

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК / FARM MACHINERY AND TECHNOLOGIES

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 620.19:626.8

DOI: 10.26897/2687-1149-2020-2-23-28

МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ РИСКА ОТКАЗОВ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН НА МЕЛИОРАТИВНЫХ РАБОТАХ

СЕВРЮГИНА НАДЕЖДА САВЕЛЬЕВНА, канд. техн. наук, доцент

E-mail: nssevr@yandex.ru

АПАТЕНКО АЛЕКСЕЙ СЕРГЕЕВИЧ, докт. техн. наук, доцент

E-mail: a.apatenko@rgau-msha.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49.

Акцентируется актуальность совершенствования безопасности и работоспособности транспортно-технологических машин, эксплуатируемых на мелиоративных работах. Контроль технического состояния и безопасности эксплуатации транспортно-технологических машин предложено осуществлять путём предсказательного контроля риска отказов, на примере тормозной системы транспортной машины. Предложен мультимодальный подход к оценке риска отказа технических систем машин и механизмов с применением базовых теорий математического моделирования, разложения функций на ряды Тейлора и построения инфограмм на основе базовых положений булевой алгебры. Представлена модель учёта негативных факторов, влияющих на изменение технического состояния элементов машины в период ресурсной эксплуатации. Интенсивности изменения параметра представлены математической моделью в виде разложения функции в ряд Тейлора на примере трёхпараметрической системы. Задача установления риска отказа системы выполнена путём построения булевых функций. Логические связи элементов технической системы предложено записывать с учётом их конъюнкции, инверсивности и дизъюнкции. Расчёт ресурса и предсказательное определение периода возникновения риска отказа представлены параметрической моделью конструкции тормозной системы транспортной машины. Изложено практическое применение мультимодального подхода для оценки риска отказов тормозной системы транспортной машины. Для повышения эффективности эксплуатации транспортно-технологических машин рекомендуется включить в конструкцию машины систему электронного управления тормозами с использованием современных цифровых технологий.

Ключевые слова: эксплуатация, транспортно-технологические машины, риск отказа, безопасность.

Формат цитирования: Севрюгина Н.С., Апатенко А.С. Методика контроля риска отказов при обеспечении технической безопасности эксплуатации транспортно-технологических машин на мелиоративных работах // Агроинженерия. 2020. № 2(96). С. 23-28. DOI: 10.26897/2687-1149-2020-2-23-28.

METHODS FOR MONITORING THE RISK OF FAILURES IN ENSURING THE TECHNICAL SAFETY OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES USED IN RECLAMATION WORKS

*NADEZHDA S. SEVRYUGINA, PhD (Eng), Associate Professor**ALEKSEY S. APATENKO, DSc (Eng), Professor*

Russian Timiryazev State Agrarian University; 127550, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49.

The authors emphasize the urgency of improving the safety and working capacity of transport and technological machines used in reclamation works. They suggest controlling the technical condition and operation safety of transport and technological machines by preventing the risk of failures, as exemplified by the brake system of a transport machine. A multi-modal approach is proposed to assess the risk of failure of technical systems of machines and mechanisms using the basic theories of mathematical modeling, decomposition of functions into Taylor series, and postulation of infograms based on the basic provisions of the Boolean algebra. A model is proposed to consider negative factors that affect the change in the technical condition of the machine elements during the operation. The intensity of the parameter change is represented by a mathematical model in the form of a Taylor series expansion of the function, using the example of a three-parameter system. The task of determining the risk of system failure is performed by constructing Boolean functions. It is proposed to present logical connections of the technical system elements taking into account their conjunction, inversion, and disjunction. The analysis of service life and predictive determination of the probable risk of failure are presented by a parametric model of the braking system design of a transport vehicle. The paper presents practical application of the multi-modal approach to reduce

the risk of failure of the brake system of a transport vehicle. To improve the operation efficiency of transport and technological machines, it is recommended to include an electronic brake control system in the machine design using modern digital technologies.

Key words: operation, transport and technological machines, risk of failure, safety.

For citation: Sevryugina N.S., Apatenko A.S. Methods for monitoring the risk of failures in ensuring the technical safety of transport and technological machines used in reclamation works. *Agricultural Engineering*, 2020; 2 (96): 23-28. (In Rus.). DOI: 10.26897/2687-1149-2020-2-23-28.

Введение. Эксплуатация транспортно-технологических средств при выполнении мелиоративных работ должна быть не только эффективной, но и безопасной. Производители включают в конструкцию машин различные системы безопасности, среди которых одной из важнейших является тормозная система.

Надёжность, а, следовательно, безотказность и безопасность работы тормозной системы обеспечивается совершенством конструкции [1-4], соблюдением требований производителя условиям эксплуатации, качественным выполнением технологических операций поддержания работоспособности и, при возникновении отказа, качественным его устранением.

Тип тормозной системы транспортной машины, определяемый весовыми нагрузками на ходовую часть, обуславливает базовую конструкцию приводов: тормозную систему с гидравлическим и пневматическим приводом рабочих механизмов торможения.

Контроль состояния тормозной системы транспортных машин, эксплуатируемых на мелиоративных работах, позволяет решать комплексные задачи, в частности: обеспечение эксплуатационной и технической безопасности машин; реализацию механизма предсказания риска отказа в элементах конструкции; исключение возникновения опасных ситуаций для человека и окружающей среды [5-7].

Мультимодальный подход предполагает интеграцию науки и практики в сфере разработки методик и прогнозных моделей оценки технического состояния транспортно-технологических машин [8, 9].

Цель исследований: обоснование научного, мультимодального подхода решения задач контроля технического состояния и безопасности эксплуатации транспортно-технологических машин путём предсказательного контроля риска отказов на примере эксплуатации тормозной системы транспортной машины.

Материал и методы. Типовая конструкция пневматического тормозного привода транспортных машин, как правило, имеет компрессорный агрегат, аппаратуру управления и регулирования давлением воздуха, пневматический привод, ресивер для хранения сжатого воздуха и прочие распределительные устройства. Энергоснабжающие устройства обеспечивают рабочее давление в пределах 0,7...1,2 МПа (низкое давление) и 1,4...2,0 МПа (высокое давление) для тормозных систем транспортных машин типоразмерного ряда грузоподъемностью более 3,5 т [3-5].

Правила безопасной эксплуатации предусматривают фиксированные показатели падения давления в системе при неработающем двигателе и ограничения утечек в эксплуатационный период.

Четырёхконтурный предохранительный клапан, расположенный между компрессором и ресивером, обеспечивает безопасность работы при возникновении отказа в системе, продолжая поддерживать рабочее давление в магистрали.

Блок-схема передающего устройства тормозной системы представлена на рисунке 1.

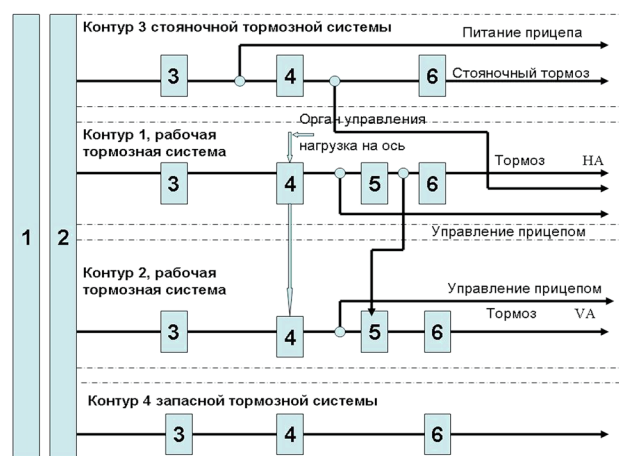


Рис. 1. Блок-схема передающего устройства тормозной системы:

- 1 – подача энергии; 2 – разделитель контуров;
- 3 – накопитель энергии; 4 – оборудование управления;
- 5 – регулятор тормозной силы, чувствительный к нагрузке;
- 6 – тормозная камера или цилиндр;
- VA – передний мост; НА – задний мост

Fig. 1. Block diagram of the transmission device of the brake system:

- 1 – power supply; 2 – a circuit divider; 3 – energy storage;
- 4 – control equipment; 5 – a load-sensitive brake force regulator;
- 6 – a brake chamber or cylinder; VA – the front axle;
- HA – the rear axle

Важным элементом тормозной системы является автоматическое устройство для регулятора тормозной силы (ALB), позволяющее осуществлять метрологический контроль и ограничивать величину тормозной силы до идеального уровня распределения с предотвращением преждевременной блокировки колёс задней оси.

Методика оценки риска отказа систем машин и механизмов, обеспечивающих техническую безопасность машин, базируется на теории мультимодального подхода.

Аналитические исследования ведущих учёных в области оценки изменения параметров технических систем показывают, что типовые математические модели строятся из условия получения расчётных формул с введением в них постоянной величины поправочных коэффициентов [2, 8, 10]. При описании работоспособности системы требуется оценить изменение параметров, происходящих за отдельный период эксплуатации машины, с учётом наложенных предыдущих факторов влияния. Для получения прогностического анализа дополнительно необходимо установить интенсивность изменения параметра, выраженного через коэффициенты корректирования [2, 3, 8, 11].

Данные условия в общем виде представлены математической моделью разложения функции в ряд Тейлора 3-х параметрической модели. Запись логических связей между элементами проведена по следующему правилу: техническая система состоит из различных функционально взаимосвязанных элементов, которые записаны в виде множества F с областью значений зависимого параметра f , в котором каждому элементу множества соответствует определённый элемент X , представляющий собой область значений независимой переменной x : $X = F = \{0,1\}$.

Значение параметров зависимой функции f определяется переменными и логическими связями между ними. Теоретически доказано, что всякая булева функция разлагается на аналогичный ряд Тейлора вида:

$$f(a) + \frac{f'(a)}{1!}(x-a) + \frac{f''(a)}{2!}(x-a)^2 + \dots \quad (1)$$

где $f(a)$ – значение функции $f(x)$ в точке a ; $f'(a)$ – значение первой производной в точке a ; $f''(a)$ – значение второй производной в точке a и т.д.

Принятые условия:

Преобразуем поправочные коэффициенты в безразмерную форму изменения параметра с диапазоном $0 \dots 1$, что характеризует параметрическую функциональную согласованность системы при значении 0 и при отклонении значения параметра до предельного уровня вероятности возникновения риска отказа (значение 1).

Исходная трёхпараметрическая функция имеет вид: $f(A; B; C)$.

Выполним трёхпараметрическое моделирование – разложение функции $f(A, B, C)$ в ряд Тейлора по переменным: – для переменной A

$$f(A; B; C) = f(c_1, B, C) \oplus (A \oplus c_1) \frac{\partial f(A, B, C)}{\partial A}, \quad (2)$$

где c_1 – постоянная величина, с диапазоном изменения от 0 до 1 для элемента системы в заданной функции (изменение параметра A); $A \oplus c_1$ – поправочный коэффициент для оценки изменения параметра функционирования в режиме реального времени.

Изменение параметра A с учётом корректировочного значения постоянной величины оказывает влияние на каждый элемент функции, что математически преобразует систему в функции ψ_i :

$$\psi_1 = f(c_1, B, C) \quad \psi_2 = \frac{\partial f(A, B, C)}{\partial A}. \quad (3)$$

Выражения (3) описывают изменение одного параметра A , что характеризует однопараметрическое моделирование. Перевод модели на двухпараметрической уровень требует разложения функций ψ_i по переменной B :

$$\psi_1 = f(c_1, c_2, C) \oplus (B \oplus c_2) \frac{\partial f(c_1, B, C)}{\partial B};$$

$$\psi_2 = \frac{\partial f(A, c_2, C)}{\partial A} \oplus (B \oplus c_2) \frac{\partial^2 f(A, B, C)}{\partial A \partial B}, \quad (4)$$

где c_2 – постоянная величина, с диапазоном изменения от 0 до 1 для элемента системы в заданной функции (изменение параметра B); $B \oplus c_2$ – поправочный коэффициент для оценки текущего значения параметра в функции $f(A; B; C)$.

Математическая модель оценки влияния на систему изменения двух параметров примет вид:

$$f(A, B, C) = f(c_1, c_2, C) \oplus (B \oplus c_2) \frac{\partial f(c_1, B, C)}{\partial B} \oplus$$

$$\oplus (A \oplus c_1) \left[\frac{\partial f(A, c_2, C)}{\partial A} \oplus (B \oplus c_2) \frac{\partial^2 f(A, B, C)}{\partial A \partial B} \right] =$$

$$= f(c_1, c_2, C) \oplus (B \oplus c_2) \frac{\partial f(c_1, B, C)}{\partial B} \oplus$$

$$\oplus (A \oplus c_1) \frac{\partial f(A, c_2, C)}{\partial A} \oplus (A \oplus c_1)(B \oplus c_2) \frac{\partial^2 f(A, B, C)}{\partial A \partial B}. \quad (5)$$

Последующие исследования предполагают учёт уровня невого перехода состояния системы в отдельные периоды функционирования, в частности влияние изменения двух параметров на систему в целом предполагает введение поправочных коэффициентов:

$$\phi_1 = f(c_1, c_2, C), \quad \phi_2 = \frac{\partial f(c_1, B, C)}{\partial B},$$

$$\phi_3 = \frac{\partial f(A, c_2, C)}{\partial A}, \quad \phi_4 = \frac{\partial^2 f(A, B, C)}{\partial A \partial B}. \quad (6)$$

Математическая модель для трёхпараметрического анализа разложения функций по попеременной C :

$$f(A, B, C) = f(c_1, c_2, c_3) \oplus (C \oplus c_3) \frac{\partial f(c_1, c_2, C)}{\partial C} \oplus$$

$$\oplus (B \oplus c_2) \frac{\partial f(c_1, B, c_3)}{\partial B} \oplus (B \oplus c_2)(C \oplus c_3) \frac{\partial^2 f(c_1, B, C)}{\partial B \partial C} \oplus$$

$$\oplus (A \oplus c_1) \frac{\partial f(A, c_2, c_3)}{\partial A} \oplus (A \oplus c_1)(C \oplus c_3) \frac{\partial^2 f(A, c_2, C)}{\partial A \partial C} \oplus$$

$$\oplus (A \oplus c_1)(B \oplus c_2) \frac{\partial^2 f(A, B, c_3)}{\partial A \partial B} \oplus$$

$$\oplus (A \oplus c_1)(B \oplus c_2)(C \oplus c_3) \frac{\partial^3 f(A, B, C)}{\partial A \partial B \partial C}. \quad (7)$$

где c_3 – постоянная величина с диапазоном изменения от 0 до 1 для элемента системы в заданной функции (изменение параметра C).

Дальнейшая работа над моделью требует анализа инверсивности полученных коэффициентов.

Стабильность функционирования системы с трёхпараметрическим диагностированием характеризуется отсутствием инверсии поправочных коэффициентов: $c_1 = c_2 = c_3 = 0$.

Достижение параметра критических отклонений в модели представлены видом:

$$f = f(A_i = c) \oplus (A_i \oplus c) \frac{\partial f}{\partial A_i}, \text{ при } c \in \{0,1\}, \quad (8)$$

если $c = 0$, то $f = f(A_i = 0) \oplus (A_i) \frac{\partial f}{\partial A_i}$;

а при $c = 1$ $f = f(A_i = 1) \oplus (\overline{A_i}) \frac{\partial f}{\partial A_i}$.

Наряду с аналитическим построением мультимодальная модель может быть представлена в форме таблицы соответствия (истинности). Решая задачу установления риска отказа системы построением булевых функций, требуется выполнить запись логических связей элементов технической системы с учётом их конъюнкции, инверсивности и дизъюнкции [12].

Значение параметров зависимой функции f определяется переменными и логическими связями между ними.

Принятые условия:

1. Каждая функция состоит из одной конъюнкции аргументов, инверсивных или неинверсивных, при этом распределение инверсий находится в строгом соответствии

с распределением нулей в двоичной записи того набора, на котором функция принимает единичное значение. В рассматриваемой трёхпараметрической функции устанавливается зависимость от аргументов A, B, C .

2. Параметр, записанный в векторном виде, является инверсией базового значения, т.е., параметру A соответствует инверсия в виде \bar{A} , соответственно в расчётах при $A = 1$ берётся инверсное значение «0».

Используя правила построения таблиц соответствия и логику задания критериального значения, получены значения зависимого параметра f , определяющего вариативность решения задачи (табл. 1).

Таблица 1

Вариативность логики задания критериального значения для получения расчётных значений параметра f

Table 1

Variability of the criteria value logic to get the calculated values of the parameter f

№	Значение переменной Value of the variable			Расчёт функции по формуле Function calculation by the formula $f = A \cdot B + \bar{A} \cdot C + \bar{A} \cdot B \cdot \bar{C}$
	A	B	C	
0	0	0	0	$f = 0 \cdot \bar{0} + \bar{0} \cdot 0 + \bar{0} \cdot 0 \cdot \bar{0} = 0$
1	0	0	1	$f = 0 \cdot \bar{0} + \bar{0} \cdot 1 + \bar{0} \cdot 0 \cdot \bar{1} = 1$
2	0	1	0	$f = 0 \cdot \bar{1} + \bar{0} \cdot 0 + \bar{0} \cdot 1 \cdot \bar{0} = 1$
3	0	1	1	$f = 0 \cdot \bar{1} + \bar{0} \cdot 1 + \bar{0} \cdot 1 \cdot \bar{1} = 1$
4	1	0	0	$f = 1 \cdot \bar{0} + \bar{1} \cdot 0 + \bar{1} \cdot 0 \cdot \bar{0} = 1$
5	1	0	1	$f = 1 \cdot \bar{0} + \bar{1} \cdot 1 + \bar{1} \cdot 0 \cdot \bar{1} = 1$
6	1	1	0	$f = 1 \cdot \bar{1} + \bar{1} \cdot 0 + \bar{1} \cdot 1 \cdot \bar{0} = 0$
7	1	1	1	$f = 1 \cdot \bar{1} + \bar{1} \cdot 1 + \bar{1} \cdot 1 \cdot \bar{1} = 0$

Практическое применение мультимодального подхода. Транспортные машины, выполняющие мелиоративные работы, эксплуатируются в условиях отличных от нормальных по показателям влажности, агрессивности и запылённости среды, пересечения местности, что сказывается на ухудшении технического состояния и безопасности [8, 9, 11].

Для расчёта ресурса и предсказательного определения периода возникновения риска отказа в элементной базе отдельного узла транспортных машин составляется параметрическая модель конструкции. В технологической карте указываются метрологические значения параметров функционирования, допустимые отклонения и условия изменения, т.е. износные характеристики [1, 5].

Метрологический контроль тормозной системы для колёсных тормозов барабанного типа обеспечивается через тормозной коэффициент $C^* = C_{\text{ведущ.кол}} + C_{\text{ведом.кол}}$, который является оценочным при оценке величин отношения тормозной силы к силе воздействия. Следует отметить, что на эту величину влияют передаточные отношения в тормозе, коэффициент трения, который зависит от скорости, тормозного давления и температуры (рис. 2).

В симплексном барабанном тормозе базовой величиной для определения тормозного коэффициента является коэффициент трения, который принимается $\mu = 0,38$, а отношение тормозной силы к приводной силе принимается ~ 2 .

С метрологической точки зрения данная конструкция имеет недостаток: значительная разница тормозного усилия между двумя тормозными колодками вызывает

повышенный износ накладок ведущей колодки $C_{\text{ведущ. кол}}$ по сравнению с замыкающей колодкой $C_{\text{ведом.кол}}$ тормоза.

В настоящее время преимущественной конструкцией являются дисковые тормоза, которые предназначены для транспортных машин средней и большой грузоподъёмности. Тормозные диски менее чувствительны к повреждениям, чем барабанные тормоза. При базовой величине $\mu = 0,38$ тормозной коэффициент $C^* = 0,76$.

Оптимизировать процессы сил тяги и торможения транспортных машин позволяет система электронного управления тормозами (ELB). Для обеспечения связи между системой ELB, электронным блоком управления тормозной системы (ECU) и клапанами модулятора давления ELB объединена с контроллером местной связи (CAN). Электронный блок управления содержит обширную программу определения неисправностей в пределах действия всей системы. Все колёса, оснащённые ELB, затормаживаются синхронно. Сбалансированы температурные напряжения и износ в тормозном механизме, оптимизировано сцепление между шинами и дорожным покрытием.

При обнаружении отклонений параметров от метрологически заложенных производителем и определении отказа в работе, при помощи блока отключается неисправная часть системы, генерируется код с подробной регистрацией неисправности. Этот код может быть передан в ремонтные мастерские. Уникальность ECU заключается в автоматической адаптации к различным моделям транспортных машин [12-14].

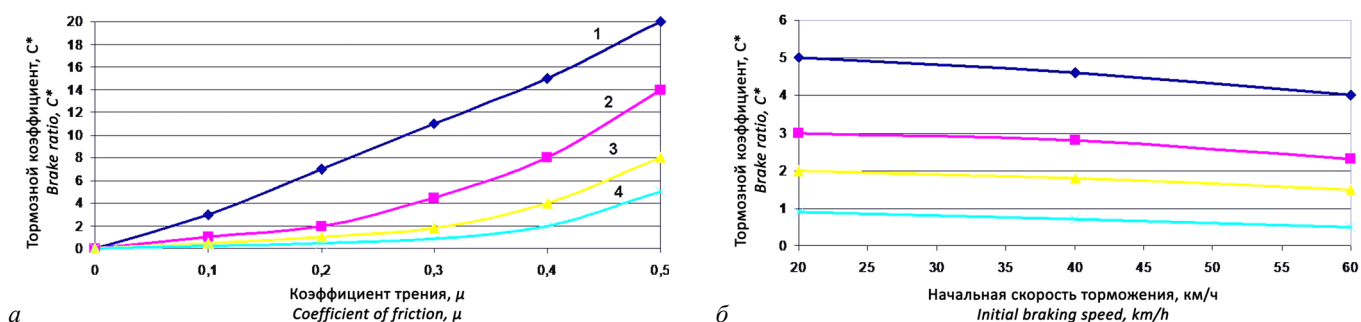


Рис. 2. Трёхпараметрический анализ изменения тормозного коэффициента C^* как функции коэффициента трения (а) и начальной скорости торможения (б):

1 – барабанный тормоз с самоусилением; 2 – дуплексный барабанный тормоз с плавающими колодками; 3 – симплексный барабанный тормоз; 4 – дисковый тормоз

Fig. 2. Three-parameter analysis of the change in the brake coefficient C^* as a function of the coefficient of friction (a) and the initial braking speed (b):

1 – a self-reinforcing drum brake; 2 – a duplex drum brake with floating pads; 3 – a simplex drum brake; 4 – a disc brake

Выводы

Большинство отказов тормозной системы транспортных машин при выполнении мелиоративных работ связано с эксплуатацией в условиях, отличных от нормальных по показателям влажности, агрессивности и запылённости среды, пересечённой местности.

Теория мультимодального подхода может быть применена для оценки риска отказа систем машин

Библиографический список

1. Апатенко А.С. Анализ процессов и причины снижения интенсивности эксплуатации технологических машин // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2013. № 3 (59). С. 49-51.
2. Баурова Н.И., Зорин В.А., Приходько В.М. Информационная модель состояния технической системы // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2017. № 6. С. 11-16.
3. Эффективность и потенциалы строительных машин / Под ред. М.В. Бунина. Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1987. 160 с.
4. Гриб В.В., Зорин В.А., Жуков Р.В. Многокритериальная оценка технического состояния механизмов и машин (динамика и изнашивание) // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2016. № 6. С. 19-22.
5. Апатенко А.С. Влияние срока службы машин на их наработку при мелиоративных работах // Сборник научных докладов XVII Международной научно-практической конференции «Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства». Тамбов, 2013. С. 89-90.
6. Чулков В.О. Безопасность жизнедеятельности. Организационно-антропотехническая надежность функциональных систем мобильной среды строительного производства / В.О. Чулков, М.И. Гриф, Р.Р. Казарян, И.Я. Мастуров, П.Н. Смирнов. М.: Изд-во АСВ. 2003. 176 с.
7. Богомолов А.А. Структура и семантика вариационной оптимизации транспортных машин и технологических процессов в общей теории систем: монография

и механизмов, обеспечивающих техническую безопасность машин.

Представленная трёхпараметрическая математическая модель позволяет рассчитать ресурс и предсказать период возникновения риска отказа технических систем.

Для повышения эффективности эксплуатации транспортно-технологических машин рекомендуется включить в конструкцию машины систему электронного управления тормозами с использованием современных цифровых технологий.

References

1. Apatenko A.S. Analiz protsessov i prichiny snizheniya intensivnosti ekspluatatsii tekhnologicheskikh mashin [Analysis of processes and reasons for reducing the operation intensity of technological machines]. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*, 2013; 3 (59): 49-51. (In Rus.)
2. Baurova N.I., Zorin V.A., Prikhod'ko V.M. Informatsionnaya model' sostoyaniya tekhnicheskoy sistemy [Informational model of the state of a technical system]. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik*, 2017; 6: 11-16.
3. Effektivnost' i potentsialy stroitel'nykh mashin [Efficiency and prospects of using construction machines] / Ed. by M.V. Bunin. Khar'kov: Vishcha shkola. Izd-vo pri Khar'k. un-te, 1987: 160. (In Rus.)
4. Grib V.V., Zorin V.A., Zhukov R.V. Mnogokriterial'naya otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya mekhanizmov i mashin (dinamika i iznashivaniye) [Multicriteria assessment of the technical condition of mechanisms and machines (dynamics and wear)]. *Remont. Vosstanovleniye. Modernizatsiya*, 2016; 6: 19-22. (In Rus.)
5. Apatenko A.S. Vliyaniye sroka sluzhby mashin na ikh narabotku pri meliorativnykh rabotakh [Influence of the service life of machines on their operating time during land reclamation]. *Sbornik nauchnykh dokladov XVII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Povysheniye effektivnosti ispol'zovaniya resursov pri proizvodstve sel'skokhozyaistvennoy produktsii – novyye tekhnologii i tekhnika novogo pokoleniya dlya rasteniyevodstva i zhivotnovodstva"*. Tambov, 2013: 89-90. (In Rus.)
6. Chulkov V.O., Grif M.I., Ghazaryan R.R., Masturov I.Ya., Smirnov P.N. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. Organizatsionno-antropotekhnicheskaya nadezhnost' funktsional'nykh sistem

/ А.А. Богомолов, М.В. Бунин, Н.С. Севрюгина. Белгород: Изд-во БГТУ, 2009. 83 с.

8. Веригин Ю.А. Толстеньев, С.В. Синергетические основы процессов и технологий. Барнаул: АлтГТУ, 2007. 160 с.

9. Дуничкин И.В., Ковалева А.С., Ташлыкова Ю.А. Подходы к оценке энергопотенциала возобновляемых источников энергии на территории России // Силовое и энергетическое оборудование. Автономные системы. 2018. Т. 1. Вып. 1. С. 15-27.

10. Кириченко И.Г. Модульная концепция проектирования технологических машин для строительных процессов. Харьков: Изд-во ХНАДУ. 119 с.

11. Горопашная А.В. Оценка важности аргументов немонотонных логических функций при логико-вероятностном анализе безопасности сложных технических систем // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер.10. 2009. Вып.1. С. 19-32.

12. Апатенко А.С., Севрюгина Н.С. Цифровые системы и точность управления работоспособностью технологических машин в природообустройстве // Техника и оборудование для села. 2019. № 7 (285). С. 42-44.

13. Sevryugina Nadezhda. Modified Method for Calculation of Vehicles Residual Lifetime with Regard of the Impact Factors Variability. International scientific conference energy management of municipal transportation facilities and transport, EMMFT 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing No 692, 273-281. DOI: 10.1007/978-3-319-70987-1_29.

14. Sevryugina Nadezhda. Technique of performing construction works by machines with hybrid: manual and remote control RSP 2017 – XXVI Theoretical foundation of civil engineering. MATEC Web of Conferences. Vol. 117. UNSP00151. (<https://doi.org/10.1051/mateconf/201711700151>).

mobil'noy sredy stroitel'nogo proizvodstva [Life safety. Organizational and anthropotechnical reliability of mobile functional systems used in the construction industry] / V.O. Chulkov, M.I. Grif, R.R. Kazaryan I.Ya. Masturov, P.N. Smirnov. M.: Izd-vo ASV. 2003: 176. (In Rus.)

7. Bogomolov A.A., Bunin M.V., Sevryugin N.S. Struktura i semantika variatsionnoy optimizatsii transportnykh mashin i tekhnologicheskikh protsessov v obshchey teorii sistem: monografiya [Structure and semantics of variational optimization of transport vehicles and technological processes in the general theory of systems: Monograph] / A.A. Bogomolov, M.V. Bunin, N.S. Sevryugina. Belgorod: Izd-vo BGTU, 2009: 83. (In Rus.)

8. Verigin Yu.A. Tolstenev, S.V. Sinergeticheskiye osnovy protsessov i tekhnologiy [Synergetic fundamentals of processes and technologies]. Barnaul: AltGTU, 2007: 160. (In Rus.)

9. Dunichkin I.V., Kovaleva A.S., Tashlykova Yu.A. Podkhody k otsenke energopotentsiala vozobnovlyayemykh istochnikov energii na territorii Rossii [Approaches to assessing the energy capacity of renewable energy sources in Russia]. *Silovoye i energeticheskoye oborudovaniye. Avtonomnyye sistemy*, 2018; 1(1): 15-27. (In Rus.)

10. Kirichenko I.G. Modul'naya kontseptsiya proyektirovaniya tekhnologicheskikh mashin dlya stroitel'nykh protsessov [Modular design concept for technological machines for construction processes]. Khar'kov: Izd-vo KHNADU, 2002: 119. (In Rus.)

11. Goropashnaya A.V. Otsenka vazhnosti argumentov nemonotonnykh logicheskikh funktsiy pri logiko-veroyatnostnom analize bezopasnosti slozhnykh tekhnicheskikh sistem [Estimation of the importance of arguments of nonmonotonic logical functions in the logical-probabilistic analysis of the safety of complex technical systems]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta*. Ser. 10, 2009; 1: 19-32. (In Rus.)

12. Apatenko A.S., Sevryugina N.S. Tsifrovyye sistemy i tochnost' upravleniya rabotosposobnost'yu tekhnologicheskikh mashin v prirodobustroytve [Digital systems and the accuracy of controlling the operability of technological machines in environmental engineering]. *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela*, 2019; 7 (285): 42-44. (In Rus.)

13. Sevryugina Nadezhda. Modified method for calculation of vehicles residual lifetime with regard of the impact factors variability. International Scientific Conference Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport, EMMFT 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing No 692, 273-281. DOI: 10.1007 / 978-3-319-70987-1_29.

14. Sevryugina Nadezhda. Technique of performing construction works by machines with hybrid: manual and remote control RSP 2017 – XXVI Theoretical foundation of civil engineering. MATEC Web of Conferences. Vol. 117. UNSP00151. (<https://doi.org/10.1051/mateconf/201711700151>).

Критерии авторства

Севрюгина Н.С., Апатенко А.С. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Севрюгина Н.С., Апатенко А.С. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 11.02.2020

Опубликована 27.04.2020

Contribution

N.S. Sevryugina, A.S. Apatenko performed theoretical studies, and based on the results obtained, generalized the results and wrote a manuscript. N.S. Sevryugina, A.S. Apatenko have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on February 11, 2020

Published 27.04.2020