

УДК (UDC) 625.08

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ДОРОЖНЫХ МАШИН, РАБОТАЮЩИХ В  
ТРОПИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХASSESSMENT OF RELIABILITY OF THE ROAD CONSTRUCTION MACHINES  
WORKING IN TROPICAL CONDITIONSЗорин В.А., Ле Чонг Туан  
Zorin V.A., Le Trong TuanМосковский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ) (Москва, Россия)  
Moscow automobile and road state technical university (MADI) (Moscow, Russian Federation)

**Аннотация.** В статье рассматриваются результаты исследования влияния условий эксплуатации на надёжность и эффективность использования дорожно-строительных машин с учётом климатических факторов. Учёт влияния условий эксплуатации на надёжность и эффективность использования позволит обосновать выбор моделей дорожных машин при формировании парков средств механизации строительства, более точно планировать сроки проведения строительных работ, составить обоснованный график технического обслуживания и ремонта машин в период проведения строительных работ, рассчитать потребность парка в запасных частях и эксплуатационных материалах.

**Ключевые слова:** надёжность, безотказность, дорожно-строительная машина, параметры потока отказов, техническая жёсткость климата.

**Дата принятия к публикации:** 25.02.2000  
**Дата публикации:** 25.03.2019

**Сведения об авторах:**

**Зорин Владимир Александрович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», e-mail: madi-dm@list.ru.

**Ле Чонг Туан** – аспирант ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)».

**Abstract.** In article results of a research of influence of service conditions on reliability and efficiency of use of road construction machines taking into account climatic factors are considered. Taking note of service conditions on reliability and efficiency of use will allow to prove the choice of models of road construction machines when forming parks of means of mechanization of construction, more precisely to plan terms of carrying out construction works, to make the reasonable schedule of maintenance and repair of machines during construction works, to calculate need of the park for spare parts and operational materials.

**Keywords:** reliability, non-failure operation, road-construction machines, parameters of a stream of refusals, technical rigidity of climate.

**Date of acceptance for publication:** 25.02.2000  
**Date of publication:** 25.03.2019

**Authors' information:**

**Vladimir A. Zorin** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department at Moscow automobile and road state technical university (MADI), e-mail: madi-dm@list.ru..

**Le Trong Tuan** – graduate student at Moscow automobile and road state technical university (MADI).

**1. Введение**

К числу важнейших факторов, определяющих надёжность и эффективность использования дорожных машин в условиях эксплуатации относится совокупность климатических характеристик, оказывающих влияние не только на работоспособность отдельных деталей, но и на техническое со-

стояние машин в целом, а также на работоспособность машинистов-операторов. Поэтому природно-климатические условия эксплуатации дорожных машин при оценке их надёжности, особенно в жарких и влажных тропических климатических условиях, характерных для Республики Вьетнам, следует рассматривать в совокупности с системой «человек - машина – окружающая среда».

## 2. Методы

В настоящее время ассортимент дорожных машин во Вьетнаме очень разнообразен по типам и происхождению, но дорожные машины из Российской Федерации по-прежнему составляют значительную долю. Для сравнения выберем условия эксплуатации дорожной машины в умеренных климатических условиях (г. Москва и Московская область) в качестве основы для оценки надежности дорожных машин, работающих в тропиках.

Важными факторами климатических условий являются:

- влажность воздуха;
- температура воздуха;
- количество осадков;
- суммарная солнечная радиация в день.

В результате неблагоприятного воздействия климатических факторов свойства конструктивных и эксплуатационных материалов ухудшаются. Изменение свойств используемых материалов и прямое воздействие климатических условий приводят к снижению надежности дорожных машин и эффективности их использования в народном хозяйстве.

Оценка интенсивности воздействия комплекса климатических факторов на надежность дорожных машин может быть получена с помощью показателя технической жесткости климата [0]. Между показателями безотказности и факторами, характеризующими климатические условия эксплуатации машин, существуют стохастические связи [0]. Численные характеристики такой связи между параметрами потока отказов объекта  $\omega(S_k)$  в зависимости от особенностей климатических условий, устанавливаются при помощи показателя технической жесткости климата  $S_k$  по соотношению:

$$\omega(S_k) = b_0 + b_1 S_k + b_2 S_k^2,$$

где  $b_0, b_1, b_2$  - коэффициенты регрессии, определяемые по информации об эксплуатации объектов, работающих в различных климатических условиях.

Показатель технической жесткости климата в баллах устанавливается на основе ме-

тода ранговой корреляции с помощью эмпирических зависимостей.

## 3. Результаты

Техническую жесткость климата в тропических (Вьетнам)  $S_{kt}$  и умеренных (Москва)  $S_{ky}$  условиях эксплуатации можно рассчитать по следующим формулам:

$$S_{kt} = (0,55t_{\max cp} + 0,2t_{\max abc})(1 + 0,01Q_T) \times \\ \times (1 + 0,0075\sigma_T)(1 - 0,03v_T)(1 + 0,026\varphi_T) \times \\ \times (1 + 0,009n_{gTT})(1 + 0,012\tau_T)$$

и

$$S_{ky} = (0,75t_{\min cp} + 0,25t_{\min abc})(1 + 0,015\sigma_x) \times \\ \times (1 + 0,07v_x)(1 + 0,26\varphi_x)(1 + 0,014n_{TM}) \times \\ \times (1 + 0,022\tau_x),$$

где  $t_{\max cp}, t_{\max abc}, \sigma_T$  - соответственно среднее значение максимумов температуры воздуха, среднее значение абсолютного максимума температуры воздуха и средняя непериодическая амплитуда суточных колебаний температуры воздуха за три наиболее теплых месяца, °C;  $Q_T, v_T, n_{gTT}$  - соответственно среднее значение месячной суммы солнечной радиации, средняя скорость ветра и среднее число дней с дождями за три наиболее теплых месяца;  $\varphi_T, \varphi_x$  - среднее значение относительной влажности воздуха за три наиболее теплых месяца и за три наиболее холодных месяца, в долях единицы;  $\tau_T$  - продолжительность действия в месяцах средней температуры воздуха выше нуля;  $t_{\min cp}, t_{\min abc}, \sigma_x$  - соответственно среднее значение средних минимальных температур воздуха, среднее значение абсолютного минимума температуры воздуха и средняя непериодическая амплитуда суточных колебаний температуры воздуха за три наиболее холодных месяца, °C;  $v_x$  - средняя скорость ветра за три наиболее холодных месяца, м/с;  $n_{TM}$  - среднее значение за месяц числа дней с туманом и метелью за три наиболее холодных месяца, дней;  $\tau_x$  - продолжительность действия в месяцах средней температуры воздуха ниже нуля.

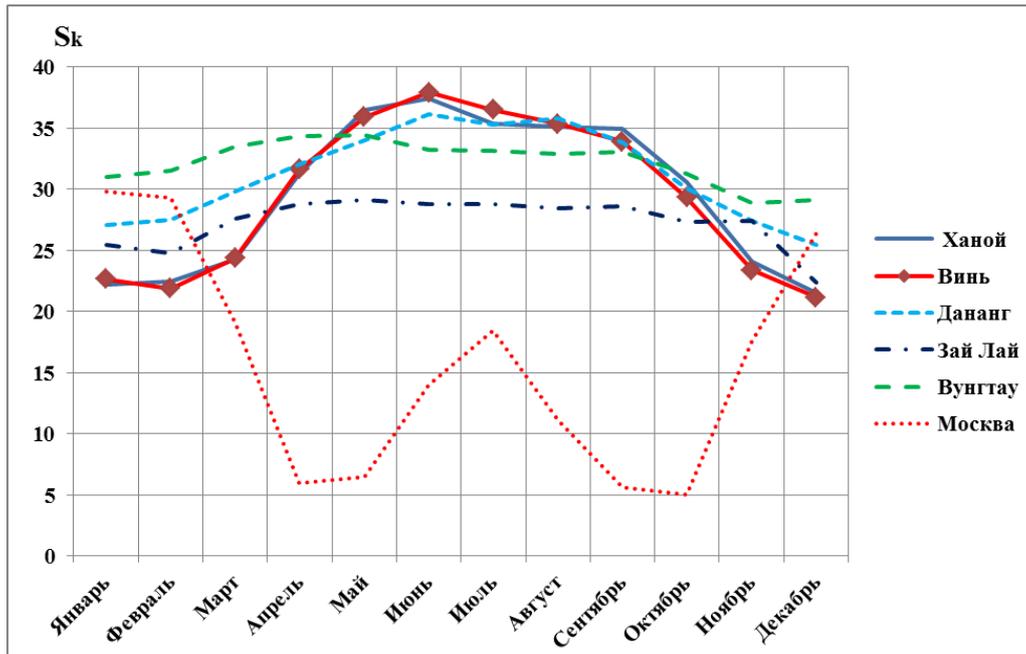


Рис.1. Закономерности изменения технической жесткости климата в климатических зонах Вьетнама и Московской области по месяцам года

На основании статистических значений показателей климатических условий в регионах Вьетнама [0, 0] и в Московской области [0] можно определить закономерности изменения технической жесткости климата в тропических и умеренных климатических условиях по месяцам года, как показано на рис. 1.

Безотказная работа дорожных машин за период реализации их ресурса обеспечивается надежностью каждого агрегата, механизма, узла и деталей [7,8]. Достичь высокого уровня безотказности машин без учета показателей климатических условий, вызывающих снижение работоспособности конструктивных элементов невозможно [0, 0, 6]. Для оценки надежности используется параметр потока отказов  $\omega(t)$ , характеризующий среднее число отказов ремонтируемого объекта в единицу времени за рассматриваемый период работы машин [0]:

$$\omega(t) = \frac{\sum_{i=1}^N m_i(t + \Delta t) - \sum_{i=1}^N m_i(t)}{N\Delta t}, \quad (3)$$

где  $m_i(t)$  - число отказов  $i$ -го объекта за наработку  $t$ ;  $N$  - число испытываемых объектов;  $\Delta t$  - достаточно малый интервал времени.

Анализируя статистические значения параметров отказов экскаваторов SOLAR 140W, эксплуатируемых в регионах Вьетнама и в Москве, были получены результаты, приведенные в табл. 1.

Таблица 1  
Результаты анализа статистических данных [9-11]

Город	Параметр		
	$S_k$	$\omega \cdot 10^{-3}$ , мото-час	$K_S$
Ханой	36,05	9,18	1,57
Винь	36,58	9,44	1,61
Дананг	35,73	9,03	1,54
Зай Лай	28,92	6,02	1,03
Вунгтау	33,10	7,80	1,33
Москва	28,48	5,85	1,00

Примечание:  $K_S$  - соответствующие значения относительного изменения величины параметров потока отказов экскаваторов, работавших в тропических и умеренных условиях эксплуатации.

Из таблицы видно, что параметры потока отказов экскаваторов, работавших в тропических климатических условиях (регионах Вьетнама) в 1,03...1,61 раза выше, чем для

аналогичных моделей, работавших в умеренном климате (Москве). Очевидно, что показатели долговечности дорожных машин (ресурс и срок службы) в тропических условиях эксплуатации также будут в 1,5 раз ниже, чем для машин, работающих в регионах с умеренным климатом.

Одновременно, существует корреляционная связь между коэффициентом  $K_S$  и климатической жесткостью  $S_k$  (рис. 2), позволяющая оценить значения показателей безотказности экскаватора при работе в тропических условиях (регионах Вьетнама) по

данным параметра потока отказов  $\omega_0$  по сравнению с умеренным климатом (Московской области) по следующей формуле:

$$\omega(S_k) = \omega_0 K_S. \quad (4)$$

Корреляционный анализ позволяет определить зависимость коэффициента  $K_S$  от значения  $S_k$ , характеризующего климатические условия района Вьетнама по следующей зависимости:

$$K_S = f(S_k) = 0,0017 + 0,0034S_k + 0,0011S_k^2. \quad (5)$$

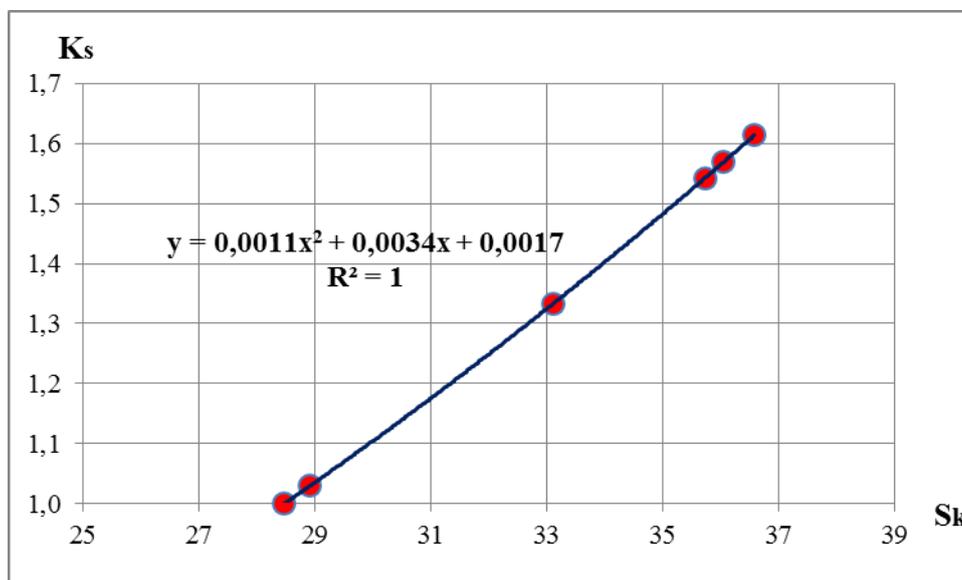


Рис. 2. Зависимость относительного изменения параметра потока отказов от технической жесткости климата

#### 4. Заключение

Таким образом, с помощью системы уравнений (4) и (5) можно решить вопросы оценки и прогнозирования показателей надежности экскаваторов, работающих в тропических условиях (различных регионах Вьетнама), на основе данных о надежности машин, работающих в умеренной климатической зоне.

Кроме того, можно оценить степень влияния тропических климатических усло-

вий на надежность машин и разработать систему мероприятий для обеспечения работоспособности дорожных машин в условиях агрессивного воздействия коррозионной среды. Наиболее эффективным направлением повышения надежности и коррозионной стойкости изделий машиностроения является использование полимерных композиционных материалов при техническом обслуживании и ремонте машин [0, 0].

## Список литературы

1. Зорин, В.А. Надёжность механических систем / В.А. Зорин. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 380 с.
2. Зорин, В.А. Основы работоспособности технических систем / В.А. Зорин. - 2-е изд., перераб. – М.: Изд-во «Академия», 2015. - 208 с.
3. Баурова, Н.И. Применение полимерных композиционных материалов в машиностроении / Н.И. Баурова, В.А. Зорин. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: ИНФРА-М, 2017. - 301 с.
4. Баурова, Н.И. Влияние климатических и эксплуатационных факторов на свойства ремонтных материалов / Н.И. Баурова // Автотранспортное предприятие. – 2009. - №3. - С. 13-15.
5. Кирпичников А.Ю. Обеспечение надёжности технической эксплуатации машинных парков в транспортном строительстве: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.04 / А.Ю. Кирпичников. - Новосибирск, 2013. – 135 с.
6. Кох, П.И. Климат и надёжность машин / П.И. Кох. - М.: Машиностроение, 1981. - 175 с.
7. Sevryugina N.S., Volkov E.A., Litovchenko E.P. // *Modern Applied Science*. – 2014. – Vol. 8. - № 5.
8. Sevryugina N.S. // *MATEC Web of Conferences*. – 2017. – Vol. 117. – 00151.
9. Интенсивность солнечной радиации в регионах Вьетнама [сайт]. – Режим доступа: <https://solarpower.vn/cuong-do-buc-xa-nang-luong-mat-troi-tai-cac-khu-vuc-viet-nam/>.
10. Статистические данные - Главное управление статистики Вьетнама 2017 [сайт]. – Режим доступа: <https://www.gso.gov.vn/default.aspx?tabid=713>.
11. Статистические данные: климатическая Москва [сайт]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Климат\\_Москвы](https://ru.wikipedia.org/wiki/Климат_Москвы)

## References

1. Zorin V.A. Reliability of mechanical systems. Moscow, INFRA-M, 2015. - 380 p. (In Russian)
2. Zorin V.A. Bases of operability of technical systems. Moscow, Akademiya, 2015. 208 p. (In Russian)
3. Baurova N.I., Zorin V.A. Use of polymeric composite materials in mechanical engineering. Moscow, INFRA-M, 2017. 301 p. (In Russian)
4. Baurova N.I. Influence of climatic and operational factors on properties of repair materials. *Avtotransportnoe predpriyatie*, 2009, No. 3, pp. 13-15. (In Russian)
5. Kirpichnikov A.Yu. Ensuring reliability of technical operation of machine parks in transport construction. Diss. Cand. Sci. (Engineering). Novosibirsk, 2013. - 135 p. (In Russian)
6. Koch P.I. Climate and reliability of cars. Moscow, Mashinostroenie, 1981. 175 p. (In Russian)
7. Sevryugina N.S., Volkov E.A., Litovchenko E.P. *Modern Applied Science*, 2014, Vol. 8, No. 5.
8. Sevryugina N.S. *MATEC Web of Conferences*, 2017, 117, 00151.
9. Intensity of solar radiation in regions of Vietnam [site]. Available <https://solarpower.vn/cuong-do-buc-xa-nang-luong-mat-troi-tai-cac-khu-vuc-viet-nam/>
10. Statistical data - Head department of statistics of Vietnam 2017 [site]. Available <https://www.gso.gov.vn/default.aspx?tabid=713>
11. Statistical data: climatic Moscow [site]. Available [https://ru.wikipedia.org/wiki/Климат\\_москвы](https://ru.wikipedia.org/wiki/Климат_москвы) (In Russian)