

КОРРЕКТИРОВАНИЕ ПЕРЕЧНЯ РАБОТ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

Бурмистров В.А.

ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет» (169300, Республика Коми, г. Ухта, ул. Первомайская, д. 13), rivelenasoul@mail.ru

В статье решается задача корректирования перечня работ технического обслуживания автомобилей. Группировка операций технического обслуживания проводится по средней периодичности их выполнения. Все операции текущего ремонта в зависимости от периодичности их выполнения разделены на три группы: операции, повторяющиеся часто; операции, повторяющиеся редко; операции, повторяющиеся очень редко. В зависимости от фактической средней периодичности выполнения и вида операций, составлен перечень обязательных работ ТО-1 и ТО-2. Решается уравнение относительно пробега, при котором обеспечивается необходимый уровень безотказной работы. Этот пробег принимается в качестве верхней границы периодичности обслуживания. В результате уточнения перечней ТО в каждый вид технического обслуживания включены дополнительные операции, которые предупреждают возникновение неисправностей между обслуживаниями и устраняют необходимость в текущем ремонте. Операции, имеющие большую периодичность, исключаются из перечня данного вида обслуживания.

Ключевые слова: техническое обслуживание, операции, периодичность, приведенные затраты, надежность, затраты, пробег.

ADJUSTMENTS TO THE LIST OF WORKS OF MAINTENANCE VEHICLES

Burmistrov V.A.

Ukhta State Technical University (169300, The Republic of Коми, s. Ukhta, st. Pervomaiskaya, 13) rivelenasoul@mail.ru

The paper solves the problem of correcting the list of works of maintenance vehicles. Groupings of maintenance operations carried out at an average frequency of their performance. All the operations of the current repairs, depending on the frequency with which they perform are divided into three groups: surgery, repeated often, surgery is rarely repeated, the operations repeated very often. Depending on the actual average frequency of execution and types of operations, compiled a list of mandatory maintenance work and maintenance -1 - 2. We solve the equation for the path in which can provide the required level of uptime. This run is taken as the upper limit of the frequency of service. By clarifying the lists then in each type of service included additional operation, which prevent the occurrence of faults between the services and eliminate the need for service. Operation with large frequency excluded from the list of services of this type.

Keywords: maintenance, operation frequency, reduced costs, reliability, cost, mileage.

Введение. Для создания целевой функции по корректированию режимов технического обслуживания автомобилей необходима статистическая информация 3-х 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.

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, периодич-

ность выполнения которых в наибольшей степени оказывает влияние на удельные затраты, показатели надежности и показатели функциональных свойств. Этой цели соответствует план NRT [1-5]. Это означает, что под наблюдения необходимо поставить N автомобилей, наблюдения ведутся в течение установленного периода T, отказавшие автомобили регламентируются. Результаты наблюдений за отремонтированными в эксплуатации автомобилями включаются в общие данные наблюдений до ремонта.

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 [3]. В процессе наблюдений собираются фактические данные о периодичности, перечне операций и трудоёмкости ТО; сведения об отказах подконтрольных автомобилей, времени простоев, видах текущего ремонта и трудоёмкости их выполнения.

На основании анализа полученной информации выявляются узлы, агрегаты и системы, лимитирующие надёжность автомобиля. Для этих узлов, агрегатов и систем определяется перечень операций, выполняемых при техническом обслуживании. Далее из этого перечня выполняются те операции, периодичность которых оказывает существенное влияние на удельные затраты на обслуживание и ремонт, на показатели надежности и показатели функциональных свойств автомобиля. Для выявления этих операций используется имеющаяся априорная информация, результаты структурного и функционального анализа конструкций рассматриваемых узлов, агрегатов и систем.

При анализе влияния периодичности выполнения операций ТО на перечисленные показатели используем парный корреляционный анализ, который заключается в определении связи между периодичностью выполнения операций ТО и величиной суммарных удельных затрат, показателями надежности и показателями функциональных свойств.

В качестве показателя тесноты связи используется корреляционное отношение

$$\rho = \sqrt{\frac{S_x^2(Y)}{S_n^2(Y)}}, \quad (1)$$

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

$S_x^2(y)$ - 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, вы-

числение которого производится по формуле

$$t = \frac{\rho}{S_p}, \quad (3)$$

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. Для этого определяются показатели надежности и функциональные показатели, которые зависят от периодичности выполнения рассматриваемых операций, и обосновываются нормативные значения этих показателей. После этого для каждой группы операций формулируется задача оптимизации периодичности выполнения операций ТО.

Информация, необходимая для оценки коэффициентов регрессии уравнений, входящих в 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. Это позволяет исключить возможность выхода оптимального режима за рассматриваемую область.

Количество подконтрольных автомобилей принимается с таким расчетом, чтобы получаемая информация обеспечивала эффективность применения методов корреляционного анализа. В соответствии с требованиями математической статистики это условие соблюдается при минимальном объеме выборки, превосходящим число коэффициентов регрессии в 5...7 раз [1,6,7]. 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. Это дает возможность получать достоверную информацию, позволяющую определить чистое влияние периодичности на величину принятого критерия, на фоне действия всех остальных неучтенных факторов. 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. Расчет показателей надежности производится на основании анализа отказов, зафиксированных у подконтрольных автомобилей, с помощью известных методов теории вероятностей и математической статистики.

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, включенных в целевую функцию. Расчет показателей надежности производится на основании анализа отказов, зафиксированных у подконтрольных автомобилей, с помощью известных методов теории вероятностей и математической статистики. Определение функциональных показателей производится путем непосредственного их измерения, или с помощью существующих способов диагностики.

При определении удельных затрат на ТО и ремонт подконтрольных автомобилей для построения целевой функции достаточно учитывать только те затраты, которые изменяются при изменении периодичности выполнения рассматриваемых операций.

Переменными затратами являются затраты на оплату труда ремонтного персонала $C_{тр}$, на запасные части и материалы $C_{зч}$. Кроме того при изменении объема ТО и ТР будет меняться объем капитальных вложений. Поэтому переменные затраты будут равны:

$$C_{пер} = C_{тр} + C_{зч} + E_H K_0. \quad (4)$$

Определение расходов на запасные части и материалы, используемые при ТО и ТР, производятся по формуле

$$C_{зч} = \sum_{j=1}^k \Pi_j, \quad (5)$$

где Π_j - стоимость j детали или материала по прейскуранту; j - количество материалов и деталей, заменяемых на рассматриваемом интервале пробега.

Затраты на оплату труда ремонтного персонала определяются

$$C_{\text{тр}} = C_{\text{тар}} \sum t, \quad (6)$$

где $C_{\text{тар}}$ - средняя тарифная ставка ремонтных рабочих; $\sum t$ - суммарная трудоемкость технического обслуживания и ремонта на интервале пробега.

Определение капитальных вложений на техническое обслуживание и текущий ремонт производится по формуле

$$K = mN, \quad (7)$$

где N - норма капитальных вложений на одного производственного рабочего; m - количество рабочих, необходимых для обслуживания и ремонта подконтрольного автомобиля на интервале пробега.

Величина m рассчитывается по формуле

$$m = \frac{\sum t_i}{T_{\phi}}, \quad (8)$$

где $\sum t_i$ - суммарная трудоемкость ТО и ремонта в рассматриваемом интервале пробега; T_{ϕ} - фонд времени ремонтных рабочих за этот период. Для получения удельных затрат, полученное значение $C_{\text{пер}}$ делится на интервал пробега.

После определения для каждого подконтрольного автомобиля значений функциональных показателей, показателей надежности и удельных затрат полученная информация представляется в виде матрицы:

$$\begin{array}{ccccccc} x_1, P_{11}, P_{21}, \dots, P_{m1}, & \Phi_{11}, \Phi_{21}, \dots, \Phi_{k1} & & & & & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & & & \\ x_n, P_{1n}, P_{2n}, \dots, P_{mn}, & \Phi_{1n}, \Phi_{2n}, \dots, \Phi_{kn} & & & & & \end{array} \quad (9)$$

где x_1, x_2, \dots, x_n - значения периодичностей у подконтрольных автомобилей; $P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{in}$ - значения показателей надежности подконтрольных автомобилей; $\Phi_{j1}, \Phi_{j2}, \dots, \Phi_{jn}$ - значения функциональных показателей подконтрольных автомобилей.

Алгоритм вычисления оценок коэффициентов регрессии, проверки адекватности и статистической оценки моделей широко известен. Для него имеются типовые программы расчетов на ЭВМ, применение которых позволяет свести к минимуму трудоемкость вычисления.

Задача состоит в определении коэффициентов регрессии уравнения

$$y = b_0 + b_1x + b_2x^2. \quad (10)$$

В данном случае задача оценивания b_i представляет собой нахождение криволинейной регрессии по методу наименьших квадратов. С помощью системы ортогональных полиномов

Чебышева уравнение (11) можно представлять в следующем виде:

$$y = c_0 + c_1\varphi_1(x) + c_2\varphi_2(x). \quad (11)$$

Для этого уравнения формулы для вычисления полиномов Чебышева будут иметь вид

$$\begin{aligned} \varphi_2(x) &= x^2 - \frac{\sum x^2(x - \bar{x})}{\sum(x - \bar{x})^2}(x - \bar{x}) - \frac{\sum x^2}{N} = \\ \varphi_1(x) &= x - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_j, \\ &= x^2 - \frac{\sum x^3 - \frac{1}{N} \sum x^2 \sum x}{\sum x^2 - \frac{1}{N} (\sum x)^2} \left(x - \frac{1}{N} \sum x \right) - \frac{\sum x^2}{N} \end{aligned} \quad (12)$$

Значения коэффициентов, входящих в уравнение (11), определяются по формуле

$$C_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^S m_j \bar{y}_j, \quad C_1 = \frac{\sum_{j=1}^S \varphi_1(\bar{x}_j) m_j \bar{y}_j}{\sum_{j=1}^S \varphi_1^2(\bar{x}_j) m_j}, \quad C_2 = \frac{\sum_{j=1}^S \varphi_2(\bar{x}_j) m_j \bar{y}_j}{\sum_{j=1}^S \varphi_2^2(\bar{x}_j) m_j} \quad (13)$$

где S - число интервалов изменения периодичностей выполнения операций ТО; \bar{x}_j, \bar{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 (15) гипотеза об адекватности принимается

$$F = \frac{S_n^2(y)}{S_{ост}^2(y)} > F_{\alpha}(f_m, f_{ост}), \quad (14)$$

где $S_{ост}^2(y)$ - остаточная дисперсия, характеризующая рассеивание экспериментальных точек относительно линии регрессии; $S_n^2(y)$ - полная дисперсия, характеризующая рассеивание точек около общей средней.

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

$$S_{ост}^2 = \frac{1}{N - k - 1} \sum_{j=1}^N (y_j - \hat{y}_j)^2, \quad S_n^2(y) = S_p^2(y) + S_{ост}^2(y) = \frac{1}{f_p} \sum_{j=1}^N (\hat{y}_j - \bar{y})^2 + S_{ост}^2(y) \quad (15)$$

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

Значения f_n и $f_{ост}$ вычисляются по формуле $f_n = N - 1$, $f_{ост} = m - 1$. В случае адекват-

ности 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.

Расчитанные значения периодичности оптимальны только для групп операций, включенных в целевую функцию. При использовании этих периодичностей для узла, системы или автомобиля в целом к этому перечню приурочиваются остальные операции по обслуживанию данного узла, системы или автомобиля. В этом случае возникает задача группировки операций по периодичности для введения их в те или иные виды технического обслуживания.

Решение этой задачи основано на использовании коэффициента повторяемости, который представляет собой отношение случаев фактического выполнения тех или иных операций технического обслуживания или ремонта M к общему N числу наблюдений.

При корректировании перечня операций ТО для механизмов, обеспечивающих безопасность движения, условие включения операции в соответствующий вид ТО определяется при значении коэффициента повторяемости, удовлетворяющих следующим соотношениям: для ТО-1 $1 \geq k_1 \geq 0,26$; для ТО-2 $0,26 \geq k_2 \geq 0,12$. Операция остается в текущем ремонте, если $k < 0,12$. Для прочих механизмов условие включения операций текущего ремонта в тот или иной период ТО определяется из соотношения: для ТО-1 $1 \geq k_1 \geq 0,30$; для ТО-2 $0,30 \geq k_2 \geq 0,13$.

Операция остается в текущем ремонте, если $k < 0,13$. Группировка операций технического обслуживания может быть проведена также по средней периодичности их выполнения. Средняя периодичность выполнения операции текущего ремонта определяется как частное от деления общего пробега группы подконтрольных автомобилей на число одноименных операций текущего ремонта на период наблюдений $l_{cp} = \frac{L}{m}$.

После определения средней периодичности все операции текущего ремонта в зависимости от периодичности их выполнения разделяют на три группы: операции, повторяющиеся часто (пробег автомобиля между операциями меньше ТО-2); операции, повторяющиеся редко (пробег между ними равен или больше ТО-2); операции, повторяющиеся очень редко.

В зависимости от фактической средней периодичности выполнения и вида операций, они включаются в перечень обязательных работ ТО-1 и ТО-2. Периодичность выполнения операций, обеспечивающих безопасность движения целесообразно определять исходя из вероятности безотказной работы автомобиля, то есть вероятности того, что в период между об-

служиваниями не произойдет ни одного отказа $P(1) = e^{-\lambda(1)-L}$.

Вывод. Решая уравнение относительно L , получим пробег, при котором обеспечивается необходимый уровень безотказной работы. Этот пробег принимается в качестве верхней границы периодичности обслуживания $L_{\text{обсл}} \leq \frac{I_n P(1)}{\lambda(1)}$. В результате уточнения перечней ТО в

каждый вид технического обслуживания включаются дополнительные операции, которые предупреждают возникновение неисправностей между обслуживаниями и устраняют необходимость в текущем ремонте. Эти операции носят профилактический характер. С другой стороны операции, имеющие большую периодичность, могут исключаться из перечня данного вида обслуживания.

Список литературы

1. Ермолов Л.С. Основы надёжности сельскохозяйственной техники [Текст] / Л.С. Ермолов, В.М. Кряжков, В.Е. Черкун. – М.: «Колос», 1974. – С. 147-155.
2. Информационные технологии для решения задач управления в условиях рационального лесопользования [Текст] : монография / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова, А.И. Вакулин, В.Н. Логачев. – Воронеж, 2011. – 127 с. - Деп. в ВИНТИ 26.09.2011, №420-2011.
3. Методы, модели и алгоритмы повышения транспортно-эксплуатационных качеств лесных автомобильных дорог в процессе проектирования, строительства и эксплуатации [Текст] : монография / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, Т.В. Скворцова, А.И. Вакулин, В.Н. Логачев. – Москва: издательство ФЛИНТА: Наука, 2012. – 310 с.
4. Михлин В. М. Управление надёжностью сельскохозяйственной техники [Текст] / В. М. Михлин. – М. : Колос, 1984. – 335 с.
5. Надёжность и ремонт машин [Текст] : учеб. / под редакцией В.В. Курчаткина. – М. «Колос», 2000. – 776 с.
6. Ресурсосбережение при технической эксплуатации сельскохозяйственной техники [Текст] / В. Н. Черноиванов [и др.]. – М. : ГОСНИТИ-ФГНУ, 2002. – 780 с.
7. Скрыпников А.В. Изучение вопросов отказов механизмов и узлов лесовозных автопоездов [Текст] : монография / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, О.Н. Бурмистрова, К.А. Яковлев. ФГБОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2012. – Деп. в ВИНТИ 28.05.2012 г. № 256-В2012. – 68 с.
8. Скрыпников А.В. Повышение надёжности технического состояния парка подвижного состава, специализирующегося на перевозке лесных грузов [Текст] : монография / А.В.

Скрыпников, Е.В. Кондрашова, К.А. Яковлев ФГБОУ ВПО «ВГЛТА». – Москва: «Флинта», «Наука», 2012. – 152 с.

9. Скрыпников А.В. Повышение уровня безопасности технологических процессов в агропромышленном комплексе [Текст] : монография / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, В.И. Оробинский // ФГБОУ ВПО «ВГЛТА». – Воронеж, 2012. – 63 с. - №255-В2012.

10. Скрыпников А.В. Повышение эффективности технической эксплуатации машин лесного комплекса [Текст] : монография / А.В. Скрыпников, Е.В. Кондрашова, А.И. Урюпин, К.А. Яковлев ФГБОУ ВПО «ВГЛТА». - Воронеж, 2012. – Деп. в ВИНТИ 28.05.2012 г. № 258-В2012.

Рецензенты:

Скрыпников А.В., д.т.н., профессор, профессор кафедры информационные технологии моделирования и управления ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», г.Воронеж.

Кондрашова Е.В., д.т.н., профессор кафедры технического сервиса и технологии машиностроения ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», г.Воронеж.