

УДК 621.86

DOI 10.23947/2541-9129-2019-2-33-36

**ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ
РАБОТЫ ТЕХНИКИ ПУТЕМ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕЕ НАДЕЖНОСТИ***Зайцева М. М., Мегера Г. И.,
Копылов Ф. С., Крымский В. С.*Донской государственной технической
университет, г. Ростов-на-Дону, Российская
Федерацияmarincha1@rambler.ru

Рассматриваются вопросы обеспечения надежности техники в целях повышения безопасности ее работы. В работе предлагается метод моделирования генеральной совокупности конечного объема с применением малых выборок исходных данных. Проведена оптимизация периодичности технического обслуживания грузового автомобиля.

Ключевые слова: безопасность, надежность, отказ техники, минимизация затрат, прочность, нагруженность, ресурс.

Введение. Для обеспечения безопасности работы техники в таких отраслях, как строительство, транспорт, машиностроение возникает необходимость обоснования показателей и критериев надежности, которые отражают свойства созданных технических систем. Требования по безопасности функционально связаны с требованиями по надежности. Актуальными задачами отрасли в современных условиях являются повышение безопасности работ, безотказности техники, минимизация трудозатрат и эксплуатационных издержек.

Минимизация затрат. К производственному травматизму, удорожанию выполнения работ, значительным потерям времени могут привести отказы техники и недостаточный уровень надежности в целом. В расчетах надежности необходимо применять методы сокращения трудоемкости, продолжительности испытаний и финансовых затрат при получении исходных данных [1, 2]. Уменьшение объема выборок по прочности, нагруженности и ресурсу, а также применение косвенных корреляционных методов определения прочности образцов и деталей приводят к минимизации затрат на производство, эксплуатацию и прогнозирование ресурса детали или транспортного средства в целом (рис. 1).

Оптимизация надежности. Уменьшение объема выборок по прочности, нагруженности и ресурсу по минимальной погрешности было проведено с помощью разработанного метода обеспечения основного показателя надежности ресурса. Рассматриваемый метод основан на применении малых выборок исходных данных и распределении абсолютных размахов для моделирования генеральной совокупности конечного объема [3–5].

Функция распределения абсолютных размахов $W_r = x_r - x_s$. ($r, s=1, \dots, n$) имеет вид:

UDC 621.86

DOI 10.23947/2541-9129-2019-2-33-36

**IMPROVING SAFETY OF EQUIPMENT
BY RELIABILITY PROVISION***Zaytseva M.M., Megera G.I.,
Kopylov F.S., Krymskiy V.S.*Don state technical University, Rostov-on-Don,
Russian Federationalexey-semenov82@mail.ru

The issues of ensuring the reliability of equipment in order to improve the safety of its work are considered. The article proposes a method for modeling a general population of a finite volume using small samples of input data. The optimization of truck maintenance intervals is provided.

Keywords: safety, reliability, equipment failure, cost minimization, strength, loading, resource.

$$F(W) = \int_0^W f(W)dW,$$

где $f(W_{rs})$ — плотность распределения размахов (в общем виде):

$$f(W_{rs}) = C_{rs} \int_{-\infty}^{+\infty} P^{r-1}(x)p(x)[P(x+W_{rs})-P(x)]^{s-r-1} p(x+W_{rs}) \times [1-P(x+W_{rs})]^{n-s} dx,$$

$C_{rs} = \frac{n!}{(r-1)!(s-r-1)!(n-s)!}$; $P(x)$ — функция распределения характеристики;

$p(x)$ — плотность вероятности характеристики.



Рис. 1. Повышение эффективности обеспечения оптимальной надежности техники и ее составных частей

Эмпирическая и аппроксимирующая функции распределения генеральной совокупности конечного объема ресурса T_p двигателя грузового автомобиля КАМАЗ-4308 показаны на рис. 2. Оптимизация значения вероятности безотказной работы (ВБР) двигателя автомобиля проводится по критерию оптимизации удельным затратам C_i (рис. 3).

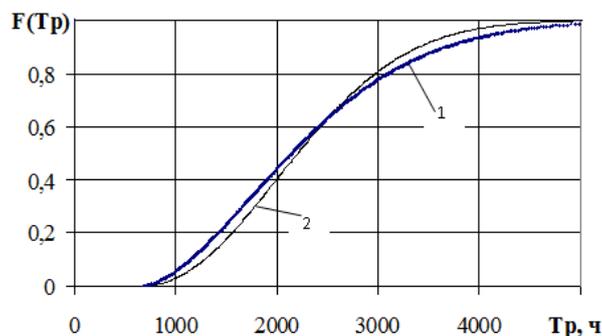


Рис. 2. Функции распределения ГСКО ресурса двигателя грузового автомобиля КАМАЗ-4308:
1 — эмпирическая; 2 — аппроксимирующая

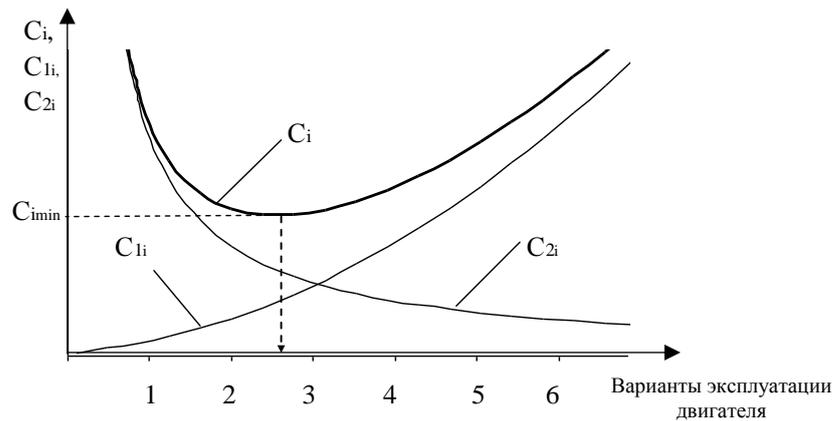


Рис. 3. Оптимизация варианта эксплуатации двигателя автомобиля
(и, соответственно, вероятности его безотказной работы)

Необходимо подсчитать несколько значений C_i при различных вариантах эксплуатации двигателя автомобиля (применение различных типов топлива; использование присадок, повышающих детонационные свойства бензина; проведение планового технического обслуживания и т. п.) и определить вероятность безотказной работы автомобиля $P(t)$. При известных функциях $P(t)$ и интенсивности отказов $\lambda(t)$ появляется возможность оптимизировать величину продолжительности эксплуатации технического объекта в периодах между проведением планового технического обслуживания. При этом необходимо учесть возможность возникновения у объекта неявных отказов. Обозначим через u дополнительные финансовые потери при совпадении прочих суммарных затрат от скрытых отказов:

$$S(\tau) = Up(t < \tau) + Cp(t \geq \tau) + u \int_0^{\tau} f(\tau - t) dt = U[1 - P(\tau)] + CP(\tau) + u \int_0^{\tau} [1 - P(t)] dt =$$

$$= U + (C - U)P(\tau) + u \left[\tau - \int_0^{\tau} P(t) dt \right].$$

Средние удельные затраты за время τ :

$$s(\tau) = \frac{1}{\tau} \left\{ U + (C - U)P(\tau) + u \left[\tau - \int_0^{\tau} P(t) dt \right] \right\}.$$

Дифференцируя выражение по τ и приравнявая нулю производную, получим уравнение:

$$P(\tau) - \tau \frac{dP(\tau)}{d\tau} - \frac{u}{U - C} \left[\tau - \int_0^{\tau} P(t) dt \right] = \frac{U}{U - C}.$$

Искомым решением уравнения является оптимальная периодичность ТО.

Представим функцию риска для технического объекта с периодическим ТО в виде:

$$S = CP_2(t) + UP_3(t).$$

Опираясь на минимизацию количественного значения риска [6], решим задачу оптимизации величины периода между плановым техническим обслуживанием. Значение будет иметь размер суммарных удельных затрат, связанных с потерями на восстановление и ремонт техники, а также с нарушением срока работ вследствие простоя комплекса машин.

Получение практических результатов. Результаты проведения оптимизации периодичности ТО T_{opt} сведем в таблицу 1, где S_{min} — наименьшая количественная характеристика риска; λ — интенсивность отказов; τ — временная величина периода между ТО; U/C — отношение издержек при внезапном отказе к затратам на проведение ТО. Для примера выбран грузовой автомобиль КАМАЗ–4308.

Таблица 1

Результаты решения задачи оптимизации продолжительности периода между плановыми ТО грузового автомобиля КАМАЗ–4308

$\tau, ч$	U/C	Периодичность технического обслуживания $T_{opt}, ч$		
		$\lambda = 10^{-8} ч^{-1}$	$\lambda = 10^{-7} ч^{-1}$	$\lambda = 10^{-6} ч^{-1}$
10	10	9992	3154	992
	100	3152	990	307
	1000	990	306	91
	10000	306	91	23
20	10	14126	4456	1398
	100	4453	1395	428
	1000	1394	428	123
	10000	428	123	29
50	10	22321	7031	2196
	100	7022	2188	660
	1000	2187	659	179
	10000	659	179	37
100	10	31543	9920	3083
	100	9902	3066	907
	1000	3064	905	232
	10000	905	232	41

Таким образом, при заданных $\lambda = 10^{-6} ч^{-1}$ и $\tau = 100 ч$, отношение затрат $U/C=100$. С учетом финальных вероятностей состояний величина минимального техногенного риска $S_{min} = 0,0613$ и оптимальная периодичность технического обслуживания $T_{opt} = 907ч \approx 2$ мес.

Проведение оптимизации вероятности безотказной работы машин по критерию «суммарные удельные затраты» позволяет снизить травматичность при производстве работ с техническими объектами, тем самым повышая промышленную безопасность. Обоснование показателей и критериев надежности в рамках увеличения безотказности работ приводит к уменьшению отказов, сокращению потерь на ремонт и восстановление техники.

Заключение. Повышение безопасности и надежности работы техники приводит к снижению травматичности, увеличению безотказности, уменьшению или ликвидации затрат на ее ремонт и восстановление.

Библиографический список

1. Когаев, В. П. Прочность и износостойкость деталей машин / В. П. Когаев, Ю. Н. Дроздов. — Москва : Высшая школа, 1991. — 319 с.
2. Касьянов, В. Е. Повышение надежности и эффективности работы машины на основе увеличения усталостного ресурса деталей / В. Е. Касьянов, В. В. Дудникова. // Вестник машиностроения. — 2009. — № 11. — С. 11–15.
3. Роговенко, Т. Н. Метод получения совокупности конечного объема из малой выборки с помощью моделирования / Т. Н. Роговенко, М. М. Зайцева. // Деп. в ВИНТИ. — 2008. — № 970 — 27 с.
4. Касьянов, В. Е. Оценка гамма-процентных значений совокупности конечного объема по малой выборке для прочности деталей машин / В. Е. Касьянов, Т. Н. Роговенко, М. М. Зайцева // Вестник Рост. гос. ун-та путей сообщения. — 2010. — № 1. — С. 20–24.
5. Дэйвид, Г. Порядковые статистики // Г. Дэйвид. — Москва : Наука, 1979. — 336 с.

6. Риск-ориентированный подход к организации надзорной деятельности в области промышленной безопасности / А. А. Короткий [и др.] // Безопасность труда в промышленности. — 2016. — № 2. — С. 58–63.

Поступила в редакцию 01.11.2018

Сдана в редакцию 01.11.2018

Запланирована в номер 15.01.2019

Об авторах:

Зайцева Марина Михайловна,

доцент кафедры эксплуатации транспортных систем и логистики Донского государственного технического университета (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук,

marincha1@rambler.ru

Мегера Геннадий Иванович,

старший преподаватель кафедры эксплуатации транспортных систем и логистики Донского государственного технического университета (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1),

Копылов Федор Сергеевич,

студент Донского государственного технического университета (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1),

Крымский Василий Сергеевич,

студент Донского государственного технического университета (РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1),