

УДК 629.113.004.53

UDC 629.113.004.53

**МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ МОБИЛЬНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**

**METHODS OF EFFICIENT MONITORING RATE OF THE MOBILE AGRICULTURAL EQUIPMENT BRAKE SYSTEM**

Бышов Николай Владимирович  
д.т.н., профессор

Byshov Nikolai Vladimirovich  
Dr.Sci.Tech., professor

Борычев Сергей Николаевич  
д.т.н., профессор

Borychev Sergei Nikolaevich  
Dr.Sci.Tech., professor

Кокорев Геннадий Дмитриевич  
к.т.н., доцент

Kokorev Gennady Dmitrievich  
Cand.Tech.Sci., associate professor

Успенский Иван Алексеевич  
д.т.н., профессор

Uspensky Ivan Alekseevich  
Dr.Sci.Tech., professor

Николотов Илья Николаевич  
инженер

Nikolotov Ilya Nikolaevich  
engineer

Гусаров Сергей Николаевич  
студент 5-го курса  
*Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, Рязань, Россия*

Gusarov Sergey Nikolaevich  
5<sup>th</sup> year student  
*Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russia*

Панкова Елена Анатольевна  
к.т.н.  
*Брянская государственная сельскохозяйственная академия, с. Кокино, Россия*

Pankova Elena Anatolyevna  
Cand.Tech.Sci.  
*Bryansk State Agricultural Academy, Kokino, Russia*

В статье рассмотрены методы определения рациональной периодичности контроля технического состояния тормозной системы мобильной сельскохозяйственной техники, основанные на применении методов основанных на теории вероятностей. Рассмотрены методы определения периодичности контроля технического состояния тормозного привода: по допустимому уровню безотказности; по техническому значению и закономерности изменении параметров технического состояния и экономико-вероятностный метод. Из вышеизложенного следует, что, во-первых, применение диагностирования является развитием предупредительной стратегии ТО; во-вторых, целесообразность и способы его проведения определяются технико-экономическими расчетами

The article presents the methods of efficient monitoring rate of the mobile agricultural equipment brake system based on the usage of methods of the theory of relativity. We have considered the methods of the brake gear monitoring rate according to the acceptable level of reliability, to the technical index and change logic of the technical parameters state and economic-probabilistic method. From the above-stated one can see, first, that diagnosing usage is the development of maintenance preventive strategy. Second, its practicability and the ways of realization are determined by technical and economic calculations

Ключевые слова: МОБИЛЬНАЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ТЕХНИКА, ТОРМОЗНЫЕ СИСТЕМЫ, ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА, ПЕРИОДИЧНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ, СЛУЧАЙНЫЕ ПРОЦЕССЫ, ПЕРИОДИЧНОСТЬ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

Keywords: MOBILE AGRICULTURAL EQUIPMENT, BRAKE SYSTEMS, TECHNICAL DIAGNOSING, MAINTENANCE RATE, RANDOM PROCESSES, MONITORING RATE

Как отмечалось ранее [2], при техническом обслуживании тормозной системы (ТС) применяются две тактики диагностирования агрегатов: по наработке и по параметру технического состояния. При первой тактике определяется периодичность контроля, которая переходит в исполнительскую часть операции, с коэффициентом повторяемости  $k_1 = 1$ . При второй тактике определяется периодичность контроля, а исполнительская часть операции выполняется по потребности в зависимости от результатов контроля, т.е.  $0 \leq k_2 \leq 1$ .

Методы определения периодичности ТО тормозного привода подразделяются на: простейшие (метод аналогии по прототипу); аналитические, основанные на результатах наблюдений и основных закономерностях технической эксплуатации автомобиля (ТЭА); имитационные, основанные на моделировании случайных процессов. Среди широкого спектра методов наиболее распространенными являются методы по допустимому уровню безотказности; по определению периодичности ТО, по допустимому значению и закономерности изменения параметра технического состояния; технико-экономический метод и экономико-вероятностный метод [6].

В общем виде операция ТО состоит из двух частей – контрольной и исполнительной, что необходимо учитывать при определении трудоемкости  $t_n$  и стоимости операции ТО [1].

$$t_n = t_k + kt_u, \quad (1)$$

где  $t_k$  и  $t_u$  – трудоемкость контрольной и исполнительной частей операций ТО;

$t_n$  – трудоемкость операции ТО;

$k$  – коэффициент повторяемости ( $0 \leq k \leq 1$ ).

При этом коэффициент повторяемости для случая проведения ТО по наработке  $k=1$ , т.е. контрольная и исполнительная части практически сливаются.

Целесообразность использования того или иного способа проведения ТО (с контролем или без него) определяется соотношением затрат на устранение и предупреждение отказов, на контрольную и исполнительную части операции, вариацией случайных величин и другими факторами [3].

Стоимость проведения операций ТО:

$$C_n = C_k + kC_u, \quad (2)$$

где  $C_k$  и  $C_u$  – стоимость контрольной и исполнительной частей операций ТО

$C_n$  – стоимость проведения операции ТО.

При диагностике ТС выделяют следующие методы определения периодичности ТО:

- по допустимому уровню безотказности – основан на выборе величины наработки, при которой вероятность отказа элементов не превышает заданной величины;

- по допустимому значению и закономерности изменения параметра технического состояния – основан на выборе величины наработки, при которой параметры технического состояния автомобилей с заданным уровнем вероятности не достигнут своего допустимого значения;

- экономико-вероятностный метод – обобщает предыдущие и учитывает экономические и вероятностные факторы, а также позволяет сравнивать различные стратегии поддержания и восстановления работоспособности автомобиля.

Метод определения периодичности ТО агрегата ТС по допустимому уровню безотказности. Этот метод рассчитан на выборе такой рациональной периодичности, при которой вероятность отказа  $F(x)$

элемента не превышает заранее заданной величины и называется риском [4].

Вероятность безотказной работы определяется [1]:

$$P_D(x_i \geq l_0) \geq P_D, \quad (3)$$

где  $P_D$  – допустимая вероятность безотказной работы,

$x_i$  – наработка на отказ,

$l_0$  – периодичность ТО,

Для тормозной системы и ее узлов  $P_D = 0,9 \div 0,98$  (90 ÷ 98%).

В этом случае периодичность значительно меньше средней наработки на отказ (рис. 1) и связана с ним следующим образом:

$$l_0 = \beta \bar{l} = \beta \bar{x}_\gamma, \quad (4)$$

где  $\beta$  – коэффициент рациональной периодичности, учитывающий величину и характер вариации наработки на отказ, а также принятую допустимую вероятность безотказной работы (табл. 1);

$\bar{l}$  – средняя периодичность ТО;

$\bar{x}_\gamma$  – средний гамма-процентный ресурс.

Из таблицы видно, чем меньше вариация случайной величины, тем большая продолжительность между операциями ТО при прочих равных условиях может быть назначена. Чем жестче требования к безопасности, тем ниже рациональная периодичность ТО.

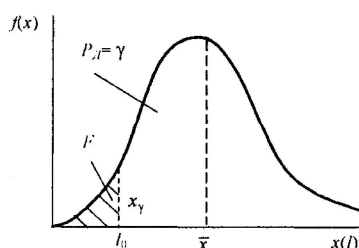


Рисунок 1. Определение периодичности ТО по допустимому уровню безотказности

Таблица 1 – Коэффициенты рациональной периодичности при различных значениях  $R_d$  и  $v$  [1]

$R_d$	Коэффициенты вариации $v$			
	0,22	0,4	0,6	0,8
0,85	0,80	0,55	0,40	0,25
0,95	0,67	0,37	0,20	0,10

Метод определения периодичности ТО по допустимому значению и закономерности изменения параметра технического состояния. Изменение определенного параметра технического состояния тормозных механизмов у группы автомобилей происходит по-разному (кривые 1–3, 5–7 на рисунке 2). В среднем для этой группы тенденция изменения параметра характеризуется кривой 4. По ней, а также по допустимому значению параметра  $y_d$  можно определить среднюю наработку  $x_4 = \bar{l}$ , когда в среднем вся совокупность изделий достигает допустимого значения параметра технического состояния. Этой средней наработке соответствует интенсивность изменения параметра  $\bar{a}$ . При этом те изделия, у которых интенсивность изменения параметра технического состояния оказалась выше средней (1, 2, 3), т.е.  $a_i > \bar{a}$ , достигают предельного состояния значительно раньше при наработках  $x_1, x_2, x_3$ , меньших  $\bar{l}$ . Следовательно, для этих изделий при назначенной периодичности  $\bar{l}$  с вероятностью  $F_4 = 0,5$  будет зафиксирован отказ [6]. Поэтому выбирают такую периодичность  $l_0 < \bar{l}$ , при которой вероятность отказа не будет превышать заданной величины риска  $F$ , например  $F = F_2$ . В этом случае степень интенсивности изменения параметра технического состояния изделия выше, чем средняя. Максимально допустимая степень интенсивности изменения параметра технического состояния:

$$a_i = \mu \cdot \bar{a}, \tag{5}$$

где  $\mu$  – коэффициент максимальной интенсивности изменения параметра технического состояния, при этом должно соблюдаться условие;

$\bar{a}$  – средняя интенсивность изменения параметра технического состояния:

$$P_D = (a_i \leq a_D) = 1 - F = R_D, \quad (6)$$

где  $F$  - риск.

На коэффициент  $\mu$  влияют степень риска вариации  $v$  и вид закона распределения случайной величины.

Для нормального закона распределения

$$\mu = 1 + zv, \quad (7)$$

где  $z = \frac{(x - \bar{x})}{n}$  – нормированное отклонение, соответствующее доверительному уровню вероятности;  $x$  – общая наработка на отказ;  $\bar{x}$  – средняя наработка на отказ.

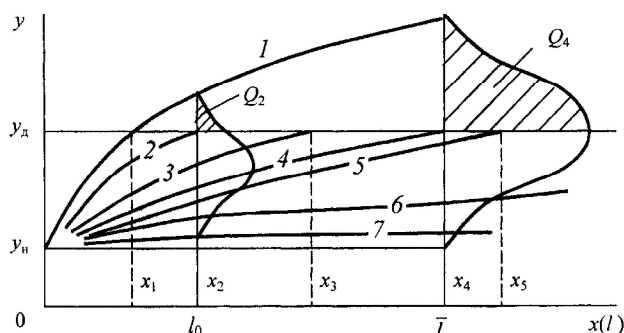


Рисунок 2. Определение периодичности ТО по допустимому значению и закономерности изменения параметра технического состояния, где  $y_n$  – начальные значения параметра

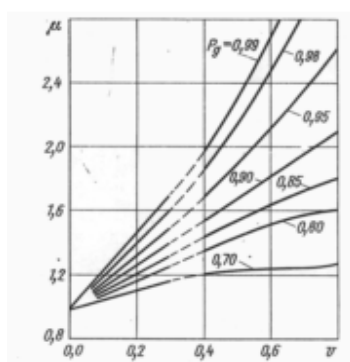


Рисунок 3. Влияние коэффициента вариации  $v$  на коэффициент максимальной эффективности  $\mu$ .

Из графика рисунка 3 видно, что чем больше  $v$  или  $R_d$ , тем больше  $m$  (меньше оптимальная периодичность ТО). Этот метод можно применять для узлов с фиксируемым изменением параметра технического состояния. К ним относятся большинство изнашиваемых узлов, механизмов и соединений, техническое состояние которых поддерживается с помощью регулировки (тормозные механизмы). Для регулировочных работ характерны значения,  $\mu = 1,6...2,1$  т.е. периодичность ТО будет в 1,6...2,1 раза ниже средней.

Технико-экономический метод сводится к определению суммарных удельных затрат на ТО и ремонт и их минимизации. Минимальным затратам соответствует оптимальная периодичность технического обслуживания  $l_0$  [3].

При этом удельные затраты на ТО

$$C_I = d / l, \quad (8)$$

где  $l$  – периодичность ТО;

$d$  – стоимость выполнения операции ТО.

При увеличении периодичности удельные затраты на ТО значительно сокращаются. Увеличение периодичности ТО, как правило, приводит к сокращению ресурса детали или агрегата и росту удельных затрат на ремонт:

$$C_{II} = c / L, \quad (9)$$

где  $c$  – затраты на ремонт,  $L$  – ресурс до ремонта.

Выражение

$$u = C_I + C_{II}, \quad (10)$$

является целевой функцией, экстремальное значение которой соответствует оптимальному решению – минимуму удельных затрат [1]. Определение минимума целевой функции проводится графически (рис. 4) или аналитически, если известны зависимости  $C_I = f(l)$ ,  $C_{II} = y(l)$ .

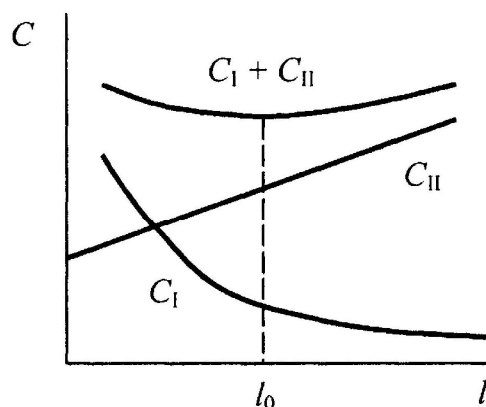


Рисунок 4. Определение периодичности ТО технико-экономическим методом

Если при назначении уровня риска учитывать потери, связанные с дорожными происшествиями, то технико-экономический метод применим для определения периодичности операций, влияющих на безопасность движения.

Экономико-вероятностный метод определяет и рациональные пути совершенствования организации ТО. Действительно, при периодичности  $l_0$  фактически требуют предупредительного воздействия те изделия (первая группа), потенциальный отказ которых может возникнуть с некоторой вероятностью  $P_1$  (рис. 5) при наработке  $l_0 < x_i < 2l_0$  (без учета вариации самой оптимальной периодичности). Изделия с потенциальной наработкой на отказ  $x_i > 2l_0$  (вторая группа) могут обслуживаться не при данном обслуживании, а при последующих обслуживаниях и т.д. Вероятность этого события  $P_2 = P - P_1$ , поэтому при втором способе реализации предупредительной стратегии (I-2) необходимо разделение изделий первой и второй групп, которое осуществляется с помощью контроля (диагностирования), требующего дополнительных затрат [5].



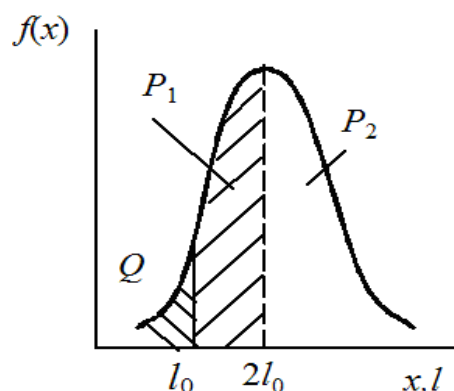


Рисунок 5. Метод определения периодичности технического обслуживания и ремонта по техническому состоянию (I-2)

Таким образом, с оптимальной периодичностью  $l_0$  контролируются все неотказавшие до этого момента агрегаты (ТС) (вероятность  $P$ ). Стоимость этого контроля составляет  $d_k$ , а работы по доведению технического состояния до нормы, имеющие стоимость  $d_n$ , с вероятностью  $P_1$  проводятся только для первой группы изделий. Очевидно, такое развитие предупредительной стратегии с использованием диагностирования будет целесообразно, если дополнительная стоимость контроля (специальное оборудование, квалифицированный труд) будет компенсирована сокращением стоимости профилактической операции и ущерба от отказов.

Следовательно, профилактическая операция в контрольной своей части будет выполняться для всех изделий регулярно с оптимальной периодичностью, а в исполнительской части – по потребности с учетом результатов контроля. Вторым условием применения предварительного контроля является обеспечение достоверного разделения (прогнозирования) с помощью диагностирования изделий, требующих обслуживания при очередном воздействии или последующих профилактических воздействиях.

Для простейшего случая учета только двух последовательных ТО удельные затраты при профилактической стратегии с предварительным контролем [6]

$$C_{1-2}'' = \frac{cQ + d_n P_1 + d_k P}{Ql'_p + l_p P} = \frac{cQ/P + d_n}{Ql'_p/P + l_p}, \quad (11)$$

где  $d_n = d_k + d_n$  – стоимость операции ТО, проводимой с предварительным контролем;

$c$  – затраты на ремонт;

$Q$  – вероятность появления отказа в определенном интервале наработки;

$d_n$  – стоимость восстановительных работ;

$P_1$  – вероятность проведения восстановительных работ;

$d_k$  – стоимость контрольно-диагностических работ (КДР);

$l_p$  – периодичность проведения операций ТО;

$l'_p$  – средняя наработка, с которой будут устраняться отказы;

$P$  – вероятность проведения КДР;

$k = P_1/(P_1 + P_2)$  – коэффициент повторяемости, определяющий долю изделий, которые потребуют наряду с контролем и устранения возникших отклонений параметров технического состояния от нормативных значений,  $P_2$  – вероятность наработки на отказ. Очевидно, что предварительный контроль целесообразен при  $(C_{1-2}'')_{\min} < (C_{1-2}')_{\min}$ .

Метод статистических испытаний основан на имитации (моделировании) реальных случайных процессов ТО, что дает возможность ускорить испытания, исключить влияние побочных факторов, резко сократить стоимость экспериментов, провести при необходимости исследования с целью выбора наиболее пригодного варианта. Моделирование может проводиться на ЭВМ или вручную. Исходным материалом для моделирования служат как фактические

данные, полученные при наблюдении, так и законы распределения случайных величин [1].

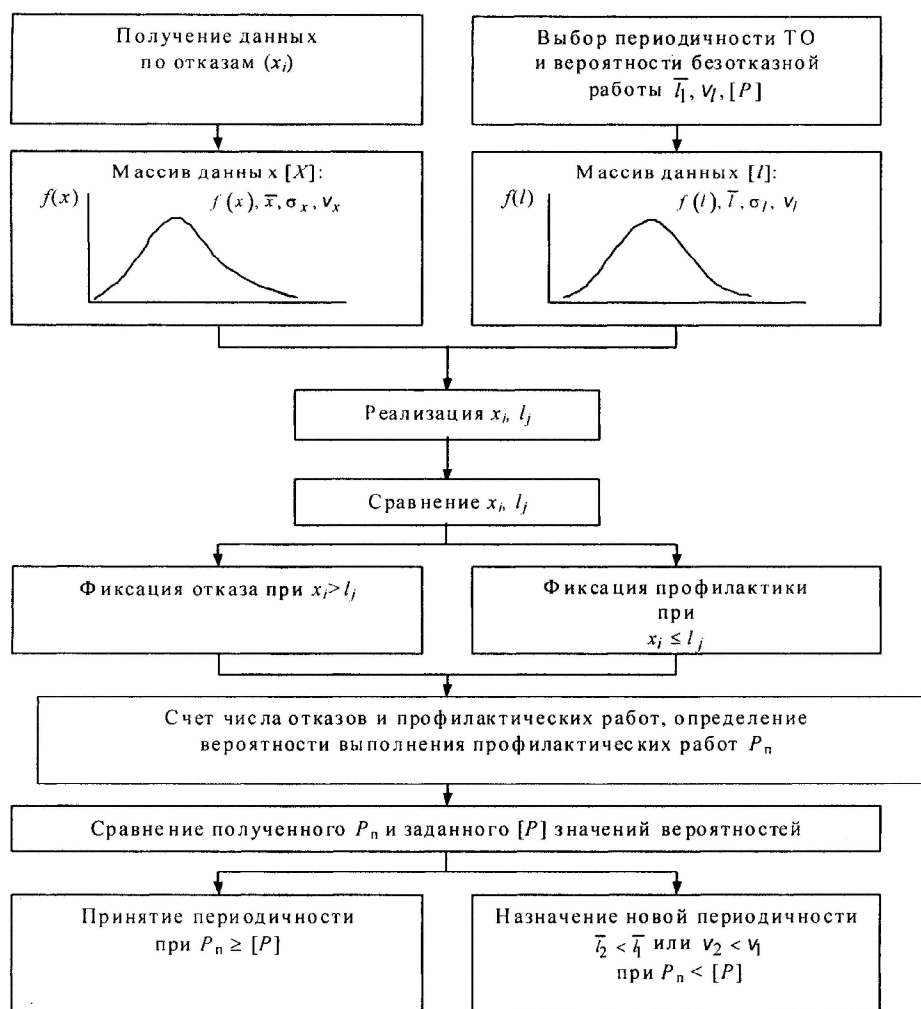


Рисунок 6. Схема определения периодичности ТО с помощью имитационного моделирования

При определении оптимальной периодичности ТО схема моделирования сводится к следующему (рис. 6). Предварительно назначают на основании имеющегося опыта или наблюдений коэффициенты вариации  $\nu_l$ , а также одно или несколько значений периодичностей ТО, например,  $\bar{l}_1, \bar{l}_2$  и т.д. По результатам наблюдений или расчетным данным создаются два массива данных: наработки на отказ  $[X]$  и периодичности ТО  $[l]$ . Из массива данных, содержащих сведения по наработкам на отказ, извлекается случайным образом конкретное значение

наработки до отказа  $x_i$ . Затем из второго массива, где находятся данные по фактическим периодичностям ТО, извлекается конкретное значение  $l_j$ , определяемое с учетом средней периодичности  $\bar{l}$  и ее вариации  $v_l$ . Пара чисел  $x_i$  и  $l_j$  называется *реализацией*. Если  $x_i < l_j$ , то фиксируется отказ. При  $x_i \geq l_j$  фиксируется отсутствие отказа, т.е. выполнение операции ТО.

Опыты повторяют многократно и получают оценку вероятности отказа и профилактического выполнения операции. Если при опытах вероятность отказа оказалась больше заданной, то принимают уменьшенную периодичность и повторяют серию опытов.

Из сказанного выше следует, что, во-первых, применение диагностирования является развитием предупредительной стратегии ТО; во-вторых, целесообразность и способы его проведения определяются технико-экономическими расчетами.

### Список литературы

1. Атапин, В.Г. Основы работоспособности технических систем. Автомобильный транспорт. Новосибирск: Издательство НГТУ, 2006. С. 156.
2. Бышов Н.В., Борычев С.Н., Успенский И.А., Кокорев Г.Д., Юхин И.А., Синицин П.С., Карцев Е.А., Николотов И.Н., Гусаров С.Н. Периодичность контроля технического состояния мобильной сельскохозяйственной техники// «Научный журнал КубГАУ». – 2012. № 7. С. 480-490.
3. Вентцель, Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. М.: Высшая школа, 2000. с. 383.
4. Диагностика и техническое обслуживание машин: учебник для студентов высш. учеб. заведений / Ананьин А.Д., Михлин В.М., Габитов И.И. и др. М.: Издательский центр Академия, 2008. с. 108.
5. Лукинский В.С., Зайцев Е.И. Прогнозирование надежности автомобилей. Л.: Политехника, 1991. С. 224.
6. Хасанов Р.Х. Основы технической эксплуатации автомобилей. Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. С. 193.