течение которого автомобиль находится в работоспособном состоянии и может осуществлять транспортную работу [1].

$$\alpha_T = \frac{D_s}{D_s + D_p},$$

где α_T – коэффициент технической готовности; D_s – количество дней, в течение которых автомобиль эксплуатировался; D_p – количество дней, в течение которых автомобиль подвергался ремонту.

Коэффициент технической готовности α_T функционально связан с коэффициентом выпуска α_g соотношением

$$\alpha_g = \alpha_T(1 - \alpha_n),$$

где α_e – коэффициент выпуска; α_n – вероятность пребывания автомобиля в ожидании работы.

А коэффициент выпуска непосредственно влияет на часовую производительность грузовых автомобилей

$$W = \alpha_b q^\gamma \beta \rho \delta V_T = \alpha_m (1 - \alpha_n) q \gamma \beta \rho \delta V_T,$$

где q – номинальная грузоподъемность, т; γ – коэффициент использования грузоподъемности; β – коэффициент использования пробега; $\rho = \frac{I_n}{I_d}$ – коэффициент использования времени суток; δ – коэффициент использования рабочего времени; V_T – техническая скорость, км/ч.

Следовательно, все факторы, изменяющие значение коэффициента технической готовности, также влияют на изменение производительности автомобиля.

В свете этого при выборе оценочных показателей надежности автомобилей необходимо, чтобы выбранные показатели были связаны с коэффициентом технической готовности и через него с эффективностью технической эксплуатации и производительностью автомобиля.

Рассмотрим связь коэффициента технической готовности с показателями надежности.

Для этого рассмотрим эксплуатацию единичного автомобиля в течение ресурса до первого капитального ремонта. При этом сделаем три допущения:

- количество текущих ремонтов равно числу отказов;
- автомобили эксплуатируются в три смены;
- в устранении отказов участвует один исполнитель.

Тогда $\alpha_r = \frac{D_o}{D_o + D_p} = \frac{1}{1 + \frac{D_p}{D_o}}$, но $D_o = \frac{L_{кр}}{l_{cc}}$, где $L_{кр}$ – ресурс автомобиля до

капитального ремонта, км; l_{cc} – среднесуточный пробег, км/день;

$$D_p = nt = \omega L_{кр} = \frac{L_{кр}}{l_{отк}},$$

где n – количество отказов за пробег; ω – параметр потока отказов; $l_{отк}$ – наработка на отказ, км; t_{cp} – средняя трудоёмкость устранения одного отказа, чел.·ч.

При одном исполнителе он численно равен среднему времени устранения одного отказа

$$\alpha_T = \frac{1}{1 + \frac{L_{кр} \cdot t_{cp} \cdot l_{cc}}{l_{отк} L_{кр}}} = \frac{1}{1 + l_{cc} \frac{t_{cp}}{l_{отк}}}.$$

Таким образом, величина коэффициента технической готовности в значительной степени зависит от значений средней трудоёмкости восстановления одного отказа t_{cp} , и наработки на отказ $l_{отк}$.

У показателя долговечности видимая функциональная связь с коэффициентом готовности отсутствует.

На основании сформулированных выше требований произведены выбор единичных оценочных показателей для надёжности автомобилей.

Для оценки безотказности:

– наработка на отказ $l_{отк}$, тыс. км.

$$l_{отк} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N l_i,$$

где $l_{отк}$ – наработка на отказ за пробег до первого капитального ремонта $L_{кр}$; n – количество отказов у N автомобилей за пробег $L_{кр}$; l_i – наработка а отказ i -го автомобиля.

Для оценки ремонтпригодности:

– средняя трудоёмкость восстановления одного отказа t_{cp} , чел.·ч

$$t_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i,$$

где t_{cp} – средняя трудоёмкость восстановления одного отказа за пробег $L_{кр}$, чел.·ч; n – общее количество обнаруженных и устраненных отказов и неис-

правностей за пробег $L_{кр}$; t_i – время устранения i -го отказа или неисправности, чел. · ч.

Для оценки долговечности:

– ресурс до первого капитального ремонта, $L_{кр}$, тыс. км.

Выбранные оценочные показатели соответствуют требованиям, сформулированным выше, каждый из них оценивает одно свойство, наработка на отказ и среднее время восстановления отказа тесно связаны с показателями эффективности технической эксплуатации, оптимальные значения каждого из показателей задаются ОСТом $L_{кр}$ и $l_{отк}$ даются непосредственно, а $t_{ср}$ может быть подсчитано.

В самом деле

$$T_{удпр} = t_{ср} \omega = \frac{t_{ср}}{l_{отк}},$$

$$t_{ср} = T_{удср} l_{отк}.$$

Сравнение статистических оценок с оптимальными позволяет оценить соответствие существующих свойств надёжности с оптимальными.

Проведенные многочисленные исследования [1-3] показали, что начальные показатели свойств надёжности, как любые показатели качества, будут изменяться по времени работы экспоненциально

$$W(t) = W_1 \exp[-k(t-1)],$$

где W, W_1 – конечные и начальные показатели свойств; k – интенсивность изменения; t – время работы.

Полученные единичные показатели позволяют с их помощью количественно оценить каждое из свойств надёжности автомобиля, агрегатов или деталей. Однако они не позволяют дать комплексную оценку надёжности автомобиля или его составных частей. Этим затрудняются однозначная сравнительная оценка надёжности автомобилей разных марок и их агрегатов. Данная оценка позволяет ранжировать по качеству продукцию авторемонтных предприятий.

Назначение комплексного показателя вытекает из его названия. С его помощью должна производиться абсолютная и сравнительная оценки надежности как автомобиля в целом, так и его составных частей. Поэтому указанный показатель должен включать в себя оценку всех свойств надежности. Он обязательно должен определяться на основании статистических данных, быть достаточно, простым, а также способным оценивать надежность как автомобиля в целом, так и его отдельных агрегатов.

Ни один из существующих и принятых в настоящее время показателей не способен решить перечисленные задачи.

Использование для этой цели коэффициента технической готовности неправомерно по следующим причинам.

Во-первых, коэффициент технической готовности может служить комплексным показателем не всех свойств надежности, а только безотказности и ремонтпригодности. Долговечность и сохраняемость автомобиля оценивается им лишь в какой то мере косвенно.

Во-вторых, с его помощью можно оценивать автомобиль в целом, но его нельзя использовать для оценки надежности агрегатов автомобиля.

Обобщенные показатели, приводимые в ГОСТ, также неприемлемы для ваших целей, так как ни один из них не включает в себя всех показателей свойств надежности. Что же делать для комплексной оценки надежности?

Можно попытаться комплексный показатель надежности представить для самого общего случая в виде произведения четырех вероятностей, каждая из которых характеризует одно из свойств надежности

$$P = P_c \cdot P_o \cdot P_p \cdot P_d,$$

где P – вероятность надежной работы изделия за межремонтный ресурс (обобщенный показатель надежности); P_c – вероятность, характеризующая сохраняемость (вероятность того, что за период хранения у изделия не возникнут отказы, время на устранение которых превысит заданное); P_o – вероятность, характеризующая безотказность (вероятность того, что за межремонтный ресурс параметр потока отказов не превысит заданный); P_p – вероятность, характеризующая ремонтпригодность (вероятность того, что время восстановления одного отказа не превысит заданного); P_d – вероятность, характеризующая долговеч-

ность (вероятность сохранения работоспособности до предельного состояния с необходимыми перерывами для ТО и Р).

Однако использование такого показателя требует знания параметров, например, предельного времени устранения одного отказа, определение истинных значений которых для автомобилей, работающих в лесном хозяйстве, весьма затруднительно. Поэтому использование описанного вероятностного показателя в качестве комплексного в настоящее время нецелесообразно.

Комплексный показатель надежности должен не только отражать оценочные показатели всех ее свойств (в самом общем случае долговечности, безотказности, ремонтпригодности и сохраняемости), полученных в одинаковых условиях работы, но и обладать определенным физическим смыслом.

Конечным результатом процессов, определяемых в ходе эксплуатации, автомобилей их надежностью, является работы по устранению возникающих отказов. Чем таких работ меньше, тем выше уровень надежности данного изделия. Поэтому, очевидно, будет правильным считать, что если удельную трудоемкость устранения отказов на единицу пути удастся связать с долговечностью, сохраняемостью и условиями работы, то можно будет получить выражение, позволяющее оценивать надежность данного изделия целиком.

В практике надежности расчетов радиоэлектронной техники встречается величина произведения параметра потока отказов ω на среднее время восстановления t (или трудоемкость t_{cp}).

Физический смысл этого выражения состоит в том, что оно определяет среднее время восстановления на единицу времени работы изделия (чел.·ч/час). Применительно к автомобилям размерность изменится (чел.·ч/км) и при умножении на 10^3 будет получен показатель, называемый удельной трудоемкостью текущего ремонта. Действительно, для автомобиля в целом

$$\omega t = \frac{t_{cp}}{l_{отк}} \cdot 10^{-3} = T_{mp} \frac{чел. \cdot ч}{км} \cdot 10^{-3},$$

где ω – параметр потока отказов за пробег $L_{kp}, 10^{-3} / км$; t_{cp} – средняя трудоемкость восстановления одного отказа за пробег L_{kp} , чел.·ч; $l_{отк}$ – наработка на отказ за пробег L_{kp} , км· 10^3 .

Отнеся полученную величину к показателям сохраняемости и долговечности, а также введя коэффициент приведения, учитывающий влияние дорожных и климатических условий, а также особенностей подвижного состава, получим выражение, которое в самом общем случае можно рассматривать как комплексный показатель оценки надежности

$$P_{кпн} = K_{\Sigma} \frac{t_{cp}}{L_{кр} T_c l_{отк}},$$

или

$$P_{кпн} = K_{\Sigma} \frac{T_{mp}}{L_{кр} T_c},$$

где $P_{кпн}$ – абсолютное значение комплексного показателя надёжности; $L_{кр}$ – ресурс до первого капитального ремонта, км; T_c – средний срок сохраняемости, лет; t_{cp} – средняя трудоёмкость восстановления одного отказа, чел.·ч; $l_{отк}$ – наработка на отказ за пробег $L_{кр}$, км; T_{mp} – удельная трудоёмкость текущего ремонта, $\frac{\text{чел.} \cdot \text{ч}}{\text{км}} \cdot 10^{-3}$; $K_{\Sigma} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$ – суммарный коэффициент приведения; K_1, K_2, K_3 – коэффициенты приведения дорожных условий, подвижного состава и климатических условий.

Физический смысл комплексного показателя надежности в самом общем случае – это удельные затраты на устранение отказов, отнесенные к единице пробега до первого капитального ремонта и каждому году средней сохраняемости.

Физическое различие между долговечностью и сохраняемостью заключается в причинах, обуславливающих переход к предельному состоянию. Долговечность характеризует способность изделия сохранять полезные свойства в процессе его функционирования. Действующие при этом механические, электрические тепловые и другие нагрузки по мере наработки приводят к накоплению ущерба в изделии, завершающегося его отказом. В отличие от этого сохраняемость характеризует способность продукции сохранять полезные свойства во времени вне зависимости от того функционирует продукция или не функционирует. Потеря полезных свойств

при этом происходит вследствие физических, химических, биологических процессов, протекающих в продукции и окружающей среде. Так, коррозия металлов является следствием воздействия окружающей среды и в частности кислорода на металл, продукты питания портятся вследствие происходящих в них биологических процессов и т.д.

При расчете комплексного показателя надежности для автомобилей, работающих в лесном хозяйстве, показатель сохраняемости может не учитываться [4]. В этом случае абсолютное значение комплексного показателя упростится.

$$P_{кни} = K_{\Sigma} \frac{t_{cp}}{L_{кр} l_{отк}}, \quad (1)$$

$$P_{кни} = K_{\Sigma} \frac{T_{mp}}{L_{кр}}, \quad (2)$$

Для автомобилей комплексный показатель можно рассматривать как удельную трудоемкость на устранение отказов и неисправностей, возникших при одинаковых условиях эксплуатации и отнесенных к единице пробега до первого капитального ремонта. Вполне естественно, что чем полученная величина будет меньше, тем выше уровень надёжности у данного автомобиля или агрегата. В случае полного отсутствия отказов или наработки до первого капитального ремонта, равной бесконечности, комплексный показатель надежности достигнет предела оптимального значения, равного нулю. И, наоборот, наихудшее значение $P_{кни}$ примет при t_{cp} или $T_{тр}$, равных бесконечности, и $L_{кр}$ или $l_{отк}$, равных нулю.

В некоторых случаях для автомобилей и их агрегатов целесообразно использовать сравнительное значение комплексного показателя, которое в общем случае может быть определено, как

$$P_{кни}^c = K_{\Sigma} K_o K_c \frac{t_{cp}}{l_{отк}} \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

$$P_{кни}^c = K_{\Sigma} K_o K_c T_{mp}, \quad (4)$$

где $\Pi_{кпн}^c$ – сравнительный комплексный показатель надёжности, (чел.·ч)/км; K_{Σ} – коэффициент приведения $K_{\Sigma} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$; K_o – коэффициент долговечности

$$K_d = \frac{L_{крб}}{L_{кpi}}, \quad (5)$$

где $L_{крб}$ и $L_{кpi}$ – долговечность соответственно базового и оцениваемого автомобилей или агрегата, или соответствующий норматив, км; K_c – коэффициент сохраняемости

$$K_c = \frac{T_{сб}}{T_{ci}}, \quad (6)$$

где $T_{сб}, T_{ci}$ – сохраняемость соответственно базового и оцениваемого автомобилей или значение соответствующего норматива.

Также как и в предыдущем случае для автомобилей, используемых в лесном комплексе, сравнительный комплексный показатель надёжности упростится

$$\Pi_{кпн}^c = K_{\Sigma} K_o \frac{t_{ср}}{l_{отк}} \cdot 10^{-3} \quad (7)$$

$$\Pi_{кпн}^c = K_{\Sigma} K_o T_{тр}, \quad (8)$$

Оценка надёжности автомобиля различной марки производится путём сопоставления абсолютного комплексного показателя надёжности, полученного при использовании в качестве исходных данных требований, содержащихся в ГОСТ, с абсолютным комплексным показателем надёжности, вычисленным для данной марки автомобиля

$$O_n = \frac{\Pi_{кпнi}}{\Pi_{кпнi}^{опт}} 100, \quad (9)$$

где O_n – оценка надёжности, %; $P_{кни}$ – абсолютный комплексный показатель надёжности для оцениваемого автомобиля; $P_{кни}^{опт}$ – абсолютный комплексный показатель надёжности для требований ГОСТ по долговечности, безотказности и ремонтпригодности.

Оценка надёжности автомобилей и их агрегатов во всех остальных случаях производится по формулам (1)–(9).

Полученные результаты в некоторых случаях проверяются на ранговую корреляцию. Для этой цели используется выборочный коэффициент ранговой корреляции Кендалла τ_B , по которому можно оценить связь между двумя качественными признаками

$$\tau_B = \frac{4R}{n(n-1)} - 1,$$

где R – сумма рангов; n – объём выборки.

Значимость найденного коэффициента выполняется по критической точке $T_{кр}$

$$T_{кр} = Z_{кр} \sqrt{\frac{2(2n+5)}{9n(n-1)}},$$

где $Z_{кр}$ – критическая точка двухсторонней критической области, которую находят по таблице функции Лапласа.

Значимая ранговая корреляционная связь существует, если $\tau_B > T_{кр}$.

Комплексный показатель надёжности может использоваться:

- для оценки надёжности автомобилям данной марки;
- для оценки надёжности автомобилей разных марок;
- для оценки надёжности агрегатов, установленных на различных автомобилях;
- для оценки надёжности автомобиля (или агрегата) одной и той же марки, но различных годов выпусков (прошедших ремонт), или одного года выпуска, но работающих в неодинаковых условиях;

– для сравнительной оценки надёжности различных агрегатов, установленных на одном автомобиле и сопоставления их с надёжностью одного автомобиля.

Библиографический список

1 Прудовский, Б. Д. Управление технической эксплуатацией автомобилей по нормативным показателям / Б. Д. Прудовский, В. Б. Ухарский. – М. : Транспорт, 1990. – 239 с.

2 Кузнецов, Е. С. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и дополн. / Е. С. Кузнецов, А. П. Болдин, В. М. Власов и др. – М. : Наука, 2001. – 535 с.

3 Техническая эксплуатация автомобилей : Учебник для вузов / под ред. Г. В. Крамаренко. – М : Транспорт, 1983. – 488 с.

4 Скрыпников, А. В. Повышение надёжности технического состояния парка подвижного состава, специализирующегося на перевозке лесных грузов : монография / А. В. Скрыпников, Кондрашова Е. В., Яковлев К. А. ; ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I». – М : ФЛИНТА : Наука, 2012. – 152 с.