

УДК 658.149.3

UDC 658.149.3

**ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ
ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ
СРЕДСТВ**

**EVALUATION OF RESULTS OF RELIABILITY
OF FORESTRY AUTO TRANSPORT**

Белокуров Владимир Петрович
д.т.н., профессор
*Воронежская государственная лесотехническая
академия, Воронеж, Россия*

Belokurov Vladimir Petrovich
Dr.Sci.Tech., professor
*Voronezh State Forestry Engineering Academy
Voronezh, Russia*

Кучув Каflan Адаевич
старший преподаватель
Институт «Юждаг», г. Дербент, Россия

Kuchuv Kaflan Adaevich
senior teacher
Institute "Yijdag", Derbent, Russia

Бусарин Эдуард Николаевич
к.т.н., доцент
*Воронежская государственная лесотехническая
академия, Воронеж, Россия*

Busarin Eduard Nikolayevich
Cand.Tech.Sci., associate professor
*Voronezh State Forestry Engineering Academy
Voronezh, Russia*

В статье рассмотрены показатели надежности лесовозных автотранспортных средств. Их использование позволяет рационально распределять ресурсы на обеспечение надежности в период эксплуатации автотранспорта

The article deals with the results of reliability of forestry of auto transport. Their usage makes it possible to distribute the resources on maintenance of reliability while using the auto transport

Ключевые слова: ЛЕСОВОЗНЫЕ АВТОМОБИЛЬНЫЕ СРЕДСТВА, НАДЕЖНОСТЬ, ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЙ ПРОЦЕСС, ВРЕМЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ, ВЕРОЯТНОСТЬ

Keywords: FORESTRY TRANSPORT, MEANS, RELIABILITY, PROCESS OF EXPLOITATION, TIME OF EXPLOITATION, PROBABILITY

Параметр надежности для лесного автотранспорта является одним из основных показателей качества и эффективности функционирования современных лесовозных автотранспортных средств (АТС), проявляющийся во времени и отражающий изменения, происходящие в АТС на протяжении всего срока их эксплуатации. Современные АТС являются сложными техническими системами, состоящими из множества подсистем, агрегатов и узлов, которые содержат тысячи деталей. Как основной вид наземного безрельсового транспорта лесовозный автотранспорт работает в самых различных дорожных, климатических и других условиях эксплуатации. Основные эксплуатационные свойства автотранспорта связаны с его движением. Они определяются параметрами и выходными характеристиками систем, агрегатов и узлов. Уровень этих параметров обеспечивается в процессе конструирования и производства, зависит при эксплуатации от тех-

нического состояния автотранспорта. При длительной эксплуатации техническое состояние лесовозного автотранспорта, как и любой машины, неизбежно ухудшается.

Агрегаты и большинство деталей лесовозных АТС являются ремонтируемыми объектами, их исправность и работоспособность в случае возникновения отказа или повреждения подлежат восстановлению. Закономерности переходов технического состояния деталей, агрегатов и систем АТС из исправного, работоспособного состояния в неисправное, неработоспособное состояние и, наконец, в предельное состояние и обратно характеризуют надёжные свойства лесовозных АТС как сложных технических систем и их подсистем, агрегатов и узлов.

Для получения аналитических выражений показателей надёжности лесовозных АТС, будем предполагать, что АТС функционирует по следующей схеме: отказавшие элементы и подсистемы начинают немедленно восстанавливать; отсутствуют ограничения на число восстановлений; отказ одной из элементов или подсистем привлечёт за собой отказ лесовозного АТС в целом. Возможные состояния АТС, функционирующего по предложенной выше схеме, могут быть изображены в виде ориентированного графа состояний (рисунок 1): состояние X_0 соответствует состоянию АТС, когда все подсистемы работоспособны, т.е. АТС находится в работоспособном состоянии в любой момент времени; состояние X_1 соответствует состоянию АТС, когда первая подсистема (двигатель) неработоспособна, остальные подсистемы работоспособны; состояние X_2 соответствует состоянию АТС, когда вторая подсистема (муфта сцепления) неработоспособна, а остальные подсистемы работоспособны; состояние X_3 соответствует состоянию АТС, когда третья подсистема (коробка передач) неработоспособна, а остальные подсистемы работоспособны; состояние X_4 соответствует состоянию АТС, когда четвёртая подсистема (трансмиссия) неработоспособна, а остальные подсистемы работоспособны; состояние X_5 соот-

ветствует состоянию АТС, когда пятая подсистема (тормозная система) неработоспособна, а остальные подсистемы работоспособны.

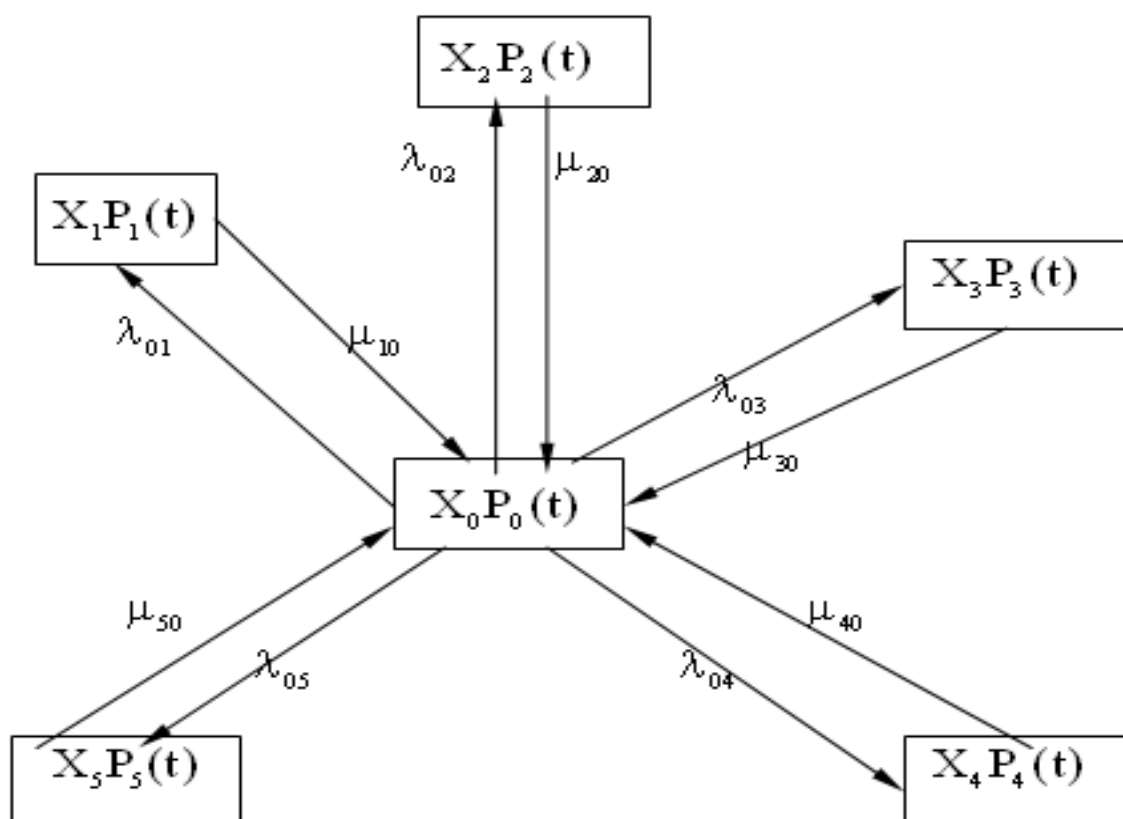


Рисунок 1 – Ориентированный граф возможных состояний лесовозных автотранспортных средств как восстанавливаемой системы

При этом считается, что вероятность P одновременного появления двух и более неработоспособных подсистем пренебрежимо мала. Символом λ_{0i} , $i = \overline{1, n}$ на рисунке 1 обозначена интенсивность отказов i -ой подсистемы; символом μ_{0i} , $i = \overline{1, n}$ обозначена интенсивность восстановления i -ой подсистемы.

По графу состояний (рисунок 1) составлена система дифференциальных уравнений Колмогорова-Смирнова, которая имеет вид:

$$\begin{aligned}
 \frac{dP_1(t)}{dt} &= I_{01} \cdot P_0(t) - m_{10} \cdot P_1(t) \\
 \frac{dP_2(t)}{dt} &= I_{02} \cdot P_0(t) - m_{20} \cdot P_2(t) \\
 \frac{dP_3(t)}{dt} &= I_{03} \cdot P_0(t) - m_{30} \cdot P_3(t) \\
 \frac{dP_4(t)}{dt} &= I_{04} \cdot P_0(t) - m_{40} \cdot P_4(t) \\
 \frac{dP_5(t)}{dt} &= I_{05} \cdot P_0(t) - m_{50} \cdot P_5(t)
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\frac{dP_0(t)}{dt} = m_{10} \cdot P_1(t) + m_{20} \cdot P_2(t) + m_{30} \cdot P_3(t) + m_{40} \cdot P_4(t) + m_{50} \cdot P_5(t) - P_0(t) \cdot \sum_{i=1}^5 I_{0i} .$$

Для выражений (1) следует условие

$$\sum_{i=0}^5 P_i(t) = 1. \tag{2}$$

Далее принимаем, что имеем дело с установившимся режимом эксплуатации лесовозного АТС. Тогда дифференциальные уравнения (1) можно записать в следующей системе:

$$\begin{aligned}
 I_{01} \cdot P_0 &= m_{10} \cdot P_1 \\
 I_{02} \cdot P_0 &= m_{20} \cdot P_2 \\
 I_{03} \cdot P_0 &= m_{30} \cdot P_3 \\
 I_{04} \cdot P_0 &= m_{40} \cdot P_4 \\
 I_{05} \cdot P_0 &= m_{50} \cdot P_5
 \end{aligned} \tag{3}$$

$$P_0 \cdot \sum_{i=1}^5 I_{0i} = m_{10} \cdot P_1 + m_{20} \cdot P_2 + m_{30} \cdot P_3 + m_{40} \cdot P_4 + m_{50} \cdot P_5$$

Решив полученную систему алгебраических уравнений (3) с учётом условия (2), получим следующее значение для вероятности нахождения лесовозного АТС в работоспособном состоянии в любой момент времени

$$P_0 + \frac{I_{01}}{m_{10}} \cdot P_0 + \frac{I_{02}}{m_{20}} \cdot P_0 + \frac{I_{03}}{m_{30}} \cdot P_0 + \frac{I_{04}}{m_{40}} \cdot P_0 + \frac{I_{05}}{m_{50}} \cdot P_0 = 1 \tag{4}$$

или

$$P_0 = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^5 \frac{I_{0i}}{m_{i0}}} . \quad (5)$$

Вероятность нахождения лесовозного АТС в *i*-ом состоянии, когда *i*-ая подсистема неработоспособна, а остальные подсистемы работоспособны, согласно (3) определяется как

$$P_i = \frac{I_{0i}}{m_{i0}} \cdot P_0 . \quad (6)$$

Таким образом, зная значения интенсивностей отказа I_{0i} и восстановления m_{i0} подсистем (основных агрегатов) лесовозного АТС можно определить вероятность нахождения АТС в том или ином состоянии по формуле (6).

Остановимся на определении функции готовности $K_r(t)$ АТС как системы, состоящей из *n* подсистем. Известно [1, 2], что функция готовности системы характеризует вероятность нахождения системы в работоспособном состоянии в любой момент времени:

$$K_r(t) = \sum_{i=1}^n P_i(t) , \quad (7)$$

где $P_i(t)$ - вероятность нахождения системы в *i*-ом работоспособном состоянии в момент времени *t*.

Для установившегося режима эксплуатации лесовозного АТС вместо вероятностей $P_i(t)$ имеем вероятность $P_i = const$. Тогда вместо (7) для коэффициента готовности K_r , будем иметь выражение [3]:

$$K_r = \sum_{i=1}^n P_i . \quad (8)$$

Так как формулы (5) и (8) имеют одинаковый физический смысл, а именно они определяют вероятность нахождения лесовозного АТС в работоспособном состоянии, то имеет место равенство:

$$K_r = P_0 = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \frac{I_{0i}}{m_{i0}}} . \quad (9)$$

Для определения показателей надежности лесовозных АТС, характеризующих процесс восстановления, важное значение имеет установление связи между коэффициентом готовности подсистемы K_r , находящейся в i -ом состоянии после проведения восстановительных мероприятий, и интенсивностью восстановления m_{i0} . Из выражения (5) для каждого i -го состояния можем получить соответствующие выражения для K_{ri} :

$$K_{ri} = \frac{1}{1 + \frac{I_{0i}}{m_{i0}}} = \frac{m_{i0}}{m_{i0} + I_{0i}} \quad (10)$$

Из зависимости (10) следует, что для лесовозного АТС, находящегося, например, в первом состоянии, когда первая подсистема (двигатель) неработоспособна, а остальные подсистемы работоспособны АТС можно перевести в работоспособное состояние с коэффициентом готовности K_{r1} путём проведения соответствующих восстановительных мероприятий с интенсивностью m_{10} , то есть

$$K_{r1} = \frac{m_{10}}{m_{10} + I_{01}} .$$

Аналогичные выражения имеют место и для случаев, когда лесовозное АТС находится во втором, третьем и других состояниях.

Если необходимые (требуемые) коэффициенты готовности для лесовозного АТС, находящегося в том или ином неработоспособном состоянии заданы, и требуется определить интенсивность восстановительных мероприятий (в частности для обоснования необходимого состава ремонтно-восстановительных служб предприятий), то из выражения (10) следует

$$m_{i0} = \frac{I_{0i} \cdot K_{ri}}{1 - K_{ri}} . \quad (11)$$

Подставив выражения для интенсивностей восстановления в зависимость (9) имеем формулу для коэффициента готовности лесовозного АТС в любой момент времени в целом как функцию от коэффициентов готовности отдельных подсистем.

$$K_z = P_0 = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{K_{zi}} - 1 \right)}. \quad (12)$$

Таким образом, если известны требуемые значения коэффициентов готовности для каждой подсистемы (основных агрегатов) АТС, либо они определены расчётным путём, то подставив эти значения в зависимость (12) получим соответствующее значение коэффициента готовности лесовозного автотранспортного средства в целом.

Достижение требуемых значений коэффициента готовности автотранспортных средств обеспечивается оперативной разработкой и внедрением комплекса мероприятий по обеспечению диагностирования, ремонта, восстановления и обслуживания элементов и подсистем лесовозных АТС. Этот комплекс мероприятий в свою очередь определяет значения интенсивностей восстановления m_{i0} отдельных элементов и подсистем.

Для оценки значений коэффициента готовности лесовозных АТС в целом, а также её отдельных подсистем (основных агрегатов) наряду со значениями интенсивностей восстановления m_{i0} необходимо также значения интенсивностей отказов I_{oi} . Установление значений I_{oi} связано с определением вероятностей безотказной работы отдельных элементов и подсистем до первого отказа $P_{Li}(t)$, которая для экспоненциального закона распределения безотказной работы АТС представляется в виде:

$$P_{Li} = \exp(-I_{oi} \cdot t). \quad (13)$$

Следует отметить, что вместо наработки на отказ по времени $T_1(P_{T_1}(t))$ в исследованиях используется наработка на отказ по расстоянию $L_1(P_{L_1}(t))$

Когда рассматривается вероятность безотказной работы такой сложной системы, как лесовозное АТС, то необходимо обязательно фиксировать время безотказной работы лесовозного АТС. Поэтому здесь более уместно говорить о b -квантильном времени безотказной работы лесовозного АТС T_b , определяемом как:

$$L_b = -\frac{1}{I_0} \cdot \ln P_{L_1}(l_b) = -\frac{1}{I_0} \cdot \ln b \quad (14)$$

или применительно к отдельным элементам и подсистемам

$$L_b = -\frac{1}{I_{0i}} \cdot \ln P_{L_{1i}}(l_b) = -\frac{1}{I_{0i}} \cdot \ln b_i, \quad (15)$$

где b и b_i - b -квантильные вероятности безотказной работы до первого отказа АТС в целом и подсистем соответственно.

Из выражения (15) получено выражение для интенсивности отказов i -подсистемы в зависимости от b -квантильного расстояния и b -квантильной вероятности безотказной работы i -ой подсистемы до первого отказа.

$$I_{0i} = -\frac{1}{L_{bi}} \ln b. \quad (16)$$

Зная b -квантильные вероятности подсистем по теореме умножения вероятностей получено следующее выражение для безотказной работы лесовозного АТС в целом

$$P_{L_1}(l_b) = \prod_{i=1}^n P_{L_{1i}}(l_{bi}) = \prod_{i=1}^n b_i = \exp\left(-\sum_{i=1}^n L_{bi} \cdot I_{0i}\right). \quad (17)$$

Представляется целесообразным в дальнейшем для удобства считать L_{bi} одинаковыми для всех подсистем, т.е. $L_{b1} = L_{b2} = \dots = L_{bi} = L_b$. Тогда выражение (17) будет представлена в виде

$$P_{L_1}(l_b) = \exp\left(-L_{bi} \sum_{i=1}^n I_{oi}\right). \quad (18)$$

Выражения для обобщённого показателя надёжности лесовозных АТС и его составляющих позволяют оценить значения обобщённого показателя надёжности в функции частных показателей надёжности. Для этого рассмотрена структура лесовозного автотранспорта, состоящая из пяти основных агрегатов, причём, если один из агрегатов вышел из строя (неработоспособен), то автотранспорт находится в неработоспособном состоянии. Для выполнения расчетных оценок надёжности лесовозного АТС, например, марки КамАЗ, могут быть приняты следующие исходные данные:

1. Коэффициент готовности автомобиля в целом принимает значения: $K_r = \{0,3; 0,5; 0,7; 0,9\}$.

2. Вероятность безотказной работы АТС до первого отказа равна 0,90, т.е. $P_{L_1} = b = 0,90$.

3. β -квантильное расстояние безотказной работы АТС принимает значения: $L_b = \{20 \cdot 10^3 \text{ км}; 40 \cdot 10^3 \text{ км}; 100 \cdot 10^3 \text{ км}; 200 \cdot 10^3 \text{ км}\}$.

4. b -квантильная длительность по расстоянию эксплуатации составляет $300 \cdot 10^3 \text{ км}$.

5. Исходные данные, полученные по материалам статистических исследований составляют: для двигателя $L_{бдв.} = 22 \cdot 10^3 \text{ км}$; для муфты сцепления $L_{бм.с.} = 29 \cdot 10^3 \text{ км}$; для коробки передач $L_{бк.п.} = 40 \cdot 10^3$; для карданной передачи $L_{бкп.п.} = 40 \cdot 10^3$; для тормозной системы $L_{бт.с.} = 30 \cdot 10^3 \text{ км}$.

При этом можно принять, что коэффициенты готовности для основных агрегатов АТС равны 0,90, т.е. $K_{Гдв.} = K_{Гм.с.} = K_{Гк.п.} = K_{Гкп.п.} = K_{Гт.с.} = 0,9$.

Анализ результатов расчетов показывает, что:

1. Значения обобщённого показателя надёжности существенным образом зависят от β -квантильной наработки на отказ и коэффициента готовности лесовозного автотранспорта.

2. При относительно больших значениях длительности по расстоянию наработки на отказ влияние коэффициента готовности на обобщённый показатель надёжности уменьшается. Так, например, для $L_{\beta} = 20 \cdot 10^3$ км при $K_{Г} = 0,5$ обобщённый показатель надёжности равен $130 \cdot 10^3$ км; а при $K_{Г} = 0,7$ $A = 180 \cdot 10^3$ км, т.е. возрастает на 40%, то при $L_{\beta} = 100 \cdot 10^3$ км обобщённый показатель надёжности соответственно будет равен $A = 180 \cdot 10^3$ км и $A = 220 \cdot 10^3$ км, т.е. возрастает на 33 %.

Для проведения мероприятий по обеспечению надёжности лесовозных АТС целесообразно в первую очередь применить такие мероприятия, которые обеспечивали бы повышение безотказности. Это связано с тем обстоятельством, что эффект от мероприятий по повышению надёжности в самой системе значительно выше, чем от мероприятий по восстановлению отказов системы.

Полученные результаты имеют важное практическое значение при проектировании комплексов обеспечения надёжности лесовозных автотранспортных средств. Они могут стать научно-методической базой для разработки и изготовления перспективной автотранспортной продукции, как для лесной промышленности, так и для других отраслей.

Список использованной литературы

1. Дружинин Г.В. Надёжность автоматизированных систем / Г.В. Дружинин // М.: Энергия, 1987. – 336 с.
2. Пронников А.С. Надёжность машин / А.С. Пронников // М.: Машиностроение, 1978. – 234 с.
3. Кучув К.А., Системные особенности решения проблемы оценки эффективности комплексов обеспечения надёжности автотранспортных средств / К.А. Кучув, Г.С. Гамидов, Н.К. Санаев // Проблемы управления качеством в машиностроении (ВНПК-1). Сб. статей Всероссийской научно-практической конференции / Махачкала, 2007.– С. 207-209.