

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПО ФАКТИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ МАШИН

Варнаков Дмитрий Валерьевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Техносферная безопасность»¹

Варнаков Валерий Валентинович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность»¹

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет»¹

Дежаткин Михаил Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Сервис и механика»²

ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА²

432017, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1, тел.: +79510999305

e-mail: posledny-samuray@yandex.ru

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

Повышение эффективности технического сервиса машин путем моделирования ремонтных воздействий предполагает внедрение средств оперативной и непрерывной диагностики параметров. Внедрение предлагаемых методов оперативной и непрерывной диагностики параметров дает возможность прогнозирования параметрической надежности, выявления потенциальных отказов и их предупреждения, что позволяет реализовать техническое обслуживание машин по фактическому состоянию. Для отыскания оптимальной стратегии технического сервиса в реальных условиях эксплуатации следует среди всех функций распределения, характеризующих функционирование машин, определить оптимальные показатели управления качеством функционирования машин. Одним из перспективных направлений ресурсосбережения при обеспечении надежности технических систем является разработка системы непрерывного контроля параметров, оперативного планирования поставок запасных частей. Непрерывный контроль параметрической надежности технических систем позволит оптимизировать периодичность обслуживания техники, снизить затраты на формирование фондов запасных частей и повысит эффективность работы сервисных служб.

Введение

Обновление парка машин сельхозтоваропроизводителей приводит к появлению у них 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, экономическим потерям. Увеличение количества эксплуатируемой техники и рост стоимости сервисных и ремонтных работ вынуждают производителей машин повышать надежность автотранспортных средств.

Следует отметить, что при эксплуатации сложной техники потери являются не только следствием отказов отдельных деталей, но и убытков от простоев, связанных с потерями продукции. Поэтому возникает потребность в раз-

работке таких методов оценки эффективности функционирования машин, которые позволили бы оценить параметры их работы в процессе эксплуатации, прогнозировать параметрическую надежность, определить необходимое количество запасных частей с целью совершенствования системы технического сервиса.

Решение вопросов обеспечения надежности структурно-сложных технических систем осуществляется на всех стадиях срока их службы, от проектирования и производства до эксплуатации и утилизации.

Одним из перспективных направлений повышения эффективности работы сервисных служб является применение современных средств диагностики 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 систему элементов, а как новое качественное свойство, присущее этим системам. Естественно, что такая постановка вопроса 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].

Целью исследований является решение проблемы повышения надежности и эффективности функционирования машин. При этом возникает задача разработки обоснованной стратегии технического сервиса.

Объекты и методы исследований

Основная идея предлагаемого метода оценки эффективности функционирования машин заключается в том, что оценивают не только внутренние свойства их самой сложной системы, но также учитывают качество ее функционирования, качество выполнения задач (выходной эффект). Такая оценка очень удобна, так как позволяет сравнивать эффективность функционирования предназначенных для выполнения одной и той же задачи сложных систем, принципиально различных по структуре, принципу действия, комплектующим изделиям и т. п. Это позволяет находить различные варианты построения сложных систем и выполнять их выбор [1].

Техническое состояние машин может быть охарактеризовано указанием дефектов, нарушающих их исправное и работоспособное состояния, а также качеством функционирования деталей, узлов или машины в целом. Поэтому для сложных объектов создают автоматизированные системы диагностики на базе компьютеров. В общем случае для создания автоматизированной системы технического диагностирования необходимо решить следующие задачи [2, 3]:

- выбрать оптимальные сроки проведения плановых восстановительных работ при полной информации о надежности машины;

- определить оптимальные сроки проведения плановых восстановительных работ при ограниченной информации о надежности.

Стратегию технического сервиса строят на основе [4]:

- 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 изменение состояния машины во времени, используют случайный процесс $x(t)$, принадлежащий к одному из следующих классов случайных процессов [5]:

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

Восстановительные работы, которые возможны в системе, классифицируют 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 рассматривают следующие показатели качества функционирования машин при длительной эксплуатации [6]:

- коэффициент готовности K_g ;
- вероятность выполнения задачи (коэффициент оперативной готовности) $R(z)$;
- среднюю прибыль за единицу календарного времени S ;
- средние затраты за единицу времени исправного функционирования C .

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

При рассмотрении немарковских управляемых случайных процессов в задачах оптимизации технического обслуживания можно применить лемму Дуба и ее приложения [7].

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) [8].

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 Δt в моменты $t_k = k \Delta t, k = 0, 1, 2, \dots$, т. е. наблюдается последовательность случайных векторов $\bar{X}_0, \bar{X}_1, \dots, \bar{X}_k$. Значит, в каждый момент t_k становится известной вся прошлая траектория случайного процесса $X(t)$: $(x_0, x_1, \dots, x_k) = \bar{X}_k$.

Из практики эксплуатации технических систем известно, что в момент t_k по наблюдаемой траектории \bar{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 замен и регулировок вернуть систему в начальное состояние.

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

Для определения оптимальных моментов регулировок параметра с независимыми приращениями можно применить лемму Дуба [9].

Пусть деградация системы (блока, элемента) в процессе длительной эксплуатации характеризуется непрерывным одномерным, монотонно возрастающим случайным процессом $X(t)$, параметры которого отмечены на оси функций $\varphi(k), X(t_k)$, и контролируются 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 ΔX_k - приращение процесса по шагам контроля $k = 1, 2, \dots$

Примем, что C_1 - средние потери времени на регулировку параметра системы $X(t)$ при условии, что 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).

Тогда функция удельных потерь

$$y_k = \begin{cases} \frac{C_1}{t_k}, & \text{если } t_k < t_z; \\ \frac{C_2}{t_k}, & \text{если } t_k \geq t_z, \end{cases} \quad (1)$$

где t_z - момент выхода процесса $X(t)$ за уровень L .

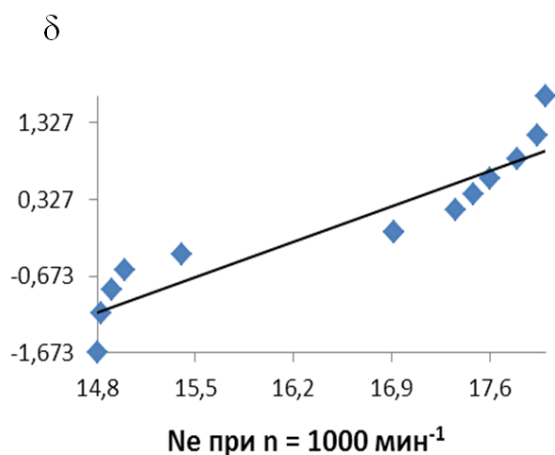
Задача заключается в отыскании такого правила остановки [10] (регулировки параметра) v^* , при котором достигается $\min M[y_k]$ в процессе длительной эксплуатации системы. Запишем выражение средних потерь для моментов t_{k-1}, t_k , считая, что процесс наблюдался до момента t_{k-1} включительно (наблюдаемая траектория процесса - сплошная кривая 1 на рисунке 1), а в момент t_k он будет остановлен (подвержен либо предупредительной, либо аварийной регулировке):

$$\begin{aligned} M[y_k(\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_{k-1}, \Delta x_k)] &= \\ &= \frac{C_1}{t_k} P\{\Delta X_k < L - X(t_{k-1})\} + \\ &+ \frac{C_1 + A}{t_k} [1 - P\{\Delta X_k < L - X(t_{k-1})\}] = \\ &= \frac{C_1}{t_k} + \frac{A}{t_k} [1 - P\{\Delta X_k < L - X(t_{k-1})\}] \end{aligned} \quad (2)$$

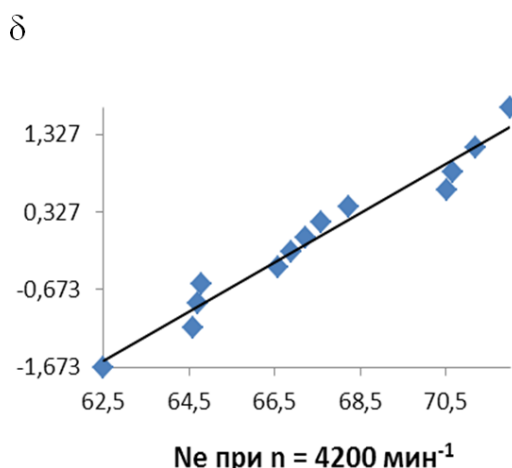
где $C_2 - C_1 = A$ - некоторый штраф из-за отказа системы, а записи $\Delta x_i, \Delta x_a, \dots, \Delta x_{k-1}$ относятся к наблюдаемым значениям соответствующих случайных приращений $\Delta x_i, \Delta x_a, \dots, \Delta x_{k-1}$.

Результаты исследований

Большое значение при прогнозировании



а



б

Рис. 1 - Диаграмма вероятностей нормального распределения мощности: d - точность оценки мощности двигателя

параметрической надежности в нормальном и специальном эксплуатационных режимах имеет точность оценок [11].

По результатам стендовых испытаний 13 двигателей УМЗ 4218.10 были установлены режимы, при которых значения параметров надежности соответствуют нормальному распределению. Были построены графики для режимов работы, соответствующие частотам вращения коленчатого вала двигателя 1000, 1500, 1800, 2000, 2200, 2500, 3000, 3500, 4000, 4200 мин⁻¹.

Для проверки степени соответствия данных нормальному распределению вычисляли нормальные метки - это ожидаемые значения для выборки, которые соответствуют стандартному нормальному распределению. После генерации нормальных меток строили диаграмму вероятностей нормального распределения, в которой по оси абсцисс откладывали усредненные значения выборок, а по оси ординат - соответствующие им нормальные метки. При условии нормального распределения данных в выборке полученные точки на диаграмме должны располагаться на одной линии.

Наибольшую степень соответствия мощности двигателей нормальному распределению наблюдали при работе двигателей с частотой вращения коленчатого вала 4200 мин⁻¹ (рисунок 1б).

Для статистической проверки экспериментальных данных на адекватность описания ими рассматриваемых процессов работы двигателей была применена теория построения доверительных интервалов. Для проверки исполь-

зована гипотеза построения центральных доверительных интервалов для средних выборочных значений [12]. Параметр интервала

$$z = \frac{\bar{X} - \mu_0}{\sigma_{\bar{X}}}, \quad (3)$$

где \bar{X} - выборочное среднее; μ_0 - генеральное среднее; $\sigma_{\bar{X}}$ - стандартное отклонение выборочного распределения.

Общая теория статистики дает решение этого уравнения относительно μ_0 и определяет границы доверительных интервалов (z):

$$\mu_0 = \bar{X} \pm z_{\alpha/2} (\sigma_{\bar{X}}), \quad (4)$$

где α - ошибка принятия доверительных интервалов.

При интервале $p = 0,95$ значение $\alpha = 0,05$, соответственно $z_{\alpha/2} = 1,96$. При вычислении этих значений для каждой характеристики двигателя на каждой из частот вращения коленчатого вала можно определить доверительные интервалы. После этих исследований значения генеральной выборки можно считать лежащими в указанных интервалах с вероятностью 95 %.

Для проверки гипотез о согласии эмпирического и теоретического распределений использовали коэффициент корреляции Пирсона:

$$\chi^2 = \sum \frac{(f - F)^2}{F}, \quad (5)$$

где f и F - фактические и гипотетические частоты численности объектов выборки соответственно.

Расчеты показали, что критерий согласия Пирсона χ^2 для различных режимов работы

двигателя составлял 0,184...0,922, что не превышает критический критерий $\chi^2 = 5,892$. Следовательно, $\chi^2_{набл} < \chi^2_{кр}$ и гипотеза о нормальном распределении не отвергается.

Выводы

1. Внедрение предлагаемого метода оперативного контроля параметрической надежности дает возможность прогнозирования надежности машин, выявления потенциальных отказов и их предупреждения, что позволяет выполнять техническое обслуживание машин с учетом их фактического состояния.

2. Анализ основных параметров работы 13 двигателей УМЗ 4218.10 на десяти режимах показал, что значение критерия согласия Пирсона χ^2 не превышает критический критерий $\chi^2 = 5,892$. Следовательно, нет оснований отвергнуть гипотезу об их нормальном распределении. Наибольшая степень соответствия мощности двигателей нормальному распределению наблюдалась при их работе с частотой вращения коленчатого вала 4200 мин⁻¹.

3. Применение метода минимакса, разработанной методики оперативного контроля параметрической надежности позволяют определить оптимальную стратегию обслуживания, корректировать его периодичность и оперативно решать вопросы организации технического сервиса.

Библиографический список

1. Варнаков, Д.В. Использование диагностических параметров при оценке и прогнозировании параметрической надежности двигателей автотранспортных средств: монография / Д.В.Варнаков.– Ульяновск: УлГУ, 2013. - 124 с.

2. Беляев, Ю.К. Надёжность технических систем: справочник / Ю.К.Беляев, В.А.Богатырёв, В.В.Болотин. – М.: Союзполиттипография. 1984. - 659 с.

3. 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. –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. - 2012. - № 2. - С. 113-119.

7. Дидманидзе, О.Н. Повышение параметрической надежности автомобильных двигателей / О.Н. Дидманидзе, Д.В. Варнаков // Ремонт, восстановление, модернизация. - 2007.- № 5.- 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. - 2005. - № 8. - С. 19-21.

9. Варнаков, Д.В. Повышение эффективности технического сервиса машин путем моделирования и оптимизации ремонтных воздействий / Д.В. Варнаков, В.В. Варнаков, М.Е. Дежаткин // Ремонт. Восстановление. Реновация. Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. – Уфа. Издательство: БГАУ, 2015. - С. 32-39.

10. Дидманидзе, О.Н. Результаты разработки метода и системы оперативного контроля и прогнозирования параметрической надежности в специальных эксплуатационных режимах / О.Н. Дидманидзе, Д.В. Варнаков // Международный технико-экономический журнал. - 2013. - № 4. – С. 71-79.

11. 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.

12. Варнаков, В.В. Оптимизация инвестиций в предприятия дилерской системы технического сервиса машин / В.В. Варнаков, Г.Ф. Варнакова // Международный технико-экономический журнал. - 2008. - № 1. - С. 40-46.

IMPROVEMENT OF TECHNICAL SERVICE SYSTEM BY MEANS OF INTRODUCTION OF MAINTENANCE IN ACCORDANCE WITH ACTUAL MACHINERY CONDITION

Varnakov D.V.¹, Varnakov V.V.¹,
Dezhatkin M.E.²
FSBEI HE "Ulyanovsk state university"¹,
FSBEI HE Ulyanovsk SAA²
432017, Ulyanovsk, Novyi Venets Bld, 1,
Tel.: +79510999305; E-mail: posledny-samuray@yandex.ru

Key words: reliability, technical service, modelling, parametric reliability, problem solving of improvement of technical service, Dub lemma.

Efficiency increase of machinery technical service by means of modelling of repair impacts presupposes implementation of means of immediate and constant parametre diagnostics. Implementation of the suggested methods of immediate and constant parametre diagnostics enables to forecast parametric reliability, to reveal potential failures and to prevent them, which allows to execute technical maintenance of machines in accordance with their actual condition. To find optimal strategy of technical service in real operation conditions, it is necessary to determine the optimal parametres of quality control of machinery operation. One of the long-range recourse-saving directions when providing reliability of technical systems is elaboration of the system of constant parametre control, immediate planning of spare parts supply. Constant control of parametric reliability of technical systems will allow to improve periodicity of machinery maintenance, reduce costs of spare parts funds and increase efficiency of maintenance services.

Bibliography

1. Varnakov, D.V. Application of diagnostic parametres when evaluating and assessing parametric reliability of vehicle engines: monograph / D.V. Varnakov. – Ulyanovsk: USU, 2013. -124 p.
2. Belyaev, Y.K. Reliability of technical systems: reference book / Y.K. Belyaev, V.A. Bogatyryov, V.V. Bolotin. – M.: Soyuzpolittipografiya, 1984. - 659 p.
3. Reliability control of machines by means of complex quality assessment of spare parts when organizing maintenance service / O.N. Didmanidze, B.S. Didmanidze, V.V. Varnakov, D.V. Varnakov, E.A. Varnakova, L.L. Khabieva // International technical-and-economic journal. –2014. – № 5. – pp. 31-40.
4. Reliability and efficiency of machines / edited by V.I. Kuznetsov [and oth.]. – M.: Machinery manufacturing, 1990. – 320 p.
5. Varnakov, V.V. Elaboration of numerical scheme 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. Influence of prognosis method of sufficient reliability on the basis of generalized parameter on dynamic characteristic of vehicles / D.V. Varnakov // International technical-and-economic journal. - 2012.- № 2. - pp. 113-119.
7. Didmanidze, O.N. Increase of parametric reliability of car engines / O.N. Didmanidze, D.V. Varnakov // Repairs, renewal, upgrading.- 2007.- № 5.- pp. 2-7.
8. Varnakov, V.V. Quality assessment of engine repairs in case of certifying as a result of exercise tests / V.V. Varnakov, A.V. Pogodin, D.V. Varnakov // Repairs, renewal, upgrading. – 2005.-№ 8.- pp. 19-21.
9. Varnakov, D.V. Efficiency increase of machine maintenance service by means of modelling and improvement of repair impacts / D.V. Varnakov, V.V. Varnakov, M.E. Dezhatkin // Repairs. Renewal. Renovation. Materials of VI All-Russia science and practice conference. – Ufa.: BSAU, 2015. - pp. 32-39.
10. Didmanidze, O.N. Results of method elaboration and immediate control system and parametric reliability forecast in special operational regimes / O.N. Didmanidze, D.V. Varnakov // International technical-and-economic journal. - 2013.- № 4. – pp. 71-79.
11. Didmanidze, O.N. Forecast of parametric reliability of vehicle engines in standard and special operational regimes / O.N. Didmanidze, D.V. Varnakov // International technical-and-economic journal. - 2013. - № 3. -pp. 94-98.
12. Varnakov, V.V. Improvement of investment in enterprises of dealer system of machinery technical service / V.V. Varnakov, G.F. Varnakova // International technical-and-economic journal. - 2008. - № 1. - pp. 40-46.