

УДК 658. 149. 3

UDC 658. 149. 3

**КОМПЛЕКСНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ  
ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ  
ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОТРАНСПОРТНЫХ  
СРЕДСТВ**

**COMPLEX INDEX OF MAINTENANCE 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 lecturer  
*"Yuzhdag" Institute, Derbent, Russia*

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

Busarin Eduard Nikolayevich  
Cand.Tech.Sci., senior lecturer  
*Voronezh State Forestry Engineering Academy,  
Voronezh, Russia*

В статье получен комплексный показатель обеспечения надежности лесовозных автотранспортных средств. Его использование позволяет рационально распределять ресурсы на обеспечение надежности в период эксплуатации автотранспорта

The article deals with the complex index of maintenance reliable forestry auto transport means. Its usage helps to distribute the resources for maintenance of reliability rationally, while using 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

Эксплуатация лесовозных автотранспортных средств (АТС) предполагает выполнение задания по перевозке определенного количества лесоматериалов за планируемое время  $T_{пл}$  при определенных значениях показателей эффективности лесовозных АТС, работающих, как правило, в условиях изменяющегося потока заданий, что связано с изменениями в условиях эксплуатации. Многовариантность решения задач затрудняет их представление в виде последовательно-параллельных детерминированных схем при расчете надежности.

В связи с этим представляется целесообразным характеризовать надежность лесовозных АТС, которая отражала бы как техническое состояние лесовозного автотранспорта, так и техническое состояние его компонентов. Поэтому, надежность лесовозного АТС как системная

категория должна оцениваться комплексными показателями, которые в той или иной мере характеризуют эффективность функционирования лесовозного АТС во времени. Так как комплекс обеспечения надежности является подсистемой сложной технической системы лесовозного автотранспорта, то введем частные и основные показатели надежности.

Результаты анализа показывают, что в качестве таких частных показателей надежности целесообразно использовать совокупность следующих показателей [1]:

- вероятность безотказного функционирования системы  $P_T(t)$ ;
- наработка на отказ  $T_I$  до первого отказа;
- коэффициент технического использования  $K_{Т.И.}$ .

При рассмотрении вероятности  $P_T(t)$  целесообразно выделить вероятность безотказного функционирования лесовозного АТС до первого отказа системы и вероятность безотказного функционирования лесовозного автотранспорта в пределах межремонтного периода. Важным параметром, характеризующим основной критерий эффективности комплексов обеспечения надёжности лесовозного АТС, является показатель эффективности, который, в свою очередь, зависит от упомянутых выше частных показателей надёжности. В связи с этим, далее рассмотрен показатель эффективности  $W(t)$  автотранспортных средств и его составляющие.

В общем виде показатель эффективности  $W(t)$  записывается в форме интегрального результата функционирования лесовозного АТС в течение некоторого расчетного планируемого времени  $T_{пл}$  или времени фактической эксплуатации  $T_{ЭК}$ . Показатель  $W(t)$  является функцией комплексных показателей надежности лесовозных АТС и записывается в самом общем виде в форме

$$W(t) = F( V(t), P_{ТI}(t), P_H(t), K_{Т.И.}, T_{ЭК}, H), \quad (1)$$

где:  $V(t)$  – интенсивность эксплуатационного процесса лесовозного автотранспортного средства;

$P_{T1}(t)$  – вероятность безотказного функционирования системы за время наработки до первого отказа  $T_1$ ;

$P_H(t)$  – вероятность безотказного функционирования системы в пределах межремонтного периода;

$K_{Т.И}$  – коэффициент технического использования лесовозного автотранспортного средства;

$T_{ЭК}$  – время эксплуатации системы;

$H$  – показатель (коэффициент), который характеризует комплексное влияние других факторов на эффективность эксплуатации лесовозного автотранспорта (в данном случае влиянием показателя  $H$  пренебрегаем и в расчетах принимаем  $H=1$ ).

Содержание вероятности безотказного функционирования лесовозного АТС  $P_{T1}(t)$  состоит в безотказной работе лесовозного автотранспортного средства за период времени  $[0, T_1]$ . В пределах любого межремонтного периода вероятность  $P_H(t)$  монотонно убывает, так как вероятность отказа системы возрастает во времени. В результате проведения очередного ремонта вероятность  $P_H(t)$  повышается по сравнению с тем значением, которое она имела накануне ремонта. Поэтому на протяжении срока эксплуатации лесовозного АТС вероятность  $P_H(t)$  имеет дискретно-непрерывный характер. В свою очередь, оперативное и своевременное применение мероприятий по повышению надежности лесовозного АТС позволяет обеспечить высокие значения вероятности  $P_H(t)$  и ее относительную стабильность во времени. С учетом изложенного показатель эффективности  $W(t)$  функционирования лесовозного АТС можем записать в виде:

$$W(t) = V_1(t)P_{T1}(t)T_1 + \sum_{i=1}^n V_i(t)P_{H1}(t)K_{Т.И}T_i, \quad (2)$$

где  $\sum_{i=1}^n T_i = T_{ЭК} - T_1$

$V_1(t)$  - интенсивность эксплуатации лесовозного АТС при безотказной работе за период времени  $T_1$ ;

$V_i(t)$  - интенсивность функционирования лесовозного АТС в пределах  $i$ -го межремонтного периода;

$K_{Т.И.і}$  - коэффициент технического использования лесовозного автотранспортного средства в пределах  $i$ -го межремонтного периода;

$P_{Hi}$  - вероятность безотказного эксплуатации лесовозного АТС в пределах  $i$ -го межремонтного периода.

Произведение  $P_{Hi}(t) \cdot K_{Т.И.і}$  - характеризует функцию или коэффициент готовности лесовозного автотранспортного средства в любой момент  $i$ -го межремонтного периода.

Если принять допущение, что интенсивность эксплуатации лесовозного автотранспортного средства после проведения ремонтно-восстановительных работ не ухудшается и остается постоянной, т.е.

$V_1 = V_i = V, i = \overline{1, n}$ , то выражение (2) запишется в виде

$$W(t) = V \cdot \left( P_{T_1}(t) T_1 + \sum_{i=1}^n P_{Hi}(t) K_{Т.И.і} T_i \right), \quad (3)$$

а так же принять допущение, что для любого межремонтного периода  $T_i$  вероятности  $P_{Hi}(t)$  и  $K_{Т.И.і}$  одинаковы, т.е.  $P_{Hi}(t) = P_{Hj}(t) = P_H(t)$  и

$K_{Т.И.і} = K_{Т.И.j} = K_{Т.И.}$ ,  $i, j = \overline{1, n} \quad i \neq j$ , то последнее выражение (3) примет

следующий вид

$$W(t) = V(t) \cdot (P_{T_1}(t) \cdot T_1 + P_H(t) \cdot K_{Т.И.} \cdot (T_{ЭК} - T_1)). \quad (4)$$

В зависимости (3) выражение в скобках обозначим через  $A(t)$

$$A(t) = P_{T_1}(t) T_1 + \sum_{i=1}^n P_{Hi}(t) K_{Т.И.і} \cdot T_i, \quad (5)$$

которые будем называть *обобщенным показателем надежности* лесовозных АТС. Частным случаем обобщенного показателя надежности является выражение в скобках аналитической зависимости (4), то есть

$$A(t) = P_{T_1}(t)T_1 + P_H(t) \cdot K_{T.H.} \cdot (T_{ЭК} - T_1). \quad (6)$$

Физический смысл обобщенного показателя надежности, как следует из формул (5, 6), состоит в математическом ожидании времени нахождения лесовозного АТС в непрерывном работоспособном состоянии за период эксплуатации. Таким образом, обобщенный показатель надежности позволяет с системных позиций оценить общую надежность лесовозного АТС как форму ее устойчивого функционирования на протяжении всего времени эксплуатации. Он объединяет в себе основные комплексные показатели надежности лесовозного АТС: вероятность безотказной работы АТС до первого отказа; вероятности безотказной работы АТС в промежутках между восстановлениями; наработка до первого отказа; вероятности восстановления лесовозного АТС; время эксплуатации лесовозного АТС; коэффициент технического использования или коэффициент готовности лесовозного АТС.

Из содержания обобщенного показателя надежности лесовозного АТС видно, что он является весьма конструктивным инструментом анализа надежности лесовозных АТС как целостных объектов и определяет направления и пути обеспечения устойчивого непрерывного функционирования лесовозных автотранспортных средств.

В целях удобства дальнейшего использования обобщенного показателя надежности АТС вводятся следующие обозначения показателей надежности для расчетного и исходного (существующего) вариантов соответственно.

$$P_H^P(t); P_{T_1}^P(t); K_{T.H}^P(t); K_T^P(t) \text{ и } P_H^0(t); P_{T_1}^0(t); K_{T.H}^0(t); K_T^0(t) \quad (7)$$

С учетом последних обозначений обобщенный показатель надежности  $A(t)$  запишется в виде:

- для расчетного варианта комплекса обеспечения надежности АТС:

$$A^P(t) = P_{T_1}^P(t) + \sum_{i=1}^n P_{H_i}^P(t) \cdot K_{T_{H_i}}^P \cdot T_i \quad (8)$$

- для исходного варианта комплекса обеспечения надежности:

$$A^0(t) = P_{T_1}^0(t) + \sum_{i=1}^n P_{H_i}^0(t) \cdot K_{T_{H_i}}^0 \cdot T_i. \quad (9)$$

Для частного случая, определяемого выражением (6) зависимости (8) и (9) запишутся в виде:

$$A^P(t) = P_{T_1}^P(t) \cdot T_1 + P_H^P(t) \cdot K_{T.H.}^P(t) \cdot (T_{ЭК} - T_1) \quad (10)$$

и

$$A^0(t) = P_{T_1}^0(t) \cdot T_1 + P_H^0(t) \cdot K_{T.H.}^0(t) \cdot (T_{ЭК} - T_1). \quad (11)$$

Отсюда следует, что относительное приращение показателя эффективности лесовозного АТС, которое дает расчетный вариант комплекса обеспечения надежности, будет равно:

$$\bar{\Delta W}^P(t) = \frac{V^P \cdot A^P(t) - V^0 \cdot A^0(t)}{V^0 \cdot A^0(t)} \quad (12)$$

При выполнении расчетов эффективности комплексов обеспечения надежности лесовозных АТС необходимо заранее условиться, о какой интенсивности эксплуатации лесовозного АТС идет речь. В этом случае интенсивность может быть необходимой при данных внешних условиях, и располагаемой, то есть предельно возможной для полностью работоспособной и непрерывно загруженной системы. Чтобы иметь возможность сравнивать результаты расчетных оценок, представляется целесообразной располагаемая интенсивность эксплуатации лесовозного АТС. Поэтому в формуле (12) принимается, что

$$V^P(t) = V^0(t) = V(t) = const.$$

В этом случае выражение (12) примет вид

$$\bar{\Delta W}^P(t) = \frac{A^P(t)}{A^0(t)} - 1 \quad (13)$$

Аналогично показателю эффективности (12) введем понятие «относительное приращение затрат на создание и внедрение расчётного варианта комплекса обеспечения надёжности»:

$$\bar{\Delta}C^P = \frac{C^P - C^o}{C^o}$$

(14)

где  $C^o$  и  $C^P$  - затраты на создание и эксплуатацию лесовозных АТС с исходным комплексом надёжности и расчетным (предлагаемым) вариантом соответственно.

Результаты анализа позволяют установить связь между объёмом затрат ресурсов на создание АТС и эффективностью достижения поставленных при этом целей. В этом случае различные варианты подсистем АТС выступают в качестве альтернативных способов использования ресурсов.

Представление основного критерия оптимальности в форме затраты - эффективность, в том числе с учетом эффективности отдельных подсистем и определение по нему оптимальных характеристик подсистем требуют каждый раз выполнения довольно сложной процедуры установления области принятия эффективных решений и осуществления после этого выбора той или иной подсистемы из альтернативных вариантов на основании соответствующих логических и вычислительных процедур. В связи с этим необходимым является получение для основного критерия аналитической функции, которая должна зависеть только от относительного приращения показателя эффективности подсистемы  $\bar{\Delta}W$  и относительного приращения соответствующих затрат  $\bar{\Delta}C$ . Так, как в задачах выбора оптимальных параметров комплекса обеспечения надёжности АТС стремятся к увеличению  $\bar{\Delta}W$  и к уменьшению  $\bar{\Delta}C$ , то представляется целесообразным выбрать в качестве основного критерия комплексов обеспечения надёжности функцию, определяемую в виде [2]

$$\mathcal{E}_{oc} = F\left(\frac{\bar{\Delta W}}{\Delta C}\right) = F\left(\frac{\Delta WC^0}{\Delta CW^0}\right). \quad (15)$$

В границах рассматриваемой задачи отношение  $\frac{C^0}{W^0}$  принимается постоянной величиной, которая обозначается коэффициентом  $K_{cw} = \frac{C^0}{W^0}$ . Тогда выражение для основного критерия эффективности комплексов обеспечения надёжности АТС запишется в виде

$$\mathcal{E}_{oc} = F\left(K_{cw} \frac{\Delta W}{\Delta C}\right). \quad (16)$$

Выполненные исследования возможных зависимостей типа (16) применительно к задачам АТС и их подсистем показывают, что функция (16) должна иметь нелинейный характер, принимать значения в некоторой ограниченной области (в расчетах было принято – (0, 1)), и должна отвечать следующим требованиям:

- возрастать при увеличении относительного приращения показателя эффективности при фиксированных значениях относительного приращения стоимости или при возрастании относительного приращения показателя эффективности с большим градиентом по сравнению с возрастанием относительного приращения стоимости, стремясь к единице;
- принимать значения, близкие к нулю, при очень низких значениях относительного приращения показателя эффективности для постоянных значений относительного приращения стоимости или когда относительное приращение стоимости принимает высокие значения для постоянных значений относительного приращения показателя эффективности;
- характер изменения функции в пределах (0, 1) должен соответствовать соотношению градиентов относительных приращений показателя эффективности и стоимости.

Выполненный анализ показывает, что перечисленными свойствами обладает класс функций, определяемых выражением [3]:



$$\mathcal{E}_{oc} = 1 - \exp(-\overset{\Delta}{a}x), \quad (17)$$

где  $\overset{\Delta}{a}$  - некоторый постоянный вектор.

Из выражений (15 - 17) следует, что в качестве основного критерия эффективности комплекса обеспечения надёжности АТС целесообразно выбрать аналитическую функцию - функцию эффективности вида

$$\mathcal{E}_{oc} = 1 - \exp\left(-\frac{C^0}{W^0} \frac{\Delta W}{\Delta C}\right) = 1 - \exp\left(-K_{cw} \frac{\Delta W}{\Delta C}\right) \quad (18)$$

В результате использования значений формул (13) и (14) в формуле (18) получим следующее выражение для основного критерия эффективности комплексов обеспечения надёжности лесовозных АТС:

$$\mathcal{E}_{oc} = 1 - \exp\left[-\frac{(A^P - A^0) \cdot C^0}{A^0 (C^P - C^0)}\right] \quad (19)$$

После подстановки выражений (8, 9) и (14) соответственно для расчетного и исходного вариантов комплексов обеспечения надёжности лесовозных АТС в формулу (19) получим

$$\mathcal{E}_{oc} = 1 - \exp\left[-\frac{\left(\left(P_{T_1}^P(t) + \sum_{i=1}^n P_{H_i}^P(t) \cdot K_{T.H_i}^P \cdot T_i\right) - \left(P_{T_1}^0(t) + \sum_{i=1}^n P_{H_i}^0(t) \cdot K_{T.H_i}^0 \cdot T_i\right)\right) \cdot C^0}{\left(P_{T_1}^0(t) + \sum_{i=1}^n P_{H_i}^0(t) \cdot K_{T.H_i}^0 \cdot T_i\right) \cdot (C^P - C^0)}\right] \quad (20)$$

Выражение (20) для частного случая, когда выражение  $\bar{\Delta W}^P(t)$  определяется зависимостью (13), запишется в следующем виде:

$$\mathcal{E}_{oc} = 1 - \exp\left[-\frac{\left(P_{T_1}^P(t) \cdot T_1 + P_H^P(t) \cdot K_{T.H}^P(t) - \left(P_{T_1}^0(t) \cdot T_1 + P_H^0(t) \cdot K_{T.H}^0(t)\right)\right) \cdot C^0}{\left(P_{T_1}^0(t) \cdot T_1 + P_H^0(t) \cdot K_{T.H}^0(t)\right) \cdot (C^P - C^0)}\right] \quad (21)$$

Выражения (20) и (21) представляют собой обобщённый (комплексный) показатель эффективности комплексов обеспечения надёжности АТС. Они являются функциями от основных показателей надёжности лесовозных АТС и могут быть использованы при сравнительной оценке эффективности различных вариантов комплексов обеспечения надёжности АТС, при обосновании рационального

распределения ресурсов на обеспечение надежности в период эксплуатации АТС. Выражения (20) и (21) связывают между собой эффективность функционирования лесовозных АТС с показателями надежности с экономических позиций.

#### **Список использованной литературы**

1. Кучув К.А. Конструкторско-технологическое обеспечение надёжности автотранспортных средств как сложных технических систем / К.А. Кучув // Сб. научных трудов, выпуск VIII / Институт «Юждаг» – Дербент, 2008. - С. 161-164.

2. 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.

3. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Наука, 1996. – 544 с.