

О парадигме «надежность материала»

И.О. Романов, В.М. Макиенко, Я.А. Востриков

ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», Хабаровск, Россия
ya-vostrikov@mail.ru

Аннотация. В 2012 г. учеными материаловедов была определена целесообразность внесения изменений и предложена четырехзвенная формула парадигмы материаловедения «состав – структура – технология – свойства». При этом основной вектор ориентирования направлен на комплексный подход к изучению и созданию материалов с обязательным учетом влияния технологии получения материалов на формирование заданных свойств при конкретно выбранных составе и структуре материалов. В данной работе отражена возможность внесения изменений в общепризнанную парадигму материаловедения «состав – структура – технология – свойства». Предложено введение пятого звена – надежности, которая определяет требования к свойствам материалов и технологиям их получения, что также оказывает воздействие на выбор их состава и структуры. Кроме того, надежность является одним из критериев качества материалов и позволяет сформировать единый научный подход к его оценке. На практическом примере показаны функционально-математические зависимости единичных показателей надежности и их сопоставление со служебными характеристиками высокомарганцовистых сталей, а также применимость разработанного методологического подхода для оценки надежности и качества материала и технологий с учетом экономической целесообразности использования различных технологий. Так, с помощью предложенного методологического подхода оценки надежности деталей на примере изготовления била тонкого помола угля определено, что при изготовлении била наиболее выгодно использовать менее легированный материал, при этом существует возможность увеличения экономического эффекта, если предусмотрена возможность упрочнения рабочей поверхности.

Ключевые слова: качество, надежность, материал, свойства, соответствие, парадигма.

Введение

Необходимость реорганизации основных парадигм науки, в том числе материаловедения, неоднократно отмечалось многими учеными, например, профессорами Т. Куном [1], С.Н. Григорьевым [2], А.И. Евстигнеевым [3]. Учитывая этот фактор, а также мировой опыт развития данной области науки, профессором А.Д. Верхотуровым в 2012 г. [4,5] была определена целесообразность внесения изменений и предложена четырехзвенная формула парадигмы материаловедения «состав – структура – технология – свойства». При этом основной вектор ориентирования направлен на комплексный подход к изучению и созданию материалов с обязательным учетом влияния технологии получения материалов на формирование заданных свойств при конкретно выбранных составе и структуре материалов.

В настоящее время исследователи и разработчики новых материалов стремятся обеспечить

необходимые свойства детали (объекта) для выполнения требуемых функций. При этом многие отмечают, что изделия должны обладать высокими качеством и надежностью [6–11].

Важность формирования получения качественных материалов отмечена ведущими материаловедов профессорами Х. Ри, Э.Г. Бабенко, А.Д. Верхотуровым и др. [12–14]. Во многих работах выделяется тот факт, что восстановление деталей материалами с новыми свойствами положительно влияет на улучшение показателей надежности машин. При этом в исследованиях особое ударение ставится на то, что для обеспечения эффективности оборудования необходимо выявление связи показателей качества с физико-конструктивными характеристиками материалов их рабочей поверхности и условий эксплуатации с применением статических методов оценки надежности. Таким образом, многие исследователи склонны считать, что конечным результатом создания материала является его качество и надежность.

Материалы и методы исследования

Определению понятия «качество» посвящено достаточно большое количество научных работ. Профессор В.Н. Протасов [15] предлагает использовать понятие «потребительское» качество, где одним из свойств называется надежность объекта. Кроме того, статистический анализ литературных данных [16, 17; и др.] позволяет определить надежность как более весомое свойство качества (по сравнению с другими его свойствами: безопасностью, технологичностью и др.).

С другой стороны, один из ведущих специалистов по теории надежности А.С. Проников говорит: «Надежность – это один из основных показателей качества изделий, проявляющийся во времени и отражающий изменения, происходящие в машине на протяжении всего времени ее эксплуатации» [18]. Основу сложившихся систем обеспечения надежности составляют тщательные физические исследования, лабораторное и эксплуатационное использование материалов деталей, узлов [19, 20].

В «классической теории» выбора материалов основным направлением считается определение долговечности детали как основного показателя надежности [21]. В качестве оптимальных принимаются решения, обеспечивающие максимальные физические показатели при приемлемых экономических затратах.

Для рассмотрения вышеуказанных единичных показателей надежности деталей (безотказность, ремонтпригодность, сохраняемость, долговечность) применительно к требованиям, к материалам целесообразно привести определение в соответствии с ГОСТ 27.002-2015 (табл. 1).

При оценке требований надежности деталей к выбору свойств материалов в первую очередь необходимо формирование системы функционально-математических зависимостей единичных показателей надежности детали от ресурса машины в целом.

Наиболее полное описание формирования математических зависимостей единичных показателей надежности (безотказности, ремонтпригодности, сохраняемости, долговечности) деталей отражено в работах [22, 23].

После определения функционально-математических зависимостей единичных показателей надежности, а также коэффициента сохранения эффективности, определяющего надежность элемента (детали), целесообразно обозначить свойства и характеристики материала, обуславли-

вающие реализацию данных показателей (безотказность, ремонтпригодность, сохраняемость, долговечность).

Применимость предлагаемого методологического подхода оценки «надежности материалов» показана на примере достаточно большой группы деталей породоразрушающего инструмента и оборудования, работающих в условиях ударно-абразивного износа и, чаще всего, изготовленных из высокомарганцевистой стали. Определение параметров надежности указанных деталей является весьма актуальной и востребованной задачей. Учитывая, что надежность деталей (как элементарных элементов системы) предъявляет требования к выбору материала, необходимо провести сопоставление единичных показателей надежности деталей и служебных характеристик материалов.

В целях визуализации сопоставления предложено параметры деталей и служебные характеристики материала отобразить в табличной форме (см. табл. 1).

Проведенный анализ системного подхода, предложенный А.И. Уемовым [25], в основу которого положен принцип комбинаторики различных точек зрения на соответствие терминов, позволяет предположить, что износостойкость в данном случае является системообразующим свойством, определяющим основные требования к материалу, обеспечивающие надежность детали в конкретно заданных условиях эксплуатации. Кроме того, анализ контекста понятий «безотказность» и «износостойкость» (см. табл. 1), а также метод «сопоставления» [24] показывают, что в понятии «износостойкость» определены конкретные функции материала и условия его эксплуатации, т. е. износостойкость является частным случаем безотказности детали, соответственно, для определения данного единичного показателя надежности возможно использование ранее изложенных подходов.

При этом свойств, соответствующих другим единичным показателям надежности высокомарганцевистых деталей (ремонтпригодности, сохраняемости и долговечности), в нормативно-технической, научной и справочной литературе не приводится.

Таким образом, наиболее значимым единичным параметром надежности высокомарганцевистых деталей породоразрушающего инструмента является износостойкость (безотказность), при этом для определения комплексного показателя

Соответствие рабочих свойств материала и показателей надежности

Table 1

Compliance of the working properties of the material and reliability indicators

Единичный показатель надежности Single reliability indicator	Определение Definition	Служебная характеристика высокомарганцевистой стали Service characteristics of high-manganese steel	Определение Definition
Безотказность	Свойство объекта непрерывно сохранять способность выполнять требуемые функции в течение некоторого времени или наработки в заданных режимах и условиях применения	Износостойкость	Свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения, оцениваемое величиной, обратной скорости изнашивания или интенсивности изнашивания
Ремонтопригодность	Свойство объекта, заключающееся в его приспособленности к поддержанию и восстановлению состояния, в котором объект способен выполнять требуемые функции, путем технического обслуживания и ремонта	Твердость	Способность материала сопротивляться пластической деформации или разрушению при местном силовом воздействии
Сохраняемость	Свойство объекта сохранять способность к выполнению требуемых функций после хранения и (или) транспортирования при заданных сроках и условиях хранения и (или) транспортирования	Ударная вязкость	Способность материала поглощать механическую энергию в процессе деформации и разрушения под действием ударной нагрузки
Долговечность	Свойство объекта, заключающееся в его способности выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях использования, технического обслуживания и ремонта до достижения предельного состояния.		

надежности (коэффициент сохранения эффективности) [22, 23] возможно и целесообразно использование средних справочных значений единичных показателей ремонтопригодности и сохраняемости, а в качестве показателя безотказности применение значения коэффициента износостойкости детали, что позволяет сформулировать опреде-

ление «надежность материала» — это комплекс свойств и характеристик, позволяющих обеспечить реализацию единичных показателей надежности изделия (безотказность, ремонтопригодность, сохраняемость, долговечность или их различные комбинации) при заданных режимах или определенных условиях эксплуатации.

При этом необходимо учитывать, что выбор материала производится для конкретной детали при определенных условиях эксплуатации.

Результаты и обсуждение

В качестве примера рассмотрим оценку надежности материала (коэффициента сохранения эффективности как показателя надежности) при различных технологиях формирования поверхности била молотковой мельницы тонкого помола угля, которые используются на ТЭЦ для повышения эффективности сжигания угля и снижения загрязнения окружающей среды. Било изготавливается из стали 110Г13Л методом литья, весом 10 кг и при износе рабочей поверхности в среднем 4 кг, производится замена комплекта (120 штук) до тех пор, пока мельница не вырабатывает свой ресурс, который определяется предельным износом ее брони.

Оценка надежности материала для изготовления била осуществлялась по следующим вариантам: 1 – стандартное новое било из стали 110Г13Л; 2 – новое било из стали 110Г13Х2БРЛ; 3 – новое било из стали 80ГСЛ термоупрочненное; 4 – било из стали 80ГСЛ, упрочненное проволокой Св-08ХМ через легирующую пластину, содержащую 20 % карбидов вольфрама, кремния и др.; 5 – стандартное новое било из стали 110Г13Л, упрочненное по технологии 4; 6 – упрочненное новое било проволокой Св-08ХМ через легирующую пластину, содержащую 40 % карбидов.

Исходные данные для определения экономических показателей и показателей надежности материала била с учетом работ [22, 23] отражены в табл. 2. Результаты расчетов сведены в табл. 3. Анализ табл. 3 показывает, что в настоящее время по принятым технологиям все рассмотрен-

Таблица 2

Исходные данные

Table 2

Source data

Варианты изготовления била The production version bilo	Показатели безотказности детали The reliability of the part									
	$K_{Б1}$	γ	N_3	$\overline{K_{БЭ}}$	K_B	K_P	N_P	K_C	K_D	N_Φ
1	0,3	0,9	3	0,23	1	0,39	3	0,95	0,56	1
2	0,33	0,9	3	0,22	1	0,44	2	0,95	0,61	1
3	0,29	0,9	3	0,24	1	0,37	3	0,95	0,53	1

Примечание. $\overline{L_M} = 1200$ ч; $\overline{L_{H1}} = 360$ ч; $\overline{L_{H1Э}} = 324$ ч.

Note. $\overline{L_M} = 1200$ h; $\overline{L_{H1}} = 360$ h; $\overline{L_{H1Э}} = 324$ h.

Таблица 3

Сводная таблица экономических показателей и показателей надежности выбора материалов для изготовления била

Table 3

Summary table of economic indicators and indicators of reliability of the choice of materials for the manufacture of bilo

Вариант Version	Показатели надежности била Reliability indicators								$C_{3Э}$	$C_{ЭФ}$
	α	β	$K_{Б1}$	$\overline{K_{БЭ}}$	K_P	K_C	K_B	K_H	Тыс.р	Тыс.р
1	–	–	0,3	0,23	–	–	–	0,25	180	–
2	–	–	0,33	0,22	–	–	–	0,25	216	
3	–	–	0,29	0,24	–	–	–	0,25	144	
4	–	0,35	0,36	0,21	0,5	0,95	1	0,36	106	38
5	–	0,375	0,3	0,23	0,39	0,95	1	0,327	148	32
6	–	0,4	0,3	0,23	0,39	0,95	1	0,242	244	–64



Вариация реструктурированной парадигмы.

Variation of the restructured paradigm.

ные варианты равнозначны по коэффициенту надежности. Однако, при рассмотрении экономической стороны вопроса видно, что при изготовлении было наиболее выгодно использовать менее легированный материал, если при этом еще и предусмотреть возможность упрочнения рабочей поверхности, то экономический эффект возрастает.

Таким образом, тенденция в потребности учета качества и надежности материалов при определении свойств и технологий их получения, а также возможность установления математически-функциональных зависимостей единичных показателей надежности от физико-конструктивных характеристик материалов их рабочей поверхности и условий эксплуатации с применением указанного обобщенного методологического подхода по оценке комплексного показателя надежности материала позволяет прогнозировать изменения в формуле парадигмы материаловедения «состав – структура – технология – свойства» с введением нового звена «надежность» как показателя качества. При этом формула имеет не линейный характер, а подразумевает наличие взаимосвязей согласно рисунку.

Показатель надежности материала раскрывает понятие «свойства», т. е. через обобщенный показатель надежности предъявляются требования к свойствам материала, например, износостойкость, характеризующая безотказность детали (как в описанном выше случае). С другой стороны, зная свойства, становится возможным говорить о надежности материалов, тем самым прогнозируя их качество. Аналогичным образом прослеживается взаимосвязь надежности и технологии получения материалов, при этом возможен как комплексный подход, позволяющий учитывать и прогнозировать как одновременно и свойства материалов, и технологию, так и только технологию.

Выводы

Повышенные требования потребителя к конечному продукту производства предопределяют

необходимость внесения изменений в методологические подходы при разработке новых материалов, в том числе и единообразие в оценке и прогнозировании эксплуатационных качеств и характеристик, одной из которых является качество, предложенное многими исследователями. При этом определяющим свойством является надежность материала, что позволяет установить функционально-математические зависимости единичных показателей от физико-конструктивных свойств.

Литература

1. Кун Т. Структура научных революций. М.: Прогресс, 1977. 300 с.
2. Григорьев С.Н. Технологические принципы осаждения износостойких нанопокровов для применения в инструментальном производстве // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. 2011. № I-1(1). С. 92–98.
3. Муравьев В.И., Евстигнеев А.И., Бахматов П.В., Бутин А.В. Аналитическая оценка и разработка методов повышения коррозионной стойкости конструкционных сталей ТСПН // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. 2011. № IV-1(8). С. 92–98.
4. Верхотуров А.Д. Григорий Валентинович Самсонов – основатель новой парадигмы в материаловедении // Г.В. Самсонов – ученый, учитель, друг. Киев: Наукова думка, 2012. С. 53–63.
5. Верхотуров А.Д., Мокрицкий Б.Я., Пустовалов Д.А. и др. К вопросу о новой парадигме материаловедения // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. Науки о природе и технике. 2014. № III-1(19). С. 92–98.
6. Козлов С.И. Совершенствование ремонтов как условие промышленной безопасности металлургических предприятий // Механическое оборудование металлургических заводов. 2015. № 2 (5). С. 69–74.
7. Milojević I.S., Rade V. Guberinić stochastic model of forecasting spare parts demand // Vojnotehnički Glasnik. 2012. Vol. 60(1). P. 216–234. DOI 10.5937/vojtehg1201216M.
8. Fragassa C., Pavlovic A., Massimo S. Using a total quality strategy in a new practical approach for improving the product reliability in automotive industry // International Journal for Quality Research. 2014. Vol. 8(3). P. 297–310.
9. Stere A. Dependability and reliability of manufacturing systems // Fiabilitate și Durabilitate. 2014. No. 1 Suppl. 1. P. 99–105.
10. Косимов К., Мамаджанов П., Махмудов Р. Композиционные порошковые материалы для упроч-

нения поверхностей деталей машин // Российский электронный научный журнал. 2014. № 1. С. 29–35.

11. Байгильдин Д.Ю. Обзор существующих современных материалов для восстановления деталей машин // Современные наукоемкие технологии. 2014. № 5-1. С. 16–18.

12. Меднева А.В., Ри Э.Х., Хосен Р. и др. Электродные материалы из алюминидов никеля для электроискровой обработки // Ученые заметки ТОГУ. Электронное научное издание. 2016. Т. 7, № 4. С. 321–324.

13. Бабенко Э.Г. Теоретические и технологические основы повышения качества и свойств сплавов (покрытий) при электротермических процессах на базе создания легирующих сварочно-наплавочных материалов с использованием минерального сырья: дисс. д-ра техн. наук. Комсомольск-на-Амуре, 2002.

14. Химухин С.Н., Верхотуров А.Д. Электродный материал из белых чугунов, легированных вольфрамом // Перспективные материалы. 2006. № 5. С. 49–53.

15. Протасов В.Н. Методология выбора материалов потребительского качества для машиностроительной продукции // Территория Нефтегаз. 2011. № 4. С. 24–29.

16. Стопалов С. Надежность тракторов. Долговечность и безотказность – что важнее? // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2011. № 7. С. 24–28.

17. Бондарева Г.И. Повышение надежности машин путем разработки и оптимизации способов вос-

становления работоспособности машин и оборудования // Международный научный журнал. 2010. № 5. С. 85–92.

18. Проников А.С. Надежность машин. М.: Машиностроение, 1978. 592 с.

19. Кугель Р.В. О натурных испытаниях долговечности деталей и агрегатов машин. М.: Машиностроение, 1970. 237 с.

20. Решетов Д.Н. Надежность и долговечность машин. Учеб. пособие для машиностр. спец. вузов. М.: Высшая школа, 1988. 240 с.

21. Кугель Р.В. Долговечность автомобилей / под ред. д.т.н, проф. А.А. Липгарта. М.: ГНТИ Машиностроительной лит-ры. 1961. 432 с.

22. Стрельцов А.С., Романов И.О. Система оценок показателей надежности машин и диагностики экономической целесообразности восстановления и упрочнения деталей машины // Сварка и диагностика. 2016. № 5 (59). С. 30–35.

23. Романов И.О., Стрельцов А.С. Функционально-математическое определение показателей надежности и установление зависимости комплексного показателя от единичных на стадиях изготовления и восстановления деталей, определяющих безотказность машины // Надежность. 2018. Т. 18, № 2. С. 10–16.

24. Макаев Э.А. Общая теория сравнительного языкознания. М.: Наука, 1977. 205 с.

25. Уемов А.И. Системный подход и общая теория систем. М.: Мысль, 1978. 272 с.

Поступила в редакцию 03.06.2020

Принята к публикации 28.07.2020

Об авторах

РОМАНОВ Игорь Олегович, кандидат технических наук, доцент, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, 680021, Хабаровск, ул. Серышева, 47, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-0647-1677>, ig_romanov@mail.ru;

МАКИЕНКО Виктор Михайлович, доктор технических наук, профессор, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, 680021, Хабаровск, ул. Серышева, 47, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-0532-7761>, Mvm_tm@festu.khv.ru;

ВОСТРИКОВ Ярослав Алексеевич, старший преподаватель, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, 680021, Хабаровск, ул. Серышева, 47, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-4328-0976>, ya-vostrikov@mail.ru.

Информация для цитирования

Романов И.О., Макиенко В.М., Востриков Я.А. О парадигме «надежность материала» // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020, Т. 25, № 3. С. 152–159. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-3-15>

About the «reliability of the material» paradigm

I.O. Romanov, V.M. Makienko, Y.A. Vostrikov

Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, Russia
ya-vostrikov@mail.ru

Abstract. In 2012, materials scientists determined the feasibility of making changes and proposed a four-part formula for the materials science paradigm «composition-structure-technology-properties». At the same time, the main orientation vector is aimed at a complex approach to the study and creation of materials with a mandatory account of the influence of the technology of obtaining materials on the formation of specified properties with a specifically selected composition and structure of materials. This paper reflects the possibility of making changes to the generally accepted paradigm of materials science «composition – structure – technology – properties». It is proposed to introduce the fifth link – reliability, which determines the requirements for the properties of materials and technologies for their production, which also affects the choice of their composition and structure. In addition, reliability is one of the criteria for the quality of materials and allows you to form a unified scientific approach to its assessment. The practical example shows the functional and mathematical dependences of individual reliability indicators and their comparison with the service characteristics of high-manganese steels, as well as the applicability of the developed methodological approach to evaluate the reliability and quality of materials and technologies, taking into account the economic feasibility of using various technologies. Thus, using the proposed methodological approach to assess the reliability of parts, by the example of the manufacture of fine-ground coal bilo, it is determined that it is most profitable to use less alloyed material in the manufacture of bilo, while there is a possibility of increasing the economic effect if the possibility of working surface hardening is provided.

Key words: quality, reliability, material, properties, compliance, paradigm.

References

1. Kun T. Struktura nauchnykh revolyucij. M.: Progress, 1977. 300 p.
2. Grigor'ev S.N. Tekhnologicheskie principy osazhdeniya iznosostojkikh nanopokrytij dlya primeneniya v instrumental'nom proizvodstve // Uchenye zapiski Komsomol'skogo-na-Amure gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Nauki o prirode i tekhnike. 2011. No. I-1(1). P. 92–98.
3. Murav'ev V.I., Evstigneev A.I., Bahmatov P.V., Butin A.V. Analiticheskaya ocenka i razrabotka metodov povysheniya korrozionnoj stojkosti konstrukcionnykh stalej TSPN // Uchenye zapiski Komsomol'skogo-na-Amure gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Nauki o prirode i tekhnike. 2011. No. IV-1(8). P. 92–98.
4. Verhoturov A.D. Grigorij Valentinovich Samsonov – osnovatel' novoj paradigmy v materialovedenii // G.V. Samsonov – uchenyj, uchitel', drug. Kiev: Naukova dumka, 2012. P. 53–63.
5. Verhoturov A.D., Mokrickij B.Ya., Pustovalov D.A. et al. K voprosu o novoj paradigme materialovedeniya // Uchenye zapiski Komsomol'skogo-na-Amure gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Nauki o prirode i tekhnike. 2014. No. III-1(19). P. 92–98.
6. Kozlov S.I. Sovershenstvovanie remontov kak uslovie promyshlennoj bezopasnosti metallurgicheskikh predpriyatij // Mekhanicheskoe oborudovanie metallurgicheskikh zavodov. 2015. No. 2 (5). P. 69–74.
7. Milojević I.S., Rade V. Guberinić stochastic model of forecasting spare parts demand // Vojnotehnički Glasnik. 2012. Vol. 60(1). P. 216–234. DOI 10.5937/vojtehg1201216M.
8. Fragassa C., Pavlovic A., Massimo S. Using a total quality strategy in a new practical approach for improving the product reliability in automotive industry // International Journal for Quality Research. 2014. Vol. 8(3). P. 297–310.
9. Stere A. Dependability and reliability of manufacturing systems // Fiabilitate și Durabilitate. 2014. No. 1. Suppl. 1. P. 99–105.
10. Kosimov K., Mamadzhonov P., Mahmudov R. Kompozicionnye poroshkovye materialy dlya uprochneniya poverhnostej detalej mashin // Rossijskij elektronnyj nauchnyj zhurnal. 2014. No. 1. P. 29–35.
11. Bajgil'din D.Yu. Obzor sushchestvuyushchih sovremennykh materialov dlya vos-stanovleniya detalej mashin // Sovremennye naukoemkie tekhnologii. 2014. No. 5-1. P. 16–18.

12. Medneva A.V., Ri E.H., Hosen R. et al. Elektrodnye materialy iz alyuminidov nikelya dlya elektroiskrovoj obrabotki // Uchenye zametki TOGU. Elektronnoe nauchnoe izdanie. 2016. Vol. 7, No. 4. P. 321–324.
13. Babenko E.G. Teoreticheskie i tekhnologicheskie osnovy povysheniya kachestva i svoystv splavov (pokrytij) pri elektrotermicheskikh processah na baze sozdaniya legiruyushchih svarочно-naplavochnykh materialov s is-pol'zovaniem mineral'nogo syr'ya: Diss. na soiskanie uchenoj stepeni dokt. tekhn. nauk. Komsomol'sk-na-Amure, 2002.
14. Himuhin S.N., Verhoturov A.D. Elektrodnyj material iz belyh chugunov, legirovannyh vol'framom // Perspektivnye materialy. 2006. No. 5. P. 49–53.
15. Protasov V.N. Metodologiya vybora materialov potrebitel'skogo kachestva dlya mashinostroitel'noj produkcii // Territoriya Neftegaz. 2011. No. 4. P. 24–29.
16. Stopalov S. Nadezhnost' traktorov. Dolgovechnost' i bezotkaznost' – chto vazhnee? // Sel'skohozyajstvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont. 2011. No. 7. P. 24–28.
17. Bondareva G.I. Povyshenie nadezhnosti mashin putem razrabotki i optimizacii sposobov vosstanovleniya rabotosposobnosti mashin i oborudovaniya // Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal. 2010. No. 5. P. 85–92.
18. Pronikov A.S. Nadezhnost' mashin. M.: Mashinostroenie, 1978. 592 p.
19. Kugel' R.V. O naturnyh ispytaniyah dolgovechnosti detalej i agregatov mashin. M.: Mashinostroenie, 1970. 237 p.
20. Reshetov D.N. Nadezhnost' i dolgovechnost' mashin. Ucheb. posobie dlya mashinostr. spec. vuzov. M.: Vysshaya shkola, 1988. 240 p.
21. Kugel' R.V. Dolgovechnost' avtomobilej / pod red. d.t.n. prof. A.A. Lipgarta. M.: GNTI Mashinostroitel'noj lit-ry. 1961. 432 p.
22. Strel'cov A.S., Romanov I.O. Sistema ocenok pokazatelej nadezhnosti mashin i diagnostiki ekonomicheskoy celesoobraznosti vosstanovleniya i uprochneniya detalej mashiny // Svarka i Diagnostika. 2016. No. 5 (59). P. 30–35.
23. Romanov I.O., Strel'cov A.S. Funkcional'no matematicheskoe opredelenie pokazatelej nadezhnosti i ustanovlenie zavisimosti kompleksnogo pokazatelya ot edinichnyh na stadiyah izgotovleniya i vosstanovleniya detalej, opredelyayushchih bezotkaznost' mashiny // Nadezhnost'. 2018. Vol. 18. No. 2. P. 10–16.
24. Makaev E.A. Obshchaya teoriya sravnitel'nogo yazykoznaniya. M.: Nauka, 1977. 205 p.
25. Uemov A.I. Sistemnyj podhod i obshchaya teoriya sistem. M.: Mysl', 1978. 272 p.

About the authors

ROMANOV Igor Olegovich, candidate, associate professor, Far Eastern State University of Railway Transport, 47 Seryshev str., Khabarovsk 680021, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-0647-1677>, ig_romanov@mail.ru;

MAKIENKO Victor Mihailovich, doctor of technical sciences, professor, Far Eastern State University of Railway Transport, 47 Seryshev str., Khabarovsk 680021, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-0532-7761>, Mvm_tm@festu.khv.ru;

VOSTRIKOV Yaroslav Alekseevich, senior lecturer, Far Eastern State University of Railway Transport, 47 Seryshev str., Khabarovsk, 680021, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-4328-0976>, ya-vostrikov@mail.ru.

Citation

Romanov I.O., Makienko V.M., Vostrikov Y.A. About the «reliability of the material» paradigm // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2020, Vol. 25, No. 3. P. 152–159. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-3-15>