

2. Erokhin M.N., Kazantsev S.P., Chupyatov N.N. Sposoby modifitsirovaniya poverkhnostey treniya detaley mashin: Monografiya [Methods of modifying the friction surfaces of machine parts: Monograph]. M.: FSBEI VPO MSAU, 2014. 140 p.
3. Razuvayev G.A., Gribov B.G., Domrachev G.A. et al. Metalloorganicheskie soedineniya v elektronike [Organometallic compounds in electronics]. M.: Nauka, 1972. 479 p.
4. Gribov B.G., Domrachev G.A., Zhuk B.V. et al. Osazhdenie plenok i pokrytiy razlozheniem metalloorganicheskikh soedineniy [Deposition of films and coatings decomposition of organometallic compounds]. M.: Nauka, 1982. 322 p.
5. Kozyrev V.V. Metalloorganicheskie soedineniya v mashinostroenii i remontnom proizvodstve: Monografiya. [Organometallic compounds in engineering and repair production: Monograph]. Tver: Studio C, 2003. 160 p.
6. Hugh O. Pierson. Handbook of Chemical Vapor Deposition, 1999.
7. Syrkin V.G. Gazofaznaya metallizatsiya cherez karbonily [Gas-phase metallisation through carbonyls]. M.: Metallurgiya [Metallurgy], 1985. 248 p.
8. Erokhin M.N., Kazantsev S.P., Chupyatov N.N. Primenenie karbonil'nogo khroma dlya polucheniya uprochnyayushchikh pokrytiy na detalyakh sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [The use of chromium carbonyl for hardening coatings on agricultural machinery parts] // Proceedings of the International Scientific-Practical Conference "Modern problems of development of new techniques, technologies, organization of technical service in agriculture". Minsk, BSATU, 2014. Part 1. Pp. 275–278.
9. Erokhin M.N., Chupyatov N.N. Povyshenie iznosostoykosti pretsizionnykh detaley gidravlicheskikh sistem sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Increasing durability of precision components of farm machinery hydraulic systems] // Farm Machinery and Technologies. № 3. 2014. Pp. 7–10.
10. Syrkin V.G. CVD-metod. Khimicheskaya parofaznaya metallizatsiya. [CVD-method. Chemical vapor metallization]. M.: Nauka, 2000. 496 p.

*Received on February 15, 2016*

УДК 631.354

**ДИДМАНИДЗЕ ОТАРИ НАЗИРОВИЧ**, докт. техн. наук, профессор  
 член-корреспондент РАН, директор<sup>1</sup>  
 E-mail: karev-79@mail.ru

**ВАРНАКОВ ДМИТРИЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ**, докт. техн. наук, доцент<sup>2</sup>  
 E-mail: varndm@mail.ru

**ВАРНАКОВ ВАЛЕРИЙ ВАЛЕНТИНОВИЧ**, докт. техн. наук, профессор  
 заведующий кафедрой<sup>2</sup>  
 E-mail: varnval@mail.ru

<sup>1</sup> Институт непрерывного профессионального и дополнительного образования  
 «Высшая школа управления АПК», ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Российская Федерация

<sup>2</sup> Ульяновский государственный университет, ул. Льва Толстого, 42, г. Ульяновск, 432017,  
 Российская Федерация

## КОНЦЕПЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА ПО ФАКТИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ МАШИН НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ИХ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ

Рассмотрели основные подходы по моделированию процесса технического сервиса по фактическому состоянию машин с целью оптимизации ремонтных воздействий и снижения издержек. Разработали способы оценки эффективности функционирования машин, которые позволяют определить количественные характеристики параметров их работы в процессе эксплуатации, а также рассчитать количество запас-

ных частей, прогнозировать параметрическую надежность. Одним из перспективных направлений повышения эффективности работы сервисных служб является применение современных средств диагностики машин, а именно средств непрерывной диагностики. На основании предложенного способа оценки эффективности функционирования машин произвели оценку не только по внутренним свойствам самой сложной системы, но и с учетом качества ее функционирования, качества выполнения задач. Так, техническое состояние машин может быть охарактеризовано указанием дефектов, нарушающих их исправное и работоспособное состояние, а также качество функционирования, и может относиться к деталям, узлам или к машине в целом. Выбор оптимальной стратегии технического сервиса позволяет добиваться наилучших результатов за счет реорганизации правил эксплуатации без привлечения дополнительных сил и средств. Для решения задачи рациональной периодичности обслуживания использовали математическую модель, описывающую эволюцию технического состояния машины во времени, с учетом флуктуации параметров и случайных процессов. В задачах технического сервиса рассмотрели показатели качества функционирования машин при длительной эксплуатации. Для отыскания оптимальной стратегии в подобных задачах предложили использовать метод минимакса. Обосновали, что непрерывный контроль параметрической надежности автотранспортных средств позволит оптимизировать периодичность обслуживания, а также применить методы прогнозирования технического состояния. Таким образом, при исследовании методов повышения надежности техники особое значение приобретают задачи, связанные с оценкой ее параметрической надежности.

**Ключевые слова:** надежность; технический сервис; моделирование; параметрическая надежность; решение задачи оптимизации технического сервиса; лемма Дуба.

Переоснащение парка машин приводит к появлению новой, сложной энергонасыщенной техники, при этом возрастает значение контроля ее технического состояния. Поэтому все более актуальными становятся вопросы диагностики и технического сервиса машин. Повышение эффективности технического сервиса требует внедрения инновационных решений, новых методов и подходов, позволяющих снизить издержки и повысить оперативность работы служб технического сервиса.

Недостаточный уровень надежности автотранспортных средств приводит к увеличению затрат в процессе их эксплуатации, простоям неисправной техники, что приводит в свою очередь, к экономическим потерям. Увеличение количества эксплуатируемых автомобилей и рост стоимости сервисных и ремонтных работ вынуждают производителей повышать надежность автотранспортных средств.

Следует отметить, что при эксплуатации сложной техники потери являются следствием не только отказов отдельных деталей, но и снижения эффективности ее функционирования в целом. В связи с этим возникает потребность в разработке таких методов оценки эффективности функционирования машин, которые позволили бы оценить параметры их работы в процессе эксплуатации, прогнозировать параметрическую надежность, определять необходимое количество и качество запасных частей с целью совершенствования системы технического сервиса.

Решение вопросов обеспечения надежности структурно-сложных технических систем осуществляется на всех стадиях жизненного цикла: от проектирования и производства до эксплуатации и утилизации.

Одним из перспективных направлений повышения эффективности работы сервисных служб является применение современных средств диа-

гностики машин, а именно средств непрерывной диагностики. Развитие микроэлектроники позволило уменьшить габаритные размеры средств обработки информации, миниатюризировать различные датчики и системы контроля, что дает возможность использовать их в автотранспортных средствах.

Современные сложные системы характеризуются не только большим числом элементов, но главным образом сложностью внутренней структуры: обратными связями, различного рода избыточностями и т.п. В связи с этим сложность современных систем нужно рассматривать не как чисто количественное увеличение комплектующих сложную систему элементов, а как новое качественное свойство, присущее этим сложным системам. Естественно, что такая постановка приводит к необходимости по-новому оценивать многие, и, в частности, эксплуатационные и оперативные характеристики сложных систем, в том числе работу параметров системы в заданных границах [1].

**Цель исследования** – решение общей проблемы повышения надежности и эффективности функционирования машин. При этом возникает задача разработки обоснованной стратегии технического сервиса.

**Материалы и методы.** Основная идея рассматриваемого метода оценки эффективности и заключается в том, что оценка производится не только по внутренним свойствам самой сложной системы, но и с учетом качества ее функционирования, качества выполнения задач, т.е. по выходному эффекту. Введение такой оценки очень удобно, так как позволяет сравнивать функционирование сложных систем, принципиально различных по структуре, принципу действия, комплектующим изделиям и т.п., если они предназначены для выполнения одной и той же задачи. Это позволяет изыскивать пути

построения вариантов сложных систем и производить их выбор [1].

Техническое состояние машин может быть охарактеризовано указанием дефектов, нарушающих их исправное и работоспособное состояние, а также качество функционирования, и может относиться к деталям, узлам или к машине в целом. Поэтому для сложных объектов создают автоматизированные системы диагностики, выполняемые на базе компьютерных систем. В общем случае для создания автоматизированной системы технического диагностирования необходимо решить следующие задачи [2, 3, 10]:

- выбор оптимальных сроков проведения плановых восстановительных работ при полной информации о надежности машины;
- определение оптимальных сроков проведения плановых восстановительных работ при ограниченной информации о надежности.

Стратегия технического сервиса строится на основании:

- объективных данных о машине (характеристик безотказности и ремонтпригодности);
- специфических особенностей машины (структурной системы, характеристик индикации отказов, наличия встроенного контроля работоспособности);
- данных об условиях эксплуатации.

Стратегия технического сервиса должна обладать свойством оптимальности по некоторому показателю, характеризующему качество функционирования и эксплуатации системы.

Выбор оптимальной стратегии технического сервиса позволяет добиваться наилучших результатов за счет реорганизации правил эксплуатации без привлечения дополнительных сил и средств.

В качестве математической модели, описывающей эволюцию машины во времени, используется случайный процесс  $\xi(t)$ , принадлежащий одному из следующих классов случайных процессов:

- регенерирующие случайные процессы;
- марковские случайные процессы;
- полумарковские случайные процессы.

Классификация восстановительных работ, которые возможны в системе, проведена по трем признакам:

- состояние системы (элемента) в момент начала восстановительной работы;
- состояние системы (элемента) в момент окончания восстановительной работы;
- признак предварительной подготовки к началу восстановительной работы (известен или неизвестен заранее момент начала восстановительной работы).

В задачах технического сервиса рассматриваются следующие показатели качества функционирования машин при длительной эксплуатации:

- коэффициент готовности  $K_T$ ;
- вероятность выполнения задачи (коэффициент оперативной готовности)  $R(z)$ ;

– средняя прибыль за единицу календарного времени  $S$ ;

– средние затраты за единицу времени исправного функционирования  $C$ .

Во многих практических ситуациях характеристики надежности точно неизвестны, а известно лишь, что функции распределения принадлежат некоторому классу. Возможны следующие ситуации:

– известны значения  $\pi = (0, \pi_1, \dots, \pi_n)$  функции распределения времени безотказной работы  $F(y)$  в отдельных точках  $y = \{y_0 = 0, y_1, \dots, y_n\}$ , т.е.  $F(y) = \pi_i, i = 0, \dots, n$  (класс таких функций будем обозначать через  $\Omega(n, y, \pi)$ );

– известны моменты распределения  $F(y): \mu_k = \int_0^\infty x^k dF(x), k = 1, 2, \dots, m$  (класс таких функций обозначается через  $\Omega_m = \Omega(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_m)$ ).

Для отыскания оптимальной стратегии в подобных задачах предлагается использовать метод минимакса, который состоит в следующем [2]. Сначала среди всех функций распределения, которые характеризуют функционирование системы и информация о которых ограничивается их принадлежностью определенному заданному классу, находят наихудшие (в смысле данного показателя качества), а затем при этих условиях определяется оптимальное управление.

Рассматривая немарковские управляемые случайные процессы в задачах оптимизации технического обслуживания, можно применить лемму Дуба и ее приложения [4]. Тогда поведение системы во времени можно выразить как векторный случайный процесс  $X(t)$ . Составляющие процесса  $X(t)$  могут меняться непрерывно или скачкообразно (например, с единичными скачками при накоплении отказов в системе с избыточностью) [4].

По состоянию процесса в фиксированный момент времени  $t$  можно однозначно определять факт исправности (или неисправности) системы. Чаще всего процесс  $X(t)$  наблюдается дискретно с интервалом  $\Delta t$  в моменты  $t_k = k\Delta t, k = 0, 1, 2, \dots$ , т.е. наблюдается последовательность случайных векторов  $\underline{X}_0, \underline{X}_1, \dots, \underline{X}_k$ . Значит, в каждый момент  $t_k$  становится известной вся прошлая траектория случайного процесса  $X(t): (x_0, x_1, \dots, x_k) = \underline{X}_k$ .

Из практики эксплуатации технических систем известно, что в момент  $t_k$  по наблюдаемой траектории  $\underline{X}_k$  можно принять только два решения:

- либо не вмешиваться в работу системы и продолжить наблюдение за процессом  $X(t)$ ;
- либо прекратить работу системы и путем замены и регулировок вернуть систему в начальное состояние.

В момент отказа системы, т.е. при  $X_0 \in X_+, \dots, X_{k-1} \in X_+, X_k \in X_-$ , принимается второе решение (здесь  $X_+$  – пространство исправных состояний системы,  $X_-$  – пространство ее неисправных состояний  $X = X_+ \cup X_-$ , где  $X$  – все пространство состоя-

нии системы). Введем функцию эксплуатационных потерь системы. Пусть  $C_1^*$  – средние потери в случае, когда в момент остановки системы она исправна, а  $C_2^*$  – средние потери в случае, когда в момент остановки система неисправна (отказала).

В момент остановки системы ( $t_k = k\Delta t$ ) функция средних удельных потерь:

$$y_k = \begin{cases} \frac{C_1}{t_k}, & \text{если система исправна;} \\ \frac{C_2}{t_k}, & \text{если система неисправна.} \end{cases} \quad (1)$$

Правилом остановки системы при наблюдении за процессом  $X(t)$  (далее просто правилом остановки) назовем случайную величину  $v$  со значениями  $1, 2, \dots, k, \dots$  (момент остановки определяется поведением процесса  $X(t)$ , поэтому он случаен во времени). Считаем, что решение об остановке в момент  $t_k$  зависит только от траектории процесса  $X_k$  до момента  $t_k$  [4].

Для правила остановки  $v$  – случайной величины с распределением  $P\{v=k\}$ ,  $k=1, 2, \dots$  средние потери:

$$y(v) = \sum_{k=1}^{\infty} P\{v=k\} y_k \quad (2)$$

При решении задач эксплуатации правило  $v^*$  оптимально, если  $y(v^*) = \min_v y(v)$ . Под величинами  $C_1$  и  $C_2$  могут пониматься соответственно средние времена регулировок исправной  $I_1$  и неисправной  $I_2$  систем.

Если далее не ввести ограничения на процесс  $X(t)$ , то оптимальное правило  $v^*$  остановки найти невозможно. Это ограничение заключается в следующем. Характерной чертой процессов, отображающих состояние системы при длительной эксплуатации, является их монотонность во времени (т.е. монотонность по вероятности отказа): старение, изнашивание, разрегулирование, разбалансирование и т.д. [5]. В этом случае удается, используя лемму Дуба [4], найти оптимальное правило остановки.

Рассматриваемой задачи лемма Дуба в терминах формулируется так.

Правило  $v^*$  является оптимальным, если выполняются условия:

$$\begin{aligned} M[v^*] &< \infty; \\ M[y_k \sqrt{X_{k-1}}] &\times \begin{cases} \leq y_{k-1} & \text{при } k \leq v^*, \\ \geq y_{k-1} & \text{при } k > v^*; \end{cases} \\ M[y_k - y_{k-1} \sqrt{X_{k-1}}] &\leq C, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $C$  – некоторая постоянная для всех  $k$ .

Условия 1 и 3 на практике выполняются всегда для задач эксплуатации в силу конечности затрат и конечности времени безотказной работы техниче-

ских систем, а условие 2 выполняется именно для отмеченных выше случайных процессов монотонного типа.

В качестве методики определения эффективности технического сервиса техники можно применить лемму Дуба, в частности, для определения оптимальных моментов регулировок параметра  $x$  независимыми приращениями [4].

Пусть деградация системы (блока, элемента) в процессе длительной эксплуатации характеризуется непрерывным одномерным, монотонно возрастающим случайным процессом  $X(t)$ , значения параметра которого отмечены на оси функций  $\varphi(k)$ ,  $X(t_k)$ , и контролируется без ошибок в моменты времени  $t_k = k\Delta t$ ,  $k=0, 1, 2, \dots$

Предположим, что приращения процесса  $X(t)$  по шагам контроля независимы и образуют последовательность независимых случайных величин с общей функцией распределения  $F(x) = P\{\Delta X_k < x\}$ , где  $\Delta X_k$  – приращения процесса по шагам контроля  $k=1, 2, \dots$  (рис.).

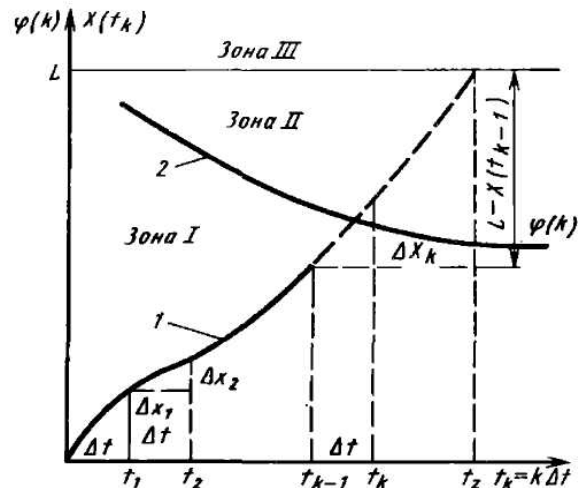


Рис. К определению правил оптимальной остановки

Пусть  $C_1$  – средние потери времени на регулировку параметра системы  $X(t)$ , если он находится внутри поля допуска  $(0, L)$  (предупредительная, профилактическая регулировка);  $C_2$  – средние потери времени на регулировку, если параметр вышел за пределы поля допуска  $(0, L)$  (аварийная регулировка).

Функция удельных потерь:

$$y_k = \begin{cases} \frac{C_1}{t_k}, & \text{если } t_k < t_z; \\ \frac{C_2}{t_k}, & \text{если } t_k \geq t_z, \end{cases} \quad (4)$$

где  $t_z$  – момент выхода процесса  $X(t)$  за уровень  $L$  (рис. 1, штриховая кривая 1).

Задача заключается в отыскании такого правила остановки [1, 4] (регулировки параметра)  $v^*$ , при котором достигается  $\min M [y_k]$  в процессе длительной эксплуатации системы. Запишем выражение средних потерь для моментов  $t_{k-1}, t_k$ , считая, что процесс наблюдался до момента  $t_{k-1}$  включительно (наблюдаемая траектория процесса – сплошная кривая 1 на рисунке 1), а в момент  $t_k$  он будет остановлен (подвержен либо предупредительной, либо аварийной регулировке):

$$\begin{aligned} M [y_k (\Delta x_1, \Delta x_2, \Delta x_{k-1}, \Delta x_k)] &= \\ &= \frac{C_1}{t_k} P \{ \Delta X_k < L - X(t_{k-1}) \} + \\ &+ \frac{C_1 + A}{t_k} [1 - P \{ \Delta X_k < L - X(t_{k-1}) \}] = \\ &= \frac{C_1}{t_k} + \frac{A}{t_k} [1 - P \{ \Delta X_k < L - X(t_{k-1}) \}] \end{aligned} \quad (5)$$

где  $C_2 - C_1 = A$  – некоторый штраф из-за отказа системы, а записи  $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_{k-1}$  относятся к наблюдаемым значениям соответствующих случайных приращений  $\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_{k-1}$ .

### Выводы

1. Повышение эффективности технического сервиса машин путем моделирования и оптимизации ремонтных воздействий предполагает внедрение новых средств оперативной и непрерывной диагностики параметров. Внедрение рассмотренных методов дает возможность прогнозирования параметрической надежности, выявления потенциальных отказов и их предупреждения, что позволяет реализовать техническое обслуживание по фактическому состоянию [1, 6, 7].

2. Для отыскания оптимальной стратегии технического сервиса в реальных условиях эксплуатации сначала следует среди всех функций распределения, которые характеризуют функционирование машин, найти наилучшие (в смысле данного показателя качества), а затем для этих условий определить оптимальные показатели управления качеством функционирования машин [3, 5].

3. Применение математических моделей для выбора оптимальных сроков проведения плановых восстановительных работ позволяет увеличить коэффициент готовности  $K_r$  на 12%, вероятность выполнения задачи  $R(z)$  на 7% [8, 9].

4. Таким образом, при исследовании методов повышения надежности техники особое значение приобретают задачи, связанные с оценкой ее параметрической надежности. Одним из перспективных направлений обеспечения надежности является разработка системы непрерывного контроля параметров работы машин, оперативного планирования поставок запасных частей и совершенствования организации технического сервиса.

5. Непрерывный контроль параметрической надежности автотранспортных средств позволит оптимизировать периодичность обслуживания, а также применить методы прогнозирования технического состояния.

### Библиографический список

1. Варнаков Д.В. Использование диагностических параметров при оценке и прогнозировании параметрической надежности двигателей автотранспортных средств / Д.В. Варнаков: Монография. Ульяновск: УлГУ, 2013. 124 с.
2. Беляев Ю.К., Богатырёв В.А., Болотин В.В. Надёжность технических систем: Справочник. М.: Союзполиттипография. 1984. 659 с.
3. Дидманидзе О.Н. Обеспечение надежности техники путем проведения комплексной оценки качества поставок запасных частей при организации технического сервиса / О.Н. Дидманидзе, Б.С. Дидманидзе, В.В. Варнаков, Д.В. Варнаков, Е.А. Варнакова, Л.Л. Хабиева // Международный технико-экономический журнал. М.: ООО «Спектр», 2014. № 5. С. 31–40.
4. Надёжность и эффективность в технике: Справочник / Под ред. В.И. Кузнецова и др. М.: Машиностроение, 1990. 320 с.
5. Варнаков В.В. Построение математической модели технического сервиса / В.В. Варнаков, А.С. Карпов, М.Е. Дежаткин // Международный технико-экономический журнал. 2009. № 3. С. 73–75.
6. Варнаков Д.В. Влияние метода прогнозирования достаточной надежности по обобщенному параметру на динамическую характеристику автотранспортных средств / Д.В. Варнаков // Международный технико-экономический журнал. № 2. М., 2012. С. 113–119.
7. Дидманидзе О.Н. Повышение параметрической надежности автомобильных двигателей / О.Н. Дидманидзе, Д.В. Варнаков // Ремонт, восстановление, модернизация. № 5. М., 2007. С. 2–7.
8. Варнаков В.В. Оценка качества ремонта двигателей при сертификации по результатам обкаточных испытаний / В.В. Варнаков, А.В. Погодин, Д.В. Варнаков // Ремонт, восстановление, модернизация. № 8. М., 2005. С. 19–21.
9. Дидманидзе О.Н. Прогнозирование параметрической надежности двигателей автотранспортных средств в нормальном и специальном эксплуатационных режимах / О.Н. Дидманидзе, Д.В. Варнаков // Международный технико-экономический журнал. 2013. № 3. С. 94–98.
10. Дорохов А.С. Эффективность оценки качества сельскохозяйственной техники и запасных частей / А.С. Дорохов // Вестник ФГБОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2015. № 1 (65). С. 31–34.

Статья поступила 17.02.2016

# CONCEPT OF MACHINERY MAINTENANCE BASED ON MACHINERY PERFORMANCE BY ASSESSING ITS PARAMETRICAL RELIABILITY

**OTARI N. DIDMANIDZE**, DSc (Eng), Professor<sup>1</sup>

E-mail: karev-79@mail.ru

**DMITRY V. VARNAKOV**, DSc (Eng), Professor<sup>2</sup>

E-mail: varndm@mail.ru

**VALERY V. VARNAKOV**, DSc (Eng), Professor<sup>2</sup>

E-mail: varnval@mail.ru

<sup>1</sup> Institute of Continuous Professional and Further Education, "Higher School of Agribusiness Management", Timiryazevskaya str., 49, Moscow, 127550, Russian Federation

<sup>2</sup> Ulyanovsk State University, L'va Tolstogo str., 42, Ulyanovsk, 432017, Russian Federation

The paper considers the main approaches to machinery maintenance modelling based on the machinery performance in order to optimize maintenance actions and reduce costs. The authors have developed methods for evaluating the machinery performance that allow determining the quantitative characteristics of its operating parameters, as well as calculating the amount of spare parts and predict parametric reliability. One of the promising ways of increasing the efficiency of the technical service centres is the use of modern machinery diagnostic tools, namely, those of continuous diagnostics. Basing on the proposed method of assessing the effectiveness of the machinery operation, the authors have assessed the machinery performance not only by intrinsic properties of very complex systems, but also with account of the performance quality and the quality of performing separate tasks. Thus, machinery maintenance can be characterized by the determination of defects hampering its good performance, as well as the operating quality, and may refer to separate parts, units, or the machine as a whole. Choosing an optimal maintenance strategy allows achieving the best results due to the reorganization of operation rules without resorting to additional efforts and resources. To solve the problem of choosing rational maintenance intervals, use has been made of a mathematical model that describes the evolution of the machinery technical condition in time, with account of fluctuations of the parameters and random processes. The maintenance tasks also include determining the indicators of the machinery continuous operation quality. To find an optimal strategy of solving such tasks, the authors have proposed to use the minimax method and have proved that the continuous monitoring of the machinery parametric reliability will optimize service intervals, as well as provide for the use of technical methods of forecasting. Thus, in studying the methods of increasing the machinery reliability, particularly important are the tasks related to the assessment of the machinery parametric reliability.

**Key words:** reliability; technical service (maintenance); modelling; parametric reliability; solution to the problem of technical service (maintenance) optimization; Doob lemma.

## References

1. Varnakov D.V. Ispol'zovanie diagnosticheskikh parametrov pri otsenke i prognozirovanii parametricheskoy nadezhnosti dvigateley avtotransportnykh sredstv [The use of diagnostic parameters in evaluating and predicting parametric reliability of motor vehicle engines / D.V. Varnakov: Monograph. Ulyanovsk: USU, 2013. 124 p.
2. Belyaev Yu.K., Bogatyrev V.A., Bolotin V.V. Nadezhnost' tekhnicheskikh sistem: Spravochnik. [Reliability of technical systems: Referencebook]. M.: Soyuzpolitpografiya. 1984. 659 p.
3. Didmanidze O.N. Obespechenie nadezhnosti tekhniki putem provedeniya kompleksnoy otsenki kachestva postavok zapasnykh chastei pri organizatsii tekhnicheskogo servisa [Ensuring the machinery reliability by comprehensive assessment of the quality of supplying spare parts in technical service organizations] / O.N. Didmanidze, B.S. Didmanidze, V.V. Varnakov, D.V. Varnakov, E.A. Varnakova, L.L. Khabieva // International Technical-and-Economic Journal. M.: LLC "Spectrum", 2014. № 5. Pp. 31–40.
4. Nadezhnost' i effektivnost' v tekhnike: Spravochnik [Reliability and efficiency in engineering. Referencebook] / edited by V.I. Kuznetsov [et al.]. M: Mashinostroyeniye, 1990. 320 p.
5. Varnakov V.V. Postroyeniye matematicheskoy modeli tekhnicheskogo servisa [Mathematical modelling of technical service]. / V.V. Varnakov, A.S. Karpov, M.E. Dezhatkin // International Technical-and-Economic Journal. 2009. № 3. Pp. 73–75.

6. Varnakov D.V. Vliyanie metoda prognozirovaniya dostatochnoy nadezhnosti po obobshchennomu parametru na dinamicheskuyu kharakteristiku avtotransportnykh sredstv [The influence of the method of forecasting sufficient reliability for generalized parameters of vehicle dynamic characteristics] / D.V. Varnakov // International Technical-and-Economic Journal. M., № 2. 2012. Pp. 113–119.

7. Didmanidze O.N., Varnakov D.V. Povysenie parametricheskoy nadezhnosti avtomobil'nykh dvigateley [Improving the parametric reliability of automobile engines] / O.N. Didmanidze, D.V. Varnakov // Repair, Restoration, Modernization. M., № 5. 2007. Pp. 2–7.

8. Varnakov V.V. Otsenka kachestva remonta dvigateley pri sertifikatsii po rezul'tatam obkatochnykh ispytaniy [Quality assessment of engine repairing for the certification by the results of run-in tests] / V.V. Varnakov, A.V. Pogodin, D.V. Varnakov // Re-

pair, Restoration, Modernization. M. № 8. 2005. Pp. 19–21.

9. Didmanidze O.N. Prognozirovaniye parametricheskoy nadezhnosti dvigateley avtotransportnykh sredstv v normal'nom i spetsial'nom ekspluatatsionnykh rezhimakh [Prediction of parametric reliability of automobile engines in normal and special operating modes] / O.N. Didmanidze, D.V. Varnakov // International Technical-and-Economic Journal. 2013. № 3. Pp. 94–98.

10. Dorokhov A.S. Effektivnost' otsenki kachestva sel'skokhozyaystvennoy tekhniki i zapasnykh chastei [Efficacy of evaluating the quality of farm machinery and spare parts] / A.S. Dorokhov // Herald of Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education - Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin. № 1, 2015. (65). Pp. 31–34.

*Received on February 17, 2016*

УДК 631.3.004.67-631.145

**ОРЛОВ БОРИС НАМСЫНОВИЧ**, докт. техн. наук, профессор<sup>1</sup>

**БОНДАРЕВА ГАЛИНА ИВАНОВНА**, докт. техн. наук, профессор<sup>1</sup>

E-mail: Boss2569@yandex.ru

**ПАЛЯЕВА ВЕРА НИКОЛАЕВНА**, канд. экон. наук, доцент<sup>2</sup>

E-mail: palyaeva@gmail.com

<sup>1</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Российская Федерация

<sup>2</sup> Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова, ул. Пушкина, 11, Элиста, 358000, Республика Калмыкия, Российская Федерация

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ КОНСТРУКЦИЙ КАБИН ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ И ТРАКТОРОВ

Грузовой парк автомобилей относят к опасным производственным объектам. Экспертиза промышленной безопасности этих объектов, связанная с продлением нормативного срока службы, требует применения различных видов неразрушающего контроля. Анализ аварийности и травматизма на предприятиях агрокомплекса показывает, что значительная часть отказов связана с прогрессирующими повреждениями коррозионного и эксплуатационного износа, нарушениями технологии ремонта. Условия эксплуатации стоек кабины грузовых автомобилей характеризуются действием широкого спектра внешних нагрузок статического и динамического характера. Для выбора расчётных схем и метода анализов напряженно-деформированного состояния (НДС) на испытательной машине ZD 10/90 провели серии опытов вертикального и горизонтального нагружения стоек кузовов. Расчётный анализ напряжений и деформаций стоек при действии вертикальных и горизонтальных нагрузок выполнили с использованием методов теории упругости и численных методов. Установили, что сварные швы как восстановленной, так и усовершенствованной