

<https://doi.org/10.26160/2572-4347-2023-18-13-17>

ВЕРОЯТНОСТНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ СМЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Королев А.Е.

*Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень,
Россия*

Ключевые слова: техническая система, показатели безотказности, методы резервирования, фонд запасных элементов.

Аннотация. В статье рассматриваются методы достижения гарантированной безотказности технических объектов путём создания рационального фонда запасных частей. Надёжность машин и оборудования является основой эффективной реализации производственных процессов, особенно это важно при выполнении работ в сжатые сроки. Представлена статистическая информация по неисправностям узлов и деталей системы питания тракторных дизелей. Установлены закономерности проявления их отказов по наработке. Приведены методики расчёта резервных элементов и влияние их количества на уровень безотказности системы. Показана взаимосвязь между числом отказов и продолжительностью их устранения

PROBABILISTIC PLANNING OF EXCHANGEABLE ELEMENTS OF TECHNICAL SYSTEM

Korolev A.E.

Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russia

Keywords: technical system, indicators non-failure operation, redundancy methods, fund of spare elements.

Abstract. The article discusses the methods of achieving guaranteed non-failure operation of technical objects by creating a rational fund of spare parts. Reliability of machinery and equipment report the basis for effective realization of production processes, this is especially important when performing work in a short time. Statistical information on malfunctions of units and parts of the power system of tractor diesels is presented. The regularities of the manifestation of their failures by the operating time have been established. The techniques of calculation of backup elements are given and the effect of their number on level non-failure operation the system. Is shown the interrelation between the number of failures and the duration of their elimination,

Надёжность оказывает огромное влияние на эффективность использования машин, оборудования, трудовых, материальных и финансовых ресурсов [1]. Особенно это актуально при непрерывной или ограниченной по времени реализации производственных процессов [2]. Поэтому на предприятии необходимо иметь постоянный или краткосрочный резерв элементов технических объектов исходя из их реальной безотказности [3]. Ранее были проведены длительные эксплуатационные наблюдения за 83 тракторными дизелями Д-240 [4]. В данной статье анализируется работоспособность системы питания, включающей в себя топливный насос, форсунки, трубки низкого и высокого давления. В результате обработки

исходной информации получены статистические оценки распределения отказов составных частей системы (табл. 1).

Табл. 1. Вероятностные характеристики топливной системы

Наименование показателей	Значение показателей			
	Топливный насос	Форсунки	Трубки низкого давления	Трубки высокого давления
Средняя наработка на отказ, мото-ч	1205	1328	1320	1288
Среднее квадратическое отклонение, мото-ч	955	936	1014	953
Коэффициент вариации	0,79	0,71	0,77	0,74

Диапазон рассеивания отказов значительный, соответственно средние показатели имеют левостороннее смещение относительно центра периода наблюдения в среднем на 20%. Все эти данные свидетельствуют о технологических дефектах при производстве изделий. Количество запасных частей является функцией от наработки следующего вида:

$$m = \int_0^t \omega(t) \cdot dt, \tag{1}$$

где N – количество объектов наблюдения; $\omega(t)$ – параметр потока отказов.

Параметр потока отказов в данном случае аппроксимируется экспоненциальной зависимостью (рис. 1).

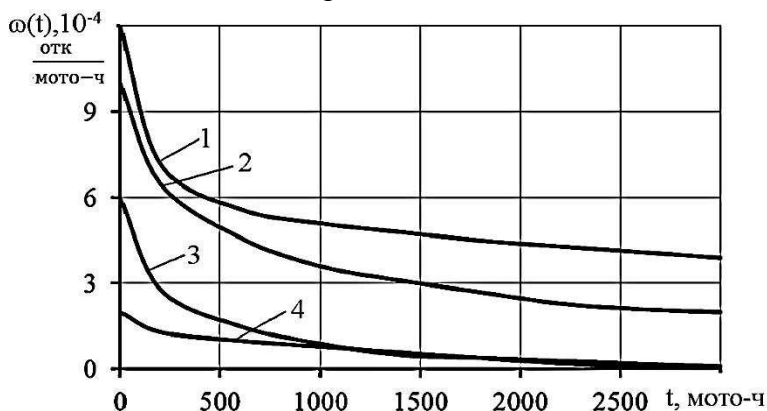


Рис. 1. Изменение параметра потока отказов топливных насосов (1), форсунок (2), трубок высокого (3) и низкого (4) давления

Расчёты показали, что при наработке 1000 моточасов на один двигатель потребуется 0,54 насосов, 0,50 форсунок, 0,19 трубок высокого давления и 0,13 трубок низкого давления. Общий комплект резервирования системы питания составит 1,36 единиц деталей. Данный метод можно считать комбинированным, так как он позволяет одновременно определить потребное

количество отдельных элементов и систем. Для любого технического устройства отказы проявляются как независимые события, поэтому вероятность безотказной работы его работы составит:

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t), \quad (2)$$

где $P_i(t)$ – безотказность элемента устройства; n – количество элементов устройства.

Вероятность безотказной работы связана с частотой отказов следующим соотношением:

$$P(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) \cdot dt\right], \quad (3)$$

где $\lambda(t)$ – интенсивность отказов.

Закономерности изменения $\lambda(t)$ приведены на рисунке 2, они также как и $\omega(t)$ имеют экспоненциальный характер.

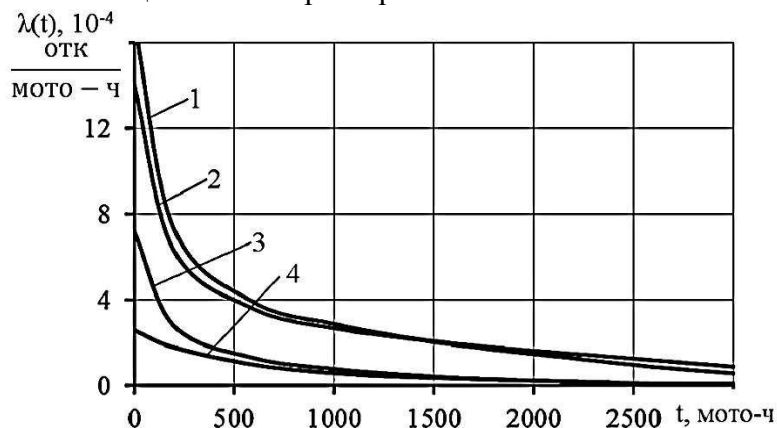


Рис. 2. Изменение интенсивности отказов топливных насосов (1), форсунок (2), трубок высокого (3) и низкого (4) давления

При достижении наработки 1000 моточасов $P_i(t)$ составляет: топливный насос – 0,52, форсунки – 0,56, трубки высокого давления – 0,81 и трубки низкого давления – 0,87. Тогда безотказность в целом системы питания равна 0,21. Рассмотрим ещё два варианта поддержания надёжности системы путём общего и отдельного резервирования [5]. В первом случае при отказе заменяется вся система, а во втором – только отдельные её элементы. Соответственно $P_c(t)$ рассчитывается по формулам:

$$P_c(t) = 1 - \left[1 - \prod_{i=1}^n P_i(t)\right]^m, \quad (4)$$

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n \left\{1 - [1 - P_i(t)]^m\right\}, \quad (5)$$

где m – количество запасных элементов.

На рисунке 3 показана реализация рассмотренных вариантов при увеличении m .

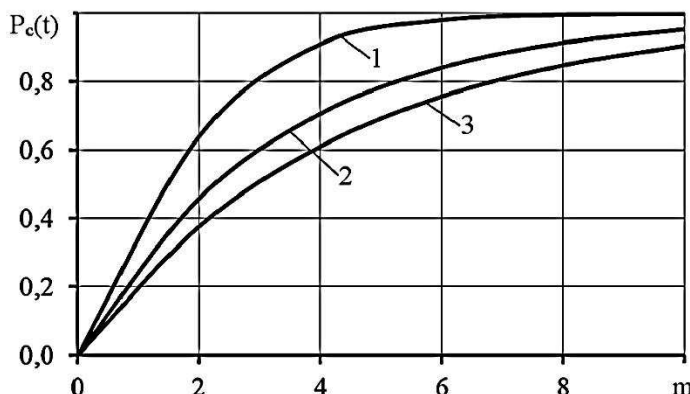


Рис. 3. Вероятность безотказной работы системы питания в зависимости от количества запасных частей при раздельном (1), комбинированном (2) и общем (3) методах резервирования

Из графиков следует, наиболее эффективным является раздельное резервирование. Это подтверждают сравнительные данные по резервирования, которые для обеспечения $P_c(t) = 0,9$ при наработке 1000 моточасов представлены в таблице 2.

Табл. 2. Потребность в запасных частях для обеспечения гарантированной безотказности топливной системы

Метод резервирования	Расход резервных элементов
Общий	9,8
Комбинированный	7,5
Раздельный	3,6

В процессе эксплуатационных наблюдений фиксировалось время простоя объектов по техническим причинам. При увеличении числа неисправностей соответственно возрастает продолжительность их устранения (рис. 4).

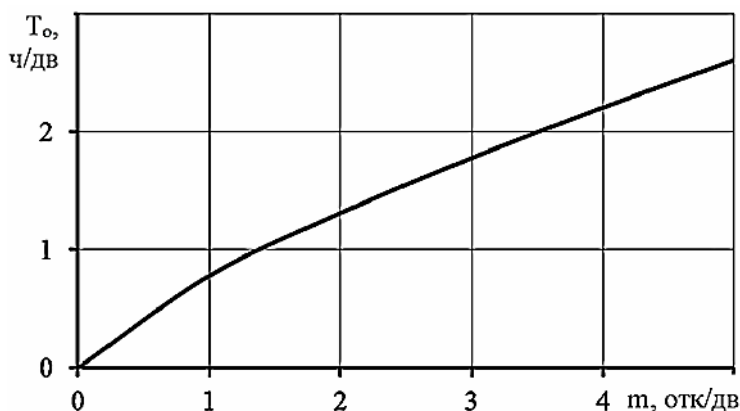


Рис. 4. Влияние количества отказов на продолжительность их устранения

Расчёты с использованием ранее установленных закономерностей показали, что с повышением безотказности систем на 10% потери рабочего времени сокращаются в 1,4 раза. Применение того или иного метода планирования фонда заменяемых элементов машин определяется спецификой производственной деятельности. При наличии большего числа однотипных технических объектов целесообразно создавать запас отдельных деталей и узлов, что позволяет сократить затраты времени и денежных средств на устранение неисправностей.

Список литературы

1. Зорин В.А. Надёжность механических систем. – М.: ИНФРА-М, 2021. - 380 с.
2. Королев А.Е. Изменение коэффициента готовности двигателей // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова. – 2018. – №1. – С. 92-96.
3. Дорохов А.Н., Керножицкий В.А., Миронов А.Н., Шестопалова О.Л. Обеспечение надежности сложных технических систем. – СПб.: Лань, 2017. – 352 с.
4. Королев А.Е. Техническое состояние двигателей после ремонта // Colloquium-journal. – 2019. – Ч. 1, №11. – С.80-82.
5. Прейсман В.И. Основы надёжности сельскохозяйственной техники. – Донецк: Высшая школа, 1979. – 192 с.

References

1. Zorin V.A. Reliability of mechanical systems. – M.: INFRA-M, 2021. – 380 p.
2. Korolev A.E. Change in engine readiness factor // Bulletin of the Buryat State Agricultural Academy named after V.R. Filippov. 2018, no. 1, pp. 92-96.
3. Dorokhov A.N., Kernozhitsky V.A., Mironov A.N., O.L. Shestopalova O.L. Ensuring the reliability of complex technical systems. – SPb.: Fallow-deer, 2017. – 352 p.
4. Korolev A.E. Technical condition of engines after repair // Colloquium-journal. 2019, part 1, no. 11, pp. 80-82.
5. Preisman V.I. Fundamentals of reliability of agricultural machinery. – Donetsk: Higher School, 1979. – 192 p.

<p>Королев Александр Егорович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технические системы в АПК»</p>	<p>Korolev Alexander Egorovich – candidate of technical sciences, associate professor of department "Technical systems in agrarian and industrial complex"</p>
<p>alexkorolev72@mail.ru</p>	

Received 19.02.2023