УДК 656.135:62-97

© Н. Т. Сандан, аспирант

© С. Е. Максимов, д-р техн. наук, профессор

© В. Н. Горшков, д-р техн. наук, профессор
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет)

© П. В. Дружинин, д-р техн. наук, профессор
(ВА МТО им. ген. армии А. В. Хрулева)

E-mail: sandan.nelli@yandex.ru,

repinmaksimovse@gmail.com

DOI 10.23968/1999-5571-2017-14-3-207-210

© N. T. Sandan, post-graduate student

© S. E. Maksimov, Dr. Sci. Tech., Professor

© V. N. Gorshkov, Dr. Sci. Tech., Professor
(Saint Petersburg State University of Architecture
and Civil Engineering)

© P. V. Druzhinin, Dr. Sci. Tech., Professor
(MA LT named after General A. V. Khrulev)

E-mail: repinmaksimovse@gmail.com,

repinmaksimovse@gmail.com

ВОЗРАСТ НАЗЕМНЫХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН КАК ФАКТОР ВЛИЯНИЯ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТКАЗОВ

THE AGE OF GROUND TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES AS AN IMPACT FACTOR EFFECTING THE FAILURE RATE

Рассмотрено влияние возраста наземных транспортно-технологических машин на интенсивность их отказов. Приведено распределение наработки на отказ бульдозера. Описаны законы распределения случайных величин, используемые для расчета отказов.

Ключевые слова: транспортно-технологические машины, эксплуатация, интенсивность отказов, бульдозер, возраст машин.

The article examines the influence of the age of ground transport-technological machines on the failure rate. The distribution of the operating time for the failure of the bulldozer is considered. The laws of distribution of random variables used for failure rate calculation are described.

Keywords: transport-technological machines, operation, failure rate, bulldozer, machine age.

Любая функционирующая система должна поддерживаться в работоспособном состоянии. Для технических систем, подобных транспортно-технологическим машинам, это условие выполняется путем профилактических мероприятий в виде регулировок, смены смазки и непосредственно ремонта, осуществляемого путем восстановления изношенных деталей или их замены на новые [1–3].

Рассматривая наземную транспортно-технологическую машину (НТТМ) как объект ремонтных воздействий, не следует забывать, что она является частью общего парка оборудования.

Надежность НТТМ существенно зависит от срока их эксплуатации. Анализ исходных данных, представленных в табл. 1 и на рисунке, позволяет высказать рабочую гипотезу: в течение всего времени эксплуатации бульдозера можно выделить два периода. В первом периоде (с первого по пятый год службы) наработка на отказ

существенно уменьшается, что позволяет выдвинуть предположение об экспоненциальном характере изменения потока отказов [4–7].

Изменение интенсивности отказов в последний период эксплуатации машин дает возможность предположить равномерный характер распределения наработки на отказ. Только в первые 5–6 лет имеется существенная разница между машинами с разными сроками службы с точки зрения наработки на отказ. Бульдозеры ремонтируются обезличенным методом, и с увеличением срока службы все труднее говорить о «возрасте» машины в целом, так как отдельные ее части имеют разный возраст. Происходит «осреднение» возраста машины, поэтому и наработка на отказ приблизительно одинакова [7, 8].

Случайная величина x распределена по экспоненциальному закону, если ее плотность вероятности имеет вид:

$$f(x) = \lambda \cdot e^{-\lambda x}; \lambda \geq 0. \quad (1)$$

Таблица 1

Исходные данные для определения характера изменения наработки на отказ бульдозера

Срок службы (лет)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Годовая наработка машин (машино-ч)	3707	3169	2698	2984	3606	3219	3086	3329	2953	2885	2954	3250	2542	2725	2727	3010
Средняя наработка на отказ по парку (машино-ч)	16 628	5070	5396	3287	2404	5365	5143	2421	2953	5189	2560	3748	1653	3562	2727	1508

Функция распределения выражена формулой

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda x}. \quad (2)$$

Для случайной величины, распределенной по экспоненте, выполняется соотношение

$$\lambda = \frac{1}{\bar{x}}, \quad (3)$$

где $\bar{x}$ — выборочное среднее значение.

Соотношением (3) и воспользуемся для оценки параметра $\lambda = 0,656$.

Тогда плотность вероятности имеет вид:

$$f(x) = 0,656 \cdot e^{-0,656x}, \quad (4)$$

а функция распределения $F(x) = 1 - e^{-0,656x}$.

Имея функцию распределения, можно определить вероятность попадания случайной величины x в интервал (x_i, x_{i+1}) , обозначив ее p_i , а также теоретическую частоту попадания случайной величины в выделенный интервал (n'_i).

Вероятность попадания случайной величины x в интервал (x_i, x_{i+1}) определяется по формуле

$$p_i = e^{-2x_i} - e^{-2x_{i+1}}. \quad (5)$$

Теоретическая частота попадания случайной величины в данный интервал может быть найдена из соотношения

$$n'_i = n \cdot p_i, \quad (6)$$

где n — число элементов в выборке.

Приведенные расчеты подтверждают высказанную рабочую гипотезу [9]:

1) в первые 5 лет службы бульдозера наработка на отказ подчинена экспоненциальному закону распределения;

2) в последующий период (с 6-го по 15-й год эксплуатации) наработка на отказ распределена равномерно.

Поток отказов техники может быть описан законами распределения случайных величин. При этом оказалось, что в отдельные периоды службы машин этот поток может описываться различными законами. Так, например, отказы бульдозерного парка наиболее достоверно описываются в первые 5 лет эксплуатации экспоненциальным законом, а в дальнейшем — равномерным распределением.

Вместе с тем показатели надежности отражают условия эксплуатации машин.

Найденные закономерности дают возможность прогнозировать уровень появления отказов техники, зависящий от «возраста» машин и условий эксплуатации.

В целом подтверждается тенденция к более частому техническому обслуживанию при старении машины (табл. 2) [10, 11].

Результаты изучения статистических материалов и расчета бульдозеров показывают, что основными факторами, влияющими на удельные затраты, являются изменение природно-

Распределение наработки на отказ бульдозера:

1 — эмпирические данные; 2 — теоретические данные

Таблица 2

Сводная таблица расчета периодичности ТО бульдозеров

Год службы	Значения, рассчитанные по уравнению регрессии			Фактические удельные затраты, руб./машино-ч
	Периодичность $x_{пр}$, машино-ч	Наработка на отказ $x_{из}$, машино-ч	Удельные приведенные затраты, руб./машино-ч	
1	306	4666	0,37	0,48
2	309	2727	0,47	0,58
3	282	3415	0,42	0,59
4	276	2528	0,61	0,84
5	244	2212	0,70	0,88
6	263	2500	0,75	0,82
7–8	201	2039	0,95	0,86
9 и старше	182	1950	1,12	0,97

климатических условий, «возраст» машины, периодичность проведения ТО и уровень аварийных отказов.

С увеличением возраста до определенного момента удельные приведенные затраты также увеличиваются, а тенденция к увеличению затрат прослеживается слабо. Для бульдозеров этот момент наступает где-то в районе 9-летнего возраста.

Как видно из табл. 2, периодичность проведения ТО для каждого года эксплуатации машин может быть различной, причем отклонения от ныне нормативно принятой достигают 25 %. Изменяется и наиболее вероятный уровень неплановых ремонтов [12].

Рассматривая изменение фактических и расчетных удельных затрат, следует отметить примерно одинаковые темпы их прироста по бульдозерам. Отсюда можно сделать вывод, что по бульдозерному парку внедрение рациональной периодичности дает наибольший эффект для более «старых» машин.

Библиографический список

1. Евтюков С. А., Чооду О. А. Влияние условий местности на техническую эксплуатацию и формирование парков машин // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 3 (50). С. 239–243.
2. Евтюков С. А., Сандан Н. Т. Особенности эксплуатации парков машин в условиях низких температур // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 2 (55). С. 186–191.

3. Сандан Н. Т., Евтюков С. А., Чооду О. А., Монгуш С. Ч. Эффективность использования наземных транспортно-технологических машин в климатических условиях Республики Тыва // Успехи современной науки. 2017. Т. 6. № 3. С. 153–155.

4. Сандан Н. Т., Евтюков С. А., Шавыраа Ч. Д. Влияние сезонных изменений на надежность наземных транспортно-технологических машин // Успехи современной науки. 2017. Т. 4. № 4. С. 116–120.

5. Баловнев В. И. Определение параметров и выбор землеройных машин: учеб. пособие. М.; Омск: ЗАО «Полиграф», 2010. 224 с.

6. Волков С. А., Евтюков С. А. Строительные машины: учебник для строит. вузов. Изд. перераб. и доп. СПб.: ООО «Издательство ДНК», 2012. 597 с.

7. Головин С. Ф., Кошкин В. М., Рубайлов А. В. и др. Эксплуатация и техническое обслуживание дорожных машин, автомобилей и тракторов: учебник для сред. проф. образования / под ред. Е. С. Локшина. М.: Мастерство, 2002. 464 с.

8. Евтюков С. А., Евтюков С. С., Чудаков А. В., Куракина Е. В. Наземные транспортно-технологические машины / под общ. ред. С. А. Евтюкова. СПб.: ООО «Издательский дом “Петрополис”», 2016. 504 с.

9. Зорин В. А. Основы надежности машин: учеб. пособие для студентов вузов. Балашиха: Военно-техн. ун-т, 2004. 134 с.

10. Кузьмин Н. А. Техническая эксплуатация автомобилей: закономерности изменения работоспособности: учеб. пособие. Н. Новгород: НГТУ, 2002. 72 с.

11. Ким Б. Г. Обеспечение работоспособности и исправности парков строительной техники: учеб. пособие. Владимир: ВладГУ, 2000. 147 с.

12. Максименко А. Н. Эксплуатация строительных и дорожных машин: учеб. пособие. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 400 с.

References

1. Evtyukov S. A., Choodu O. A. *Vliyanie usloviy mestnosti na tekhnicheskuyu ehkspluatatsiyu i formirovanie parkov mashin* [Influence of the terrain condition on the technical operation and vehicle fleet formation]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2015, no. 3 (50), pp. 239–243.
2. Evtyukov S. A., Sandan N. T. *Osobennosti ehkspluatatsii parkov mashin v usloviyakh nizkikh temperature* [Features of vehicle fleet operation in the conditions of low temperatures]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2016, no. 2 (55), pp. 186–191.
3. Sandan N. T., Evtyukov S. A., Choodu O. A., Mongush S. Ch. *Ehffektivnost' ispol'zovaniya nazemnykh transportno-tekhnologicheskikh mashin v klimaticheskikh usloviyakh Respubliki Tyva* [Efficiency of using ground transport-technological machines in the climatic conditions of the Republic of Tuva]. *Uspekhi sovremennoy nauki – Advances in modern science*, 2017, vol. 6, no. 3, pp. 153–155.
4. Sandan N. T., Evtyukov S. A., Shavyraa Ch. D. *Vliyanie sezonnykh izmeneniy na nadezhnost' nazemnykh transportno-tekhnologicheskikh mashin* [Seasonal changes effect on the reliability of land transport-technological machines]. *Uspekhi sovremennoy nauki – Advances in modern science*, 2017, vol. 4, no. 3, pp. 116–120.
5. Balovnev V. I. *Opredelenie parametrov i vybor zemleroynykh mashin. Ucheb. posobie* [Determination of parameters and selection of earth-digging machines. Textbook]. Moscow, Omsk, Poligraf Publ., 2010, 224 p.
6. Volkov S. A., Evtyukov S. A. *Stroitel'nye mashiny: uchebnik dlya stroit. vuzov* [Construction machines. Textbook for construction higher schools]. Ed. revised and added. St. Petersburg, DNK Publ., 2012, 597 p.
7. Golovin S. F., et al. *Ehkspluatatsiya i tekhnicheskoe obsluzhivanie dorozhnykh mashin, avtomobiley i traktorov. Uchebnik dlya sred. prof. obrazovaniya* [Operation and maintenance of road vehicles, cars and tractors. Textbook for high school education]. Ed. by Lokshin E. S. Moscow, Masterstvo Publ., 2002, 464 p.
8. Evtyukov S. A., Evtyukov S. S., Chudakov A. V., Kurakina E. V. *Nazemnye transportno-tekhnologicheskie mashiny* [Ground transport-technological machines]. Ed. by Evtyukov S. A. St. Petersburg, Petropolis Publ., 2016, 504 p.
9. Zorin V. A. *Osnovy nadezhnosti mashin. Ucheb. posobie dlya studentov vuzov* [Fundamentals of machine reliability. Textbook for university students]. Balashikha, Military-Technical University Publ., 2004, 134 p.
10. Kuz'min N. A. *Tekhnicheskaya ehkspluatatsiya avtomobiley: zakonomernosti izmeneniya rabotosposobnosti. Ucheb. posobie* [Technical operation of vehicles. Changing patterns of working efficiency. Teaching manual]. N. Novgorod, NSTU Publ., 2002, 72 p.
11. Kim B. G. *Obespechenie rabotosposobnosti i ispravnosti parkov stroitel'noy tekhniki. Ucheb. posobie* [Ensuring performance and serviceability of construction machines fleet. Teaching manual]. Vladimir, VladSU, 2000, 147 p.
12. Maksimenko A. N. *Ehkspluatatsiya stroitel'nykh i dorozhnykh mashin. Ucheb. posobie* [Operation of building and road machines. Teaching manual]. St. Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2006, 400 p.