 © Авторы статьи / Authors of the article

ТРАНСПОРТНЫЕ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ СТРАНЫ, ЕЕ РЕГИОНОВ И ГОРОДОВ, ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА НА ТРАНСПОРТЕ/TRANSPORT AND TRANSPORT-TECHNOLOGICAL SYSTEMS OF THE COUNTRY, ITS REGIONS AND CITIES, ORGANIZATION OF PRODUCTION IN TRANSPORT

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.190 EDN: RUUJJG

УЧЕТ НАГРУЗОЧНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫЕ МАШИНЫ КОНТЕЙНЕРНЫХ ТЕРМИНАЛОВ В АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЕ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА

Научная статья

Озорнин С.П.[1,] *

[1] ORCID : 0009-0003-7971-5585;

[1] Забайкальский государственный университет, Чита, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (s.ozornin2013.s[at]ya.ru)

Предложена: 25.08.2023; Принята: 12.12.2023; Опубликована: 18.12.2023

Аннотация

Актуальность исследований объясняется необходимостью повышения эффективности эксплуатации подъемно-транспортных машин (ПТМ) контейнерных терминалов на основе оптимизации процессов их технического обслуживания и текущего ремонта. Оценивается ситуация, связанная с анализом статистических данных об отказах ПТМ и их влиянием на процессы и расходы, сопряжённые с применением современных ПТМ по их назначению и с их техническим сервисом. Определено повышение эффективности технической эксплуатации ПТМ применением адаптивной системы их технического сервиса. Исследовано влияние накопленной величины уровня нагрузочного воздействия на изменение технического состояния ПТМ в течение времени эксплуатации. При реализации технологического процесса технического сервиса ПТМ необходимо учитывать сложность, напряжённость и жёсткость условий их эксплуатации, которая связана с влиянием режима работы и внешних факторов. Учёт этих факторов может быть выражен накопленным уровнем нагрузочного воздействия.

Ключевые слова: подъемно-транспортные машины контейнерных терминалов, производственная и техническая эксплуатация, единый технологический процесс, условия эксплуатации, коэффициент суммарного нагрузочного воздействия, карта надежности, синергетическая парадигма эксплуатации, технологический процесс технического сервиса.

ACCOUNTING OF LOAD IMPACT ON LIFTING AND TRANSPORTING MACHINES OF CONTAINER TERMINALS IN THE ADAPTIVE SYSTEM OF THEIR TECHNICAL SERVICE

Research article

Ozornin S.P.[1,] *

[1] ORCID : 0009-0003-7971-5585;

[1] Trans-Baikal State University, Chita, Russian Federation

* Corresponding author (s.ozornin2013.s[at]ya.ru)

Suggested: 25.08.2023; Accepted: 12.12.2023; Published: 18.12.2023

Abstract

The relevance of the research is explained by the need to increase the efficiency of operation of lifting and transporting machines (LTM) of container terminals on the basis of optimization of their maintenance and current repair processes. The situation related to the analysis of statistical data on failures of LTMs and their influence on the processes and costs associated with the use of modern LTMs for their intended purpose and their technical service is assessed. Increase of efficiency increase of technical operation efficiency of LTM by application of adaptive system of their technical service is determined. The influence of the accumulated value of the load impact level on the change of the technical condition of LTM during the operation time is studied. At implementation of technological process of technical service of LTM it is necessary to take into account complexity, tension and rigidity of conditions of their operation, which is connected with influence of operation mode and external factors. Consideration of these factors can be expressed by the accumulated level of load impact.

Keywords: container terminal lifting and transporting machines, production and technical operation, unified technological process, operating conditions, total load impact coefficient, reliability map, synergetic paradigm of operation, technological process of technical service.

Введение

Получение высоких технико-экономических результатов работы контейнерных терминалов зависит от эффективности экономических приёмов и методов эксплуатации подъемно-транспортных машин (ПТМ), используемых для погрузочно-разгрузочных работ с контейнерами [10]. Эффективность системы эксплуатации ПТМ определяется на основе анализа процессов в сложной организационно-технологической системе, реализующей жизненный цикл этих машин. Для описания структуры сложной организационно-технологической системы эксплуатации ПТМ и взаимовлияния входящих в неё подсистем используется синергетический подход [3], [8], [14],

 © Авторы статьи / Authors of the article

[17]. Цель исследования – повышение эффективности производственной и технической эксплуатации ПТМ применением адаптивной системы их технического сервиса. Объект исследования – процессы эксплуатации ПТМ, обеспечивающие поддержание технического состояния и восстановления работоспособности в случае её потери. Предмет исследования – закономерности изменения технического состояния ПТМ при вариации нагрузочного воздействия на их элементы, узлы и агрегаты.

Анализ факторов влияния на эффективность технологических процессов на контейнерных терминалах и завышенные эксплуатационные расходы, включая технический сервис, показал, что существенную роль играют отказы ПТМ, выявление причин которых является одной из основных задач эксплуатации ПТМ [2], [10]. Практически отсутствуют опубликованные результаты исследований, направленных на объединение производственной и технической эксплуатации ПТМ в единый технологический процесс, который, с учетом условий эксплуатации и выявленного коэффициента суммарного нагрузочного воздействия, позволял бы корректировать нормативы технического сервиса. В связи с этим актуальной научной задачей является повышение эффективности и конкурентоспособности ПТМ на основе оптимизации их использования по назначению с учетом производства работ технического сервиса. *Цель исследования* – повышение эффективности производственной и технической эксплуатации ПТМ и конкурентоспособности выполняемых ими подъемно-транспортных работ путём оптимизации основных и сопутствующих процессов. *Объект исследования* – процессы эксплуатации ПТМ, обеспечивающие поддержание их технического состояния и восстановления работоспособности в случае её потери. *Предмет исследования* – закономерности изменения технического состояния ПТМ при вариации нагрузочного воздействия на их элементы, узлы и агрегаты.

Методы исследования: математическое описание объекта (взаимосвязи параметров объекта, характеризующие его особенности функционирования); математическое моделирование (совокупность принятых приёмов и техник построения и изучения математических моделей) [2], [3]; построение технологических карт надёжности, в том числе трёхмерных технологических карт надёжности ПТМ.

Разработанность темы

Наиболее распространенный алгоритм оценки наработки ПТМ осуществляется с помощью регистраторов параметров (РП) и включает подсчет так называемого «характеристического числа» – безразмерной величины, определяемой как произведение числа рабочих циклов, выполняемых ПТМ, на коэффициент распределения масс поднятых грузов [6], [16]. Зарегистрировав РП за известный промежуток времени величину фактического «характеристического числа», ее начинают сравнивать с некоей «нормативной величиной», подсчитанной по предельным значениям коэффициента нагружения – K_p и класса использования ПТМ – U, той группы классификации (режима) по международному стандарту [13], которой соответствует данный вид ПТМ и которая указана в её паспорте. Однако, такой широко применяемый подход не может считаться корректным.

При реализации технологического процесса технического сервиса ПТМ необходимо учитывать сложность, напряжённость и жёсткость условий их эксплуатации, которая связана с влиянием внешних воздействий, оцениваемых параметрами: число рабочих циклов (поднятых грузов) C, выполненных ПТМ с начала эксплуатации; масса груза, поднятая в i-ом цикле, Q_i т; максимальная грузоподъемность ПТМ, Q, т; температура окружающей среды t (°С); максимальная масса обрабатываемых контейнеров, M_{kmax}; коэффициент использования грузоподъёмности ПТМ γ_c, коэффициент динамичности работы ПТМ, $k_д$. Поскольку большая часть ПТМ, используемых на контейнерных терминалах, имеет пневмоколесный ход, необходимо также учитывать коэффициент суммарного сопротивления движению Ψ и среднюю скорость движения в заданных условиях эксплуатации $V_{ср}$ [3].

Нагруженность ПТМ – один из главных факторов, определяющих их надежность и энергетическую эффективность в эксплуатации.

При всем многообразии ПТМ лишь немногие из них можно отнести, и то условно, к стационарно нагруженным, например, конвейеры в линиях со стабильными технологическими процессами. Подавляющее же большинство ПТМ, в частности все машины циклического действия, работает при нестационарных условиях (режимах), при которых имеют место нестационарные нагрузки с меняющимися параметрами. Вместе с тем во многих видах ПТМ наряду с нестационарными нагрузками можно выделить постоянные нагрузки, а также переменные нагрузки постоянного уровня, т. е. стационарные переменные нагрузки.

По характеру изменения во времени эксплуатационные нагрузки ПТМ можно разделить на постоянные, переменные и прочие. К *постоянным* относят нагрузки рабочего состояния, не изменяющиеся в течение продолжительного периода времени. К *переменным* – рабочие нагрузки, которые в течение короткого времени могут изменяться по амплитуде и среднему значению. К *прочим* нагрузкам можно отнести нагрузки, характерные для нерабочего состояния машины.

Для характеристики возможных изменений технического состояния ПТМ наибольшее значение имеют динамические нагрузки во время выполнения рабочих операций при погрузочно-разгрузочных работах с контейнерами. Нагрузочные воздействия на ПТМ характеризуются коэффициентом использования грузоподъёмности ПТМ γ_c и коэффициентом динамичности работы ПТМ, $k_д$. При наличии информации о нагрузочных воздействиях на ПТМ в процессе выполнения работ позволяет корректировать режимы технического сервиса этих машин.

Обеспечение адаптивности системы технического сервиса ПТМ является сложной задачей. Результаты расчетов коэффициентов корректировки режимов ТО и ремонта, даже при использовании информации, записываемой регистраторами параметров в качестве исходных данных, не могут заменить результатов непосредственного контроля изменений технического состояния. Причиной этого является абстрактность расчетных моделей. Получившее распространение характеристическое число N_T учитывает лишь интенсивность эксплуатации ПТМ и использует для этого всего два параметра. При этом расчет осуществляется по следующей формуле:

 © Авторы статьи / Authors of the article

$$N_{\text{т}} = \sum_{i=1}^{C} \left(\frac{G_i}{G} \right), \quad (1)$$

где C – число рабочих циклов (поднятых грузов), выполненных ПТМ с начала эксплуатации; G_i – масса груза, поднятая в i-ом цикле, m; G – максимальная грузоподъемность ПТМ, m [2], [3].

Результаты исследования

В настоящее время сбор большей части диагностической информации практически неосуществим. Кроме того, исходная информация сама по себе ценности не имеет, ее необходимо обработать. Здесь возникает очередная проблема, связанная с моделированием процессов, в которых масштабы изменения значений отдельных параметров разнятся на несколько порядков.

Целесообразно учитывать коэффициент использования грузоподъёмности ПТМ, который позволяет оценить нагрузку на элементы ПТМ в процессе эксплуатации. Современные датчики контроля массы груза позволяют отслеживать изменения этого коэффициента, а вместе с мониторингом значений показателей расхода топлива Q_m и средней скорости $V_{ср}$ появляется возможность отслеживать значения коэффициента динамичности работы ПТМ и накопленной величины уровня нагрузочного воздействия [2], [3], [10], [14].

В связи с этим величина уровня нагрузочного воздействия $W_i(t)$ может быть определена по формуле

$$W_i(t) = \Psi_{\Sigma} * t_{\text{факт}} * \gamma_c * k_{\text{д}}, (H^* \text{мото-ч}), \quad (2)$$

где $t_{факт}$ – фактическая наработка ПТМ, *мото-ч*; γ_c – коэффициент использования грузоподъёмности ПТМ; $k_д$ – коэффициент динамичности работы ПТМ; Ψ_Σ – суммарный коэффициент сопротивления движению:

$$\Psi_{\Sigma} = k \frac{Q_T}{V_{\text{ср}}}, \quad (3)$$

где Q_T – средний расход топлива двигателем ПТМ; $V_{ср}$ – средняя скорость движения ПТМ; k – характерный для каждой ПТМ коэффициент пропорциональности (в Н/л*ч), определяемый через контрольный расход топлива $Q_{кр}$, скорость V_Q при контрольном расходе топлива и коэффициент сопротивления движению по дороге с ровным твердым покрытием Ψ_A, равный 0,025 для колесных ПТМ.

Нами была предпринята попытка исключить неточность расчетов, связанную с обобщением параметров технологического цикла применения ПТМ. В этой связи появляется необходимость оценки величин напряжений и нагрузок для множества различных ситуаций. Использование встроенного расчетного модуля, основанного на стержневой конечно-элементной модели учета нагрузочных воздействий, весьма ограничено по функциональным возможностям и значительно снижает скорость работы моделирующей программы. Наибольший интерес в данном случае представляет использование внешних данных, т.е. результатов тензометрических измерений или конечно-элементного анализа, выполненного в профессиональных программных пакетах. Для использования имеющейся информации нужен механизм, который осуществлял бы выбор соответствующих значений из массивов и выполнял бы их аппроксимацию. Решение найдено в применении нейронных сетей, а именно в персептронах.

Нейронные сети позволяют выделить характерные зависимости между параметрами, описывающими процесс, например, величину напряжения в опасных сечениях металлоконструкции ПТМ в зависимости от массы груза и/или положения грузовой каретки (вылета груза). Перед использованием необходима тренировка нейронной сети, которая заключается в корректировке внутренних параметров структуры сети на основании значений ее внешних параметров (рис. 1).

Влияние величины уровня нагрузочного воздействия на изменение технического состояния ПТМ, в течение времени t, предлагается оценивать с помощью накопленной величины уровня нагрузочного воздействия $\Sigma W_i(t)$:

$$\Sigma W_i(t) = W_1(t) + W_2(t) + ... + W_n(t), (H * \text{мото-ч}), \quad (4)$$

где $\Sigma W_i(t)$ представляет собой сумму всех нагрузочных воздействий за контролируемое время эксплуатации ПТМ t.

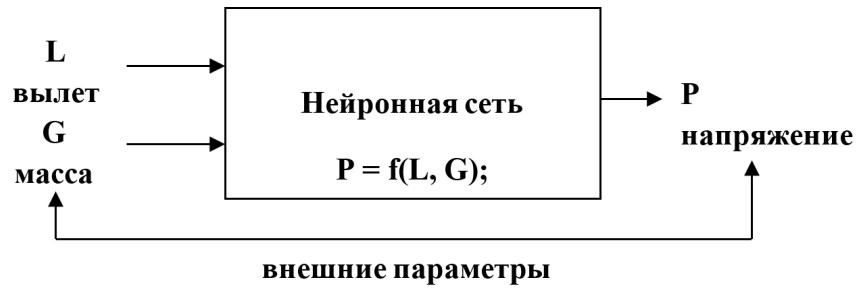

Рисунок 1 - Схема применения нейронной сети для расчета напряжений, определяющих величину нагрузочного воздействия на ПТМ

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.190.1

 © Авторы статьи / Authors of the article

В связи с вышеизложенным при сравнении показателя $\Sigma W_i(t)$ с характеристиками надежности ПТМ при дискретном диагностировании и на этапе сбора статистических данных об отказах появляется возможность аналитического решения задачи повышения эффективности и безопасности эксплуатации ПТМ.

При традиционном построении технологических карт надежности оценивается зависимость вероятности безотказной работы $P(t)$ от наработки ПТМ t [1], [12], [18]. Главным недостатком базовой методики [12] является отсутствие какой-либо информации об условиях эксплуатации и специфики выполнения подъемно-транспортных работ. При формировании значений $P(t)$ принимается во внимание начальное число находящихся под наблюдением элементов ПТМ N_0 и число отказавших элементов n_i за фактический интервал наработки Δt. То есть на этапе сбора статистики формируются базы данных о значениях конкретного числа отказов ПТМ за период наработки без учета информации о том, при каких обстоятельствах эти отказы возникли и какой была на тот момент времени накопленная величина уровня нагрузочного воздействия на конкретные элементы ПТМ.

Геометрическая форма плоскости, характеризующей отказы ПТМ, на трёхмерной диаграмме будет зависеть от характера отказов [14]. Представленная на трёхмерной карте надёжности плоскость характеризует отказы, которые соответствуют нормальному закону распределения. Это отказы, связанные с износом: тормозные колодки, детали цилиндропоршневой группы и подшипники коленчатого вала ДВС, зубья шестерён, протектор шин колёс и т.д. Кроме того, отказы могут распределяться по экспоненциальному закону – это отказы, связанные с разрушением, например, листы рессор, и закону Вейбулла-Гнеденко – отказы, связанные с усталостью деталей и с последующим их разрушением. Аналитическая оценка статистических данных об отказах позволяет прогнозировать и внезапные отказы, если известно критическое значение показателя накопленной величины уровня нагрузочного воздействия $\Sigma W_i(t)$ для конкретного элемента ПТМ.

Это позволяет индивидуально для каждой ПТМ выявлять элементы, лимитирующие эксплуатационную надежность в различных ситуациях. В таком случае вероятность безотказной работы ПТМ $P(t,W(t))$ будет определена следующим образом:

$$P[t, W(t)] = \frac{N_0 - \sum_{i=1}^{k} n_i[t, W(t)]}{N_0}, \quad (5)$$

где $n_i[t,W(t)]$ – количество отказов в i-м случае при наработке t и нагрузочном воздействии $W(t)$.

По аналогии, так же как и для вероятности безотказной работы, строится зависимость для интенсивности отказов λ[t, W(t)]:

$$\lambda[t, W(t)] = \frac{\Delta n}{(N_0 - \sum_{i=1}^{k} n_i[t, W(t)])\Delta t}. \quad (6)$$

Графический пример таких зависимостей представлен в [14].

Обсуждение результатов исследований

Выполненными исследованиями определено, что производственную и техническую эксплуатацию ПТМ необходимо рассматривать как единый технологический процесс, а современный подход к эксплуатации ПТМ на контейнерных терминалах на всех уровнях заключается в следующем:

1) ужесточить контроль над режимами работы ПТМ в процессе их функционирования с целью сбора информации о величинах нагрузочного воздействия как на ПТМ в целом, так и на отдельные их элементы;

2) усовершенствовать технический сервис ПТМ адаптацией режимов ТО и ремонта к конкретным условиям использования ПТМ на контейнерных терминалах с учётом выявленных особенностей, а также с целью извлечения приемлемого уровня дохода;

3) с помощью адаптированного технического сервиса технологически поддерживать и восстанавливать работоспособность ПТМ, обеспечивая при этом эффективность и безопасность их эксплуатации.

Новизна результатов исследований определяется полученной зависимостью наработки до появления отказа от накопленной величины уровня нагрузочного воздействия (рис. 2), которая выявлена после оценки среднеквадратического отклонения наработок до отказа ПТМ.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Рисунок 2 - Влияние накопленной величины уровня нагрузочного воздействий при использовании ПТМ на величины наработок до появления отказа

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.190.2

Коэффициент корректировки периодичности ТО (табл. 1) определяется путём сравнения нормативных и фактических значений наработки ПТМ. Коэффициент корректировки трудозатрат на устранение отказов является обратной величиной коэффициента корректировки периодичности ТО.

Таблица 1 - Значения коэффициентов корректировки периодичности ТО ПТМ с пневматическим ходовым устройством, применяемых в условиях контейнерных терминалов

DOI: https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.138.190.3

Виды работ, выполняемых ПТМ	Коэффициент суммарного сопротивления движению	Усредненный объем выполненной наработки, мото-ч	Коэффициент динамичности работы ПТМ	Накопленная величина уровня нагрузочного воздействия, Н*мото-ч	Коэффициент корректировки нормативов периодичности ТО
Подъем, перемещение, погрузка контейнера	0,128	681,17	1,5	34,253	0,881
Перемещение поднятого контейнера	0,055	210,19	1,3	34,058	0,954
Подъем, опускание контейнера	0.033	252,26	1,1	12,611	0,900
Перемещение ПТМ без груза	0,018	585,11	1,0	10,509	1,000

Заключение

В связи с тем, что при реализации технологического процесса технического сервиса ПТМ контейнерных терминалов необходимо учитывать сложность, напряженность и жесткость условий их эксплуатации, которая связана с влиянием внешних факторов, производственную и техническую эксплуатацию ПТМ на контейнерных терминалах необходимо рассматривать как единый технологический процесс. Возможность определения накопленной величины уровня нагрузочного воздействия, является новизной выполняемых исследований и позволяет адаптировать систему технического сервиса ПТМ к конкретным условиям их применения с помощью соответствующих коэффициентов корректировки нормативов периодичности ТО.

 © Авторы статьи / Authors of the article

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Баженов Ю.В. Прогнозирование остаточного ресурса конструктивных элементов автомобилей в условиях эксплуатации / Ю.В. Баженов, М.Ю. Баженов // Фундаментальные исследования. — 2015. — № 4. — С. 16-21.

2. Бердников И.Е. Математические модели определения количества отказов транспортно-технологических машин в зависимости от факторов условий эксплуатации / И.Е. Бердников, С.П. Озорнин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2017. — № 2(54). — С. 134-141

3. Бердников И.Е. Разработка диагностико-информационной подсистемы технического сервиса для обеспечения эксплуатационной надежности транспортно-технологических машин : автореф. дис. … канд. техн. наук : 05.02.13 / И.Е. Бердников. — Братск, 2017. — 26 с.

4. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. — М.: Колос, 1973. — 199 с.

5. ГОСТ 25866-83. Эксплуатация техники. Термины и определения. — Введ. 1985-01-01 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. — URL: https://docs.cntd.ru/document/1200009513 (дата обращения: 21.07.2023).

6. Емельянова Г.А. Методология повышения надежности грузоподъемного оборудования при обеспечении требуемых критериев риска : дис. ... докт. техн. наук : 05.02.02 / Г.А. Емельянова. — М.: Московский государственный университет путей сообщения (МИИТ), 2016. — 280 с.

7. Ждановский Н.С. Диагностика автотракторных двигателей с использованием электронных приборов / Н.С. Ждановский, В.А. Аллилуев, В.М. Михлин. — Л.: ЛСХИ, 1973. — 127 с.

8. Капица С.П. Синергетика и прогнозы будущего / С.П. Капица, С.П. Курдюмов, Г.Г. Малинецкий. — М.: Эдиториал УРСС, 2001. — 288 с.

9. Комов А.Б. Повышение надёжности трансмиссии транспортного средства: монография / А.Б. Комов, П.Б. Комов, И.В. Грицук. — Донецк: ДонИЖТ, 2010. — 144 с.

10. Коган Л.А. Контейнерная транспортная система / Л.А. Коган, Ю.Т. Козлов, М.Д. Ситник [и др.]. — М.: Транспорт, 1991. — 254 с.

11. Кузнецов Е.С. Управление техническими системами: учеб. пособие / Е.С. Кузнецов. — М.: МАДИ (ГТУ), 2003. — 247 с.

12. Лукинский В.С. Прогнозирование показателей надежности агрегатов трансмиссии / В.С. Лукинский, Е.И. Зайцев. — Киев: Наукова думка, 1984. — 325 с.

13. ИСО 4301/1 Краны и подъемные устройства. Классификация. — М.: Изд-во стандартов, 1986. — 8 с.

14. Озорнин С.П. Оценка эксплуатационной надёжности горных транспортно-технологических машин на этапе анализа статистических данных об отказах / С.П. Озорнин // Вестник Забайкальского государственного университета. — 2023. — Т. 29. — № 1. — С. 19-28. — DOI: 10.21209/2227-9245-2023-29-19-28.

15. Подъемно-транспортная техника: словарь-справочник. В 2 т. Т. 2 / под. ред. К.Д. Никитина, Л.Н. Горбуновой. — Красноярск: ИПК СФУ, 2008. — 598 с.

16. МДС 12-32.2007. Типовые нормы периодичности, трудоемкости и продолжительности технического обслуживания и ремонта грузоподъемных кранов. — М.: ФГУП ЦПП, 2007. — 25 с.

17. Хакен Г. Тайны природы. Синергетика: учение о взаимодействии / Г. Хакен; пер. с нем. А.Р. Логунова. — М.; Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. — 320 с.

18. Якунин Н.И. Методологические основы контроля и управления техническим состоянием автомобилей в эксплуатации: монография / Н.И. Якунин. — М.: Машиностроение, 2003. — 178 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Bazhenov Yu.V. Prognozirovanie ostatochnogo resursa konstruktivnyh jelementov avtomobilej v uslovijah jekspluatacii [Prediction of Residual Life of Structural Elements of Cars under Operating Conditions] / Yu.V. Bazhenov, M.Yu. Bazhenov // Fundamental'nye issledovanija [Fundamental Research]. — 2015. — № 4. — P. 16-21. [in Russian]

2. Berdnikov I.E. Matematicheskie modeli opredelenija kolichestva otkazov transportno-tehnologicheskih mashin v zavisimosti ot faktorov uslovij jekspluatacii [Mathematical Models for Determining the Number of Transport-Technological Machines Failures Depending on the Factors of Operating Conditions] / I.E. Berdnikov, S.P. Ozornin // Sovremennye tehnologii. Sistemnyj analiz. Modelirovanie [Modern technologies. System analysis. Modeling]. — 2017. — № 2(54). — P. 134-141. [in Russian]

3. Berdnikov I.E. Razrabotka diagnostiko-informacionnoj podsistemy tehnicheskogo servisa dlja obespechenija jekspluatacionnoj nadezhnosti transportno-tehnologicheskih mashin [Development of Diagnostic and Information Subsystem of Technical Service to Ensure Operational Reliability of Transport and Technological Machines] : dis. abst. … PhD in Technical Sciences : 05.02.13 / I.E. Berdnikov. — Bratsk, 2017. — 26 p. [in Russian]

 © Авторы статьи / Authors of the article

4. Vedenjapin G.V. Obshhaja metodika jeksperimental'nogo issledovanija i obrabotki opytnyh dannyh [General Methodology of Experimental Research and Experimental Data Processing] / G.V Vedenjapin. — M.: Kolos, 1973. — 199 p. [in Russian]

5. GOST 25866-83. Jekspluatacija tehniki. Terminy i opredelenija [Exploitation of machinery. Terms and definitions]. — Introduced 1985-01-01 // Electronic fund of legal and regulatory documents. — URL: https://docs.cntd.ru/document/1200009513 (accessed: 21.07.2023). [in Russian]

6. Emel'janova G.A. Metodologija povyshenija nadezhnosti gruzopod#emnogo oborudovanija pri obespechenii trebuemyh kriteriev riska [Methodology of Lifting Equipment Reliability Increase at Provision of the Required Risk Criteria] : dis. ... Doctor of Technical Sciences : 05.02.02 / G.A. Emel'janova. — M.: Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), 2016. — 280 p. [in Russian]

7. Zhdanovsky N.S. Diagnostika avtotraktornyh dvigatelej s ispol'zovaniem jelektronnyh priborov [Diagnostics of Automotive Tractor Engines with the Use of Electronic Devices] / N.S. Zhdanovsky, V.A. Alliluev, V.M. Mikhlin. — L.: Leningrad Agricultural Institute, 1973. — 127 p. [in Russian]

8. Kapitsa S.P. Sinergetika i prognozy budushhego [Synergetics and Forecasts of the Future] / S.P. Kapitsa, S.P. Kurdyumov, G.G. Malinetsky. — M.: Editorial URSS, 2001. — 288 p. [in Russian]

9. Komov A.B. Povyshenie nadjozhnosti transmissii transportnogo sredstva: monografija [Increase of Reliability of Vehicle Transmission: monograph] / A.B. Komov, P.B. Komov, I.V. Gritsuk. — Donetsk: Donetsk Institute of Railway Transport, 2010. — 144 p. [in Russian]

10. Kogan L.A. Kontejnernaja transportnaja sistema [Container Transport System] / L.A. Kogan, Ju.T. Kozlov, M.D. Sitnik [et al.]. — M.: Transport, 1991. — 254 p. [in Russian]

11. Kuznecov E.S. Upravlenie tehnicheskimi sistemami: ucheb. posobie [Management of Technical Systems: textbook] / E.S. Kuznecov. — M.: Moscow Automobile and Road Engineering State Technical University, 2003. — 247 p. [in Russian]

12. Lukinsky V.S. Prognozirovanie pokazatelej nadezhnosti agregatov transmissii [Prediction of Reliability Indices of Transmission Units] / V.S. Lukinsky, E.I. Zaitsev. — Kyiv: Naukova dumka, 1984. — 325 p. [in Russian]

13. ISO 4301/1 Krany i pod#emnye ustrojstva. Klassifikacija [Cranes and lifting devices. Classification]. — M.: Publishing House of Standarts, 1986. — 8 p. [in Russian]

14. Ozornin S.P. Ocenka jekspluatacionnoj nadjozhnosti gornyh transportno-tehnologicheskih mashin na jetape analiza statisticheskih dannyh ob otkazah [An Evaluation of Operational Reliability of Mining Transport-Technological Machines at the Stage of Failure Statistics Analysis] / S.P. Ozornin // Vestnik Zabajkal'skogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Transbaikal State University]. — 2023. — Vol. 29. — № 1. — P. 19-28. — DOI: 10.21209/2227-9245-2023-29-19-28. [in Russian]

15. Pod'emno-transportnaja tehnika: slovar'-spravochnik. V 2 t. T. 2 [Lifting and Transport Equipment: Dictionary-Reference Book. In 2 vols. Vol. 2] / ed. by K.D. Nikitin, L.N. Gorbunova. — Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2008. — 598 p. [in Russian]

16. MDS 12-32.2007. Tipovye normy periodichnosti, trudoemkosti i prodolzhitel'nosti tehnicheskogo obsluzhivanija i remonta gruzopod#emnyh kranov [Typical Norms of Periodicity, Labour Consumption and Duration of Maintenance and Repair of Lifting Cranes]. — M.: Project Production Center, 2007. — 25 p. [in Russian]

17. Haken H. Tajny prirody. Sinergetika: uchenie o vzaimodejstvii [Secrets of Nature. Synergetics: the Doctrine of Interaction] / H. Haken; transl. from German by A.R. Logunov. — Moscow; Izhevsk: Institute of Computer Research, 2003. — 320 p. [in Russian]

18. Yakunin N.I. Metodologicheskie osnovy kontrolja i upravlenija tehnicheskim sostojaniem avtomobilej v jekspluatacii: monografija [Methodological Basis of Control and Management of Technical Condition of Vehicles in Operation: monograph] / N.I. Yakunin. — M.: Mashinostroenie, 2003. — 178 p. [in Russian]