

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Скрыпников А.В.¹, Кондрашова Е.В.¹, Бурмистрова О.Н.², Яковлев К.А.¹

¹ФГБОУ ВПО «Воронежская государственная лесотехническая академия», Воронеж, Россия (394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8), e-mail: rivelenasoul@mail.ru

²ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет», Ухта, Россия (169300, Республика Коми, г. Ухта, ул. Первомайская, д. 13)

С целью совершенствования теоретических основ технической эксплуатации проведены исследования по выявлению влияния дорожных и транспортных факторов на показатели эффективности технической эксплуатации автопоездов (ТЭА) с целью разработки методики корректировки нормативов ТЭА и классификации условий эксплуатации в зависимости от действия вышеуказанных факторов. Ни один из существующих и принятых в настоящее время показателей не способен решить перечисленные задачи. В представленных исследованиях предложен комплексный показатель надежности, отражающий оценочные показатели всех свойств машины (в самом общем случае долговечность безотказность, ремонтпригодность и сохраняемость), полученных в одинаковых условиях работы. Экономический эффект от внедрения результатов исследований по корректированию нормативов технической эксплуатации автомобилей в зависимости от условий эксплуатации достигается за счёт снижения затрат на техническое обслуживание и текущий ремонт в результате повышения средневзвешенного значения коэффициента корректирования периодичности технического обслуживания и уменьшения средневзвешенного значения коэффициента корректирования удельной трудоемкости текущего ремонта.

Ключевые слова: лесозаготовительные машины, надёжность узлов и деталей, перегрузки, износ.

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF WOOD HARVESTING MACHINES

Skrypnikov A.V.¹, Kondrashov E.V.¹, Burmistrova O.N.², Yakovlev K.A.¹

¹ Voronezh State Forestry Academy, Voronezh, Russia (394087, g. Voronezh, Timiryazeva str., 8), e-mail: rivelenasoul@mail.ru

² «Ukhta State Technical University», Ukhta, Russia (169300, The Republic of Komi, Ukhta, st. May Day, 13)

In order to improve the theoretical foundations of technical operation carried out research to identify the impact of traffic and transport factors on the effectiveness of technical operation of trains (TOT) to develop standards of TOT adjustment method and the classification of conditions depending on the action of the above factors. None of the existing and the currently accepted indicators is able to solve these problems. In the present study offered a comprehensive reliability index, which reflects the estimates of all the properties of the machine (in the general durability of reliability, maintainability, and persistence), obtained under identical conditions. The economic effect of implementing the results of studies on technical standards for correcting operation of vehicles, depending on operating conditions is achieved by reducing costs for maintenance and repair due to higher average values of the correction frequency of maintenance and reduction of the average values of the correction of the specific complexity of maintenance.

Key words: forest machines, parts and components reliability, congestion, wear and tear.

Надёжность автомобилей тесно связана с трудоемкостью работ по их техническому обслуживанию и ремонту. Низкий уровень надёжности 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 неоправданному пропорциональному росту численности ремонтных рабочих в автотранспортных предприятиях, которое может достичь внушительного числа.

Назначение комплексного показателя вытекает из его названия. С его помощью должна производиться абсолютная и сравнительная оценки надёжности 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.

И, наконец, в-третьих, в формулу коэффициента готовности в скрытом виде входит техническая скорость движения автомобиля. Действительно, за определенный пробег

$$\alpha_T = \frac{1}{1 + \frac{D_{\text{э}}}{D_p}}, \text{ но } D_{\text{э}} = \frac{L_{\text{кр}}}{l_{\text{сс}}} = \frac{L_{\text{кр}}}{\tau_{\text{сут}} V_T}, \quad (1)$$

где $\tau_{\text{сут}}$ – среднесуточное время в движении за $L_{\text{кр}}$, час/сутки; V_T – среднетехническая скорость, км/ч.

Поэтому сравнивать надежности автомобилей, имеющих не одну и ту же техническую скорость в силу, скажем, конструктивных причин, будет некорректно.

Обобщенные показатели, приводимые в ГОСТах, также неприемлемы для наших целей, так как ни один из них не включает в себя всех показателей свойств надежности. Что же делать для комплексной оценки надежности [2-4]?

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

$$P = P_c \cdot P_{\text{б}} \cdot P_p \cdot P_d, \quad (2)$$

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); $P_{\text{б}}$ - 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 долговечность (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, являются 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 [1].

В практике надежностных 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.·час/час). Применительно к автомобилям размерность изменится (чел.·час/км), и при умножении на 10^3 будет получен показатель, называемые удельной трудоемкостью текущего ремонта. Действительно, для автомобиля в целом

$$\omega t = \frac{t_{cp}}{I_{отк}} \cdot 10^{-3} = T_{тр} \frac{\text{чел.} \cdot \text{час}}{\text{км}} \cdot 10^{-3}, \quad (3)$$

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

$L_{кр}, км \cdot 10^3$.

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

$$П_{кпн} = K_{\Sigma} \frac{t_{ср}}{L_{кр} T_e I_{отк}}, \frac{\text{чел.} \cdot \text{час}}{\text{км}^2 \text{год}} \quad (4)$$

или

$$П_{кпн} = K_{\Sigma} \frac{T_{тр}}{L_{кр} T_c}, \frac{\text{чел.} \cdot \text{час}}{\text{км}^2 \text{год}} \quad (5)$$

где $П_{кпн}$ - абсолютное значение комплексного показателя надёжности; $L_{кр}$ - ресурс до первого капитального ремонта, км; T_c - средний срок сохраняемости, лет; $t_{ср}$ - средняя трудоёмкость восстановления одного отказа, чел.·час; $I_{отк}$ - наработка на отказ за пробег $L_{кр}$, км; $T_{тр}$ - удельная трудоёмкость текущего ремонта, $\frac{\text{чел.} \cdot \text{час}}{\text{км}} \cdot 10^{-3}$; $K_{\Sigma} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$ - 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.

При расчете комплексного показателя надежности для автомобилей, работающих в лесном хозяйстве, как уже указывалось выше, показатель сохраняемости может не учитываться. В этом случае абсолютное значение комплексного показателя упростится.

$$П_{кпн} = K_{\Sigma} \frac{t_{ср}}{L_{кр} I_{отк}}, \frac{\text{чел.} \cdot \text{час}}{\text{км}^2} \quad (6)$$

$$П_{кпн} = K_{\Sigma} \frac{T_{тр}}{L_{кр}}, \frac{\text{чел.} \cdot \text{час}}{\text{км}^2} \quad (7)$$

Для автомобилей комплексный показатель можно рассматривать как удельную трудоёмкость 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 дан-

ного 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 $\Pi_{\text{кпн}}$ примет при $t_{\text{ср}}$ или $T_{\text{тр}}$, равных бесконечности, и $L_{\text{кр}}$ или $I_{\text{отк}}$, равных нулю.

В некоторых случаях для автомобилей и их агрегатов целесообразно использовать сравнительное значение комплексного показателя, которое в общем случае может быть определено [1], как

$$\Pi_{\text{кпн}}^{\text{с}} = K_{\Sigma} K_{\text{д}} K_{\text{с}} \frac{t_{\text{ср}}}{I_{\text{отк}}} \cdot 10^{-3}, \frac{\text{чел} \cdot \text{час}}{\text{км}}, \quad (8)$$

$$\Pi_{\text{кпн}}^{\text{с}} = K_{\Sigma} K_{\text{д}} K_{\text{с}} T_{\text{тр}}, \frac{\text{чел} \cdot \text{час}}{\text{км}}, \quad (9)$$

где $\Pi_{\text{кпн}}^{\text{с}}$ - сравнительный комплексный показатель надёжности, $\frac{\text{чел} \cdot \text{час}}{\text{км}}$; K_{Σ} - коэффициент приведения $K_{\Sigma} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$; $K_{\text{д}}$ - коэффициент долговечности

$$K_{\text{д}} = \frac{L_{\text{крб}}}{L_{\text{крі}}}, \quad (10)$$

где $L_{\text{крб}}$ и $L_{\text{крі}}$ - долговечность соответственно базового и оцениваемого автомобилей или агрегата, или соответствующий норматив, км; $K_{\text{с}}$ - коэффициент сохраняемости

$$K_{\text{с}} = \frac{T_{\text{сб}}}{T_{\text{сі}}}, \quad (11)$$

где $T_{\text{сб}}$, $T_{\text{сі}}$ - сохраняемость соответственно базового и оцениваемого автомобилей или значение соответствующего норматива.

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

$$\Pi_{\text{кпн}}^{\text{с}} = K_{\Sigma} K_{\text{д}} \frac{t_{\text{ср}}}{I_{\text{отк}}} \cdot 10^{-3} \quad (12)$$

$$\Pi_{\text{кпн}}^{\text{с}} = K_{\Sigma} K_{\text{д}} T_{\text{тр}} \quad (13)$$

Комплексный показатель надёжности может использоваться:

- для оценки надёжности автомобилей 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.

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

$$O_H = \frac{\Pi_{\text{кпні}}}{\Pi_{\text{кпні}}^{\text{ОПТ}}} 100\%, \quad (14)$$

где O_H - оценка надёжности, %; $\Pi_{\text{кпні}}$ - абсолютный комплексный показатель надёжности для оцениваемого автомобиля; $\Pi_{\text{кпні}}^{\text{ОПТ}}$ - 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 (5)-(14). Разработанная методика позволила произвести сравнение надёжности целой группы автомобилей.

Полученные результаты в некоторых случаях проверялись на ранговую корреляцию. Для этой цели использовался выборочный коэффициент ранговой корреляции Кендалла τ_B [5], по которому можно оценить связь между двумя качественными признаками

$$\tau_B = \frac{4R}{n(n-1)} - 1, \quad (15)$$

где R - сумма рангов; n - объём выборки.

Значимость найденного коэффициента проверялась по критической точке $T_{\text{кр}}$

$$T_{\text{кр}} = Z_{\text{кр}} \sqrt{\frac{2(2n+5)}{9n(n-1)}}, \quad (16)$$

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

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

Вывод. Экономический эффект от внедрения результатов исследований по корректированию нормативов технической эксплуатации автомобилей в зависимости от условий экс-

платации достигается за счёт снижения затрат на техническое обслуживание и текущий ремонт в результате повышения средневзвешенного значения коэффициента корректирования периодичности технического обслуживания и уменьшения средневзвешенного значения коэффициента корректирования удельной трудоемкости текущего ремонта.

Список литературы

1. Андреев В.Н. Принятие оптимальных решений: теории и применение в лесном комплексе / В.Н. Андреев, Ю.Ю. Герасимов. – Йоэнсуу : Изд-во ун-та Йоэнсуу, 1999. – 200 с.
2. Бурдин Н.А. Технический уровень производства в лесозаготовительной промышленности / Н.А. Бурдин, В.В. Кашуба // Лесная промышленность. – 2000. – № 1.
3. Воскобойников И.В. Техническое обслуживание и ремонт лесозаготовительных машин и оборудования. – М. : Экология, 1993. – 336 с.
4. Конкин Ю.А. Методика проектирования фонда ремонта машинно-тракторного парка / Ю.А. Конкин, Н.Е. Зимин // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1990. – № 5. – С. 3-9.
5. ЦНИИМЭ и научно-технический прогресс лесозаготовительной промышленности / под ред. Б.М. Большакова. – Химки : ЦНИИМЭ, 1999.

Рецензенты:

Подольский Владислав Петрович – д.т.н., профессор, зав. кафедрой строительства и эксплуатации автомобильных дорог ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный архитектурно-строительный университет», г. Воронеж.

Устинов Юрий Фёдорович – д.т.н., профессор, профессор кафедры строительной техники и инженерной механики ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный архитектурно-строительный университет», г. Воронеж.