

УДК 630.383

РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ

Тимохов Р.С., Бурмистров В.А., Арутюнян А.Ю.

ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет», Ухта,
e-mail: chonochka@mail.ru

В статье приведены расчеты показателей надежности, основанные на процессе наблюдений, фактических данных о периодичности, перечне операций и трудоёмкости ТО; сведениях об отказах подконтрольных автомобилей, времени простоев, видах текущего ремонта и трудоёмкости их выполнения. В результате проведенного анализа из перечня операций по обслуживанию узлов, агрегатов и систем, лимитирующих надежность автомобиля, выделяются операции, оказывающие существенное влияние на критерий оптимизации и рассматриваемые показатели. Расчет показателей надежности производился на основании анализа отказов, зафиксированных у подконтрольных автомобилей, с помощью известных методов теории вероятностей и математической статистики. Определение функциональных показателей производилось путем непосредственного их измерения или с помощью существующих способов диагностики. Определены удельные затраты на ТО и ремонт подконтрольных автомобилей.

Ключевые слова: автомобиль, автопоезд, ремонт, обслуживание, эксплуатация, математическая модель, операции, задача, надежность

CALCULATION OF INDICATORS OF RELIABILITY OF FORESTRY TRACTOR-TRAILER

Timokhov R.S., Burmistrov V.A., Arutyunyan A.Y.

FGBOU VPO «Ukhta State Technical University», Ukhta,
e-mail: chonochka@mail.ru

The article presents the calculation of reliability indices, based on the process of observation, evidence of periodicity, the list of operations and time consuming TO; information on faults, controlled cars, downtime, maintenance and types of complexity of their implementation. The analysis from the list of maintenance operations units, assemblies and systems, limiting the reliability of the car, stand operations have a significant impact on the optimization criterion and indicators are considered. Calculation of reliability based on an analysis of failures recorded in controlled cars, using known methods of probability theory and mathematical statistics. The definition of functional parameters was performed by directly measuring them or by the existing methods of diagnosis. Determine the specific costs of maintenance and repair of controlled vehicles.

Keywords: the car, trailer, repair, maintenance, operation, mathematical model, operations, task, reliability

Расчет показателей надежности лесовозных автопоездов производится на основании анализа отказов, зафиксированных у подконтрольных автомобилей, с помощью известных методов теории вероятностей и математической статистики.

Для построения целевой функции (1) необходима статистическая информация 3 видов:

– информация, позволяющая выявить операции, для которых целесообразно корректирование периодичности;

– информация, с помощью которой можно построить математическую модель зависимости величины суммарных удельных приведенных затрат на техническое обслуживание и ремонт автомобилей (агрегатов) от периодичности выполнения выявленных операций;

– информация, позволяющая построить математические модели, описывающие связь показателей надёжности и функциональных показателей с периодичностью выполнения операций технического обслуживания.

$$C_{\text{уд}} = C_0 + C_1 l + C_2 l^2 \rightarrow \min;$$

$$P_1 = a_{01} + a_{11} l + a_{21} l^2 = \overline{P}_1;$$

$$P_2 = a_{02} + a_{12} l + a_{22} l^2 = \overline{P}_2;$$

$$\dots \dots \dots \dots \dots \dots$$

$$P_m = a_{0m} + a_{1m} l + a_{2m} l^2 = \overline{P}_m;$$

$$\Phi_1 = b_{01} + b_{11} l + b_{21} l^2 = \overline{\Phi}_1;$$

$$\Phi_2 = b_{02} + b_{12} l + b_{22} l^2 = \overline{\Phi}_2;$$

$$\dots \dots \dots \dots \dots \dots$$

$$\Phi_k = b_{0k} + b_{1k} l + b_{2k} l^2 = \overline{\Phi}_k.$$

Для получения информации первого вида целесообразно использовать результаты наблюдений за группой автомобилей, эксплуатирующихся в исследуемом хозяйстве. Целью этих наблюдений является выявление таких операций технического обслуживания, периодичность выполнения которых в наибольшей степени оказывается на удельные затраты, показатели надежности и показатели функциональных свойств.

Этой цели соответствует план NRT [11]. Для получения достаточно объективных данных при корректировании режимов ТО количество подконтрольных автомобилей должно быть не менее 10–15 и может быть не более 20–25, а продолжительность наблюдения не менее 3–6 месяцев [2]. При анализе влияния периодичности выполнения операций ТО на перечисленные показатели можно также использовать парный корреляционный анализ.

В качестве показателя тесноты связи используется корреляционное отношение, определяемое по формуле

$$\rho = \sqrt{\frac{S_x^2(Y)}{S_n^2(Y)}}, \quad (2)$$

где

$$S_x^2(Y) = \frac{1}{N-1} \sum_1^N (\hat{y} - \bar{y}^*)^2, \quad (3)$$

$$S_n^2(Y) = \frac{1}{N-1} \sum_1^N (y_j - \bar{y})^2, \quad (4)$$

где $S_x^2(y)$ – дисперсия отклонения линии регрессии от общей средней;

$S_n^2(y)$ – полная дисперсия зависимой переменной (удельных затрат, показателя надежности, функционального показателя); N – объем наблюдений.

Для оценки значимости корреляционного отношения используется критерий Стьюдента, вычисление которого производится по формуле

$$t = \frac{\rho}{S_p}, \quad (5)$$

где S_p – среднее квадратичное отклонение корреляционного отношения.

Связь между рассматриваемыми величинами является существенной в том случае, если расчетное значение t больше табличного при уровне значимости $\alpha = 0,05$.

В результате проведенного анализа из перечня операций по обслуживанию узлов, агрегатов и систем, лимитирующих надежность автомобиля, выделяются операции оказывающие существенное влияние на критерий оптимизации и рассматриваемые показатели. Эти операции группируются по видам и условиям выполнения с учетом возможности установления для каждой группы единой периодичности.

Далее для каждой группы операций определяется состав ограничений, накладываемых на целевую функцию (1). Для этого определяются показатели надежности

и функциональные показатели, которые зависят от периодичности выполнения рассматриваемых операций, и обосновываются нормативные значения этих показателей. Информация, необходимая для оценки коэффициентов регрессии уравнений, входящих в построенную целевую функцию, собирается по результатам эксплуатации группы подконтрольных автомобилей, имеющих различную периодичность выполнения рассматриваемых групп операций. В качестве середины интервала можно взять периодичность, рекомендуемую положением. Нижние и верхние границы устанавливаются для каждого конкретного случая с таким расчетом, чтобы оптимальная периодичность лежала в пределах рассматриваемого интервала.

Количество подконтрольных автомобилей принимается с таким расчетом, чтобы получаемая информация обеспечивала эффективность применения методов корреляционного анализа. В рассматриваемом случае число коэффициентов регрессии равно трем. Поэтому объем выборки должен быть не менее 15–21 шт. В связи с тем, что при эксплуатации возможна потеря информации по различным причинам, количество подконтрольных автомобилей должно быть не менее 25 шт.

Периодичность выполнения рассматриваемых операций ТО для подконтрольных автомобилей устанавливается таким образом, чтобы ее значения варьировались в пределах принятого интервала.

При выборе подконтрольных автомобилей необходимо, чтобы условия их работы были типичными для данной модели. Несмещенность оценок параметров целевой функции обеспечивается за счет получения при испытаниях подконтрольных автомобилей вероятностного аналога моделируемой зависимости.

В процессе наблюдений для каждого подконтрольного автомобиля определяются удельные затраты на техническое обслуживание и ремонт, значения показателей надежности и функциональных показателей, включенных в целевую функцию.

Определение функциональных показателей производится путем непосредственного их измерения или с помощью существующих способов диагностики.

При определении удельных затрат на ТО и ремонт значения показателей надежности и функциональных показателей включены в целевую функцию.

Определение функциональных показателей производится путем непосредственного их измерения или с помощью существующих способов диагностики.

$$C_{\text{пер}} = C_{\text{т.р.}} + C_{\text{зч}} + E_{\text{н}} K_{\text{о}}. \quad (6)$$
$$C_{3q} = \sum_{i=1}^k \mathbb{C}_i, \quad (7)$$
$$C_{\text{TP}} = C_{\text{Tap}} \sum t_i \quad (8)$$
$$K = mH, \quad (9)$$
$$m = \frac{\sum t_i}{T_\phi}, \quad (10)$$
$$\begin{aligned} & x_1, P_{11}, P_{21}, \dots, P_{m_1}, \Phi_{11}, \Phi_{21}, \dots, \Phi_{k_1} \\ & x_2, P_{12}, P_{22}, \dots, P_{m_2}, \Phi_{12}, \Phi_{22}, \dots, \Phi_{k_2}, \quad (11) \end{aligned}$$
$$y = b_0 + b_1x + b_2x^2. \quad (12)$$
$$y = c_o + c_1 \phi_1(x) + c_2 \phi_2(x). \quad (13)$$
$$\phi_1(x) = x - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad (14)$$

$$\begin{aligned}\phi_2(x) &= x^2 - \frac{\sum x^2 (x - \bar{x})}{\sum (x - \bar{x})^2} (x - \bar{x}) - \frac{\sum x^2}{N} = \\ &= x^2 - \frac{\sum x^3 - \frac{1}{N} \sum x^2 \sum x}{\sum x^2 - \frac{1}{N} (\sum x)^2} \left(x - \frac{1}{N} \sum x \right) - \frac{\sum x^2}{N}.\end{aligned}$$

$$C_o = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^S m_j \overline{y_j}, \quad (15)$$

$$C_1 = \frac{\sum_{j=1}^S \phi_1(\overline{x_j}) m_j \overline{y_j}}{\sum_{j=1}^S \phi_1^2(\overline{x_j}) m_j}, \quad (16)$$

$$C_1 = \frac{\sum_{j=1}^S \phi_2(\overline{x_j}) m_j \overline{y_j}}{\sum_{j=1}^S \phi_2^2(\overline{x_j}) m_j}, \quad (17)$$

где S – число интервалов изменения периодичностей выполнения операций ТО;
 x_j, y_j – среднее значение величин x и y в j интервале; m_j – количество автомобилей, у которых периодичность находится в j интервале.

Проверка адекватности построенного уравнения производится с помощью F -критерия. При соблюдении условия (17) гипотеза об адекватности принимается

$$F = \frac{S_n^2(y)}{S_{\text{ост}}^2(y)} > F_\alpha(f_m, f_{\text{ост}}), \quad (18)$$

где $S_{\text{ост}}^2(y)$ – остаточная дисперсия, характеризующая рассеивание экспериментальных точек относительно линии регрессии;

$S_n^2(y)$ – полная дисперсия, характеризующая рассеивание точек около общей средней.

Значения $S_{\text{ост}}^2(y)$ и $S_n^2(y)$ определяем по формулам

$$S_{\text{ост}}^2 = \frac{1}{N - k - 1} \sum_{j=1}^N (y_j - \hat{y}_j)^2, \quad (19)$$

$$\begin{aligned} S_n^2(y) &= S_p^2(y) + S_{\text{ост}}^2(y) = \\ &= \frac{1}{f_p} \sum_{j=1}^N (\hat{y}_j - \bar{y})^2 + S_{\text{ост}}^2(y), \end{aligned} \quad (20)$$

где k – порядок параболы (в рассматриваемом случае = 2); f_p – число степеней свободы, соответствующее дисперсии регрессии.

Значения f_n и $f_{\text{ост}}$ вычисляются по формуле $f_n = N - 1$, $f_{\text{ост}} = m - 1$. В случае адекватности уравнений построенная целевая функция используется для расчёта оптимальной периодичности. Если условие адекватности не соблюдается, то в многочлены вводятся добавочные члены, после чего вновь рассчитываются коэффициенты регрессии и определяется адекватность уточненной модели. Этот процесс последовательно повторяется до тех пор, пока не будут получены модели, удовлетворяющие условию адекватности.

Для отыскания минимума построенной целевой функции могут быть использованы различные методы. Выбор того или иного из них определяется видом функции и ее ограничениями.

В данном случае целевая функция нелинейна, непрерывна и имеет ограничения в виде неравенств. Характерной ее чертой является непрерывная дифференцируемость. Для оптимизации подобных функций целесообразно использовать методы дифференциального исчисления. Целевая функция (1) является строго выпуклой. Ее минимум достигается в точке A , где частная производная равна нулю. В общем случае минимум может лежать как внутри, так и за пределами допустимой области, определяемой характером накладываемых на целевую функцию ограничений.

В том случае, если минимум находится в допустимой области, точка A определяет оптимальную периодичность выполнения

операций ТО. Если же минимум целевой функции находится вне допустимой области, то минимум целевой функции лежит на ее границе. Для решения задачи в этом случае необходимо определить значения целевой функции на границах допустимой области, выбрать из них минимальные и определить соответствующую этому значению функции периодичность выполнения операций ТО.

Список литературы

1. Бурмистров В.А. К вопросу разработки методики оценки и повышения профессионального мастерства водителей транспортных средств [Электронный ресурс] / В.А. Бурмистров, А.В. Скрипников // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6; URL: <http://www.science-education.ru/113-10603> (дата обращения: 03.11.2013).
2. Бурмистров В.А. Корректирование перечня работ технического обслуживания автомобилей [Электронный ресурс] / В.А. Бурмистров // Современные проблемы науки и образования № 5. – Москва, 2013. – Режим доступа: <http://www.science-education.ru/111-10442>.
3. Кочегаров В.Г. Оборудование для лесосечных работ и материалы к технологическим расчетам [Текст]: учеб. пособие / В.Г. Кочегаров, Ю.А. Бит, В.Н. Меньшиков, Е.В. Юн. – Л.: ЛТА, 1989. – 108 с.
4. Официальный сайт Комитета лесов Республики Коми [Электронный ресурс]: URL: <http://komles.rkomi.ru/index.phtml> – [дата обращения 25.05.2015].
5. Российская Федерация. Законы. Лесной кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс]: [федер. закон: принят Гос. Думой 08.11.2006; одоб. Советом Федерации 24.11.2006; изм., внес. ФЗ от 01.03.2015 № -200-ФЗ] // Справочно-правовая система КонсультантПлюс. [дата обращения 19.04.2015].
6. Характеристика лесного фонда [Электронный ресурс]: URL: <http://www.agiks.ru/>. – [дата обращения 25.05.2015].

References

1. Burmistrov V.A. K voprosu razrabotki metodiki ocenki i povysheniya professionalnogo masterstva voditeley transportnykh sredstv [Elektronnyy resurs] / V.A. Burmistrov, A.V. Skrypnikov // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2013. no. 6; URL: <http://www.science-education.ru/113-10603> (data obrashheniya: 03.11.2013).
2. Burmistrov V.A. Korrektyrovaniye perechnya rabot tekhnicheskogo obsluzhivaniya avtomobilej [Elektronnyy resurs] / V.A. Burmistrov // Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya no. 5. Moskva, 2013. Rezhim dostupa: <http://www.science-education.ru/111-10442>.
3. Kochegarov V.G. Oborudovanie dlja lesosechnykh rabot i materialy k tehnologicheskim raschetam [Tekst]: ucheb. posobie / V.G. Kochegarov, Ju.A. Bit, V.N. Menshikov, E.V. Jun. L.: LTA, 1989. 108 p.
4. Oficialnyj sayt Komiteta lesov Respubliki Komi [Elektronnyy resurs]: URL: <http://komles.rkomi.ru/index.phtml> [data obrashheniya 25.05.2015].
5. Rossijskaja Federacija. Zakony. Lesnoj kodeks Rossijskoj Federacii [Elektronnyy resurs]: [feder. zakon: prinjat Gos. Dumoj 08.11.2006; odobr. Sovetom Federacii 24.11.2006; izm., vnes. FZ ot 01.03.2015 no. -200-FZ] // Spravochno-pravovaja sistema KonsultantPljus. [data obrashheniya 19.04.2015].
6. Harakteristika lesnogo fonda [Elektronnyy resurs]: URL: <http://www.agiks.ru/>. [data obrashheniya 25.05.2015].

Рецензенты:

Павлов А.И., д.т.н., профессор, профессор кафедры лесных, деревообрабатывающих машин и материаловедения, ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет», г. Ухта.

Сушков С.И., д.т.н., профессор кафедры технологии машин и лесозаготовок, ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет», г. Ухта.