

МОДИФИКАЦИЯ ЭЛАСТОМЕРА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ**Ли Р. И., Псарев Д. Н., Киба М. Р.**

Реферат. Корпусные детали являются типовыми, наиболее материалоемкими и дорогими деталями. При восстановлении изношенных корпусных деталей существенно снижаются расходы на ремонт техники, уменьшается, в сравнении с изготовлением новых, расход металла, электроэнергии, загрязнение окружающей среды. В отличие от множества других способов, способы восстановления корпусных деталей полимерными материалами являются технологически простыми, не требуют больших энергозатрат и высокой квалификации персонала. Благодаря полимерному слою снижаются напряжения в зоне контакта нагруженных тел с дорожками качения подшипника и повышается его долговечность, отсутствует фреттинг-коррозия и многократно увеличивается ресурс посадки подшипника и корпусной детали. Использование полимерных композитов позволяет существенно повысить эффективность восстановления корпусных деталей. Это обусловлено повышенной теплопроводностью, термо- и теплостойкостью, более низкой ценой композитов в сравнении с не наполненными полимерами. Перспективным направлением в улучшении потребительских свойств материала является наполнение полимерной матрицы наноразмерными частицами. В ЛПТУ разработан и всесторонне исследован нанокompозит на основе эластомера Ф-40, наполненный наночастицами алюминия и меди. Материал предназначен для восстановления посадочных отверстий в корпусных деталях автотракторной техники. В статье приведены результаты экспериментальных исследований и анализ деформационно-прочностных и адгезионных свойств нанокompозита, обоснован его оптимальный состав. Представлены сравнительные результаты исследования теплостойкости и термостойкости эластомера Ф-40 и нанокompозита на основе. Показано, что нанокompозит имеет более высокие потребительские свойства, чем эластомер Ф-40: увеличены прочность и выносливость до 1,3 раза, теплостойкость до 123°C, коэффициенты старения по прочности больше в 1,8 раза, по деформации в 1,4 раза.

Ключевые слова: эластомер, наполнитель, композит, корпусная деталь, отверстие, покрытие, восстановление, эффективность.

Введение. Корпусные детали являются типовыми, наиболее материалоемкими и дорогими деталями. В них размещаются валы, шестерни, подшипники и др. типовые детали. Износ посадочных отверстий в корпусных деталях определяет взаимное пространственное положение вышеперечисленных сопрягаемых деталей, их ресурс и долговечность агрегата в целом. При восстановлении изношенных корпусных деталей существенно снижаются расходы на ремонт техники, уменьшается, в сравнении с изготовлением новых, расход металла, электроэнергии, загрязнение окружающей среды.

В настоящее время разработано большое количество способов восстановления корпусных деталей [1...4]. Корпусные детали восстанавливают установкой дополнительной детали, различными способами наплавки, электроконтактной приваркой стальной ленты, нанесением гальванических покрытий и др. В отличие от других способов, способы восстановления корпусных деталей полимерными материалами являются технологически простыми, не требуют больших энергозатрат и высокой квалификации персонала. Благодаря полимерному слою снижаются напряжения в зоне контакта нагруженных тел с дорожками качения подшипника и повышается его долговечность,

отсутствует фреттинг-коррозия и многократно увеличивается ресурс посадки подшипника и корпусной детали [5]. Использование полимерных композитов позволяет существенно повысить эффективность восстановления корпусных деталей. Это обусловлено повышенной теплопроводностью, термо- и теплостойкостью, более низкой ценой композитов в сравнении с не наполненными полимерами [6...9]. Перспективным направлением в улучшении потребительских свойств материала является наполнение полимерной матрицы наноразмерными частицами [10...12]. Цель настоящих исследований – разработать и всесторонне исследовать нанокompозит на основе эластомера Ф-40, наполненный наночастицами алюминия и меди, предназначенный для восстановления посадочных отверстий в корпусных деталях автотракторной техники (исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Липецкой области в рамках научного проекта №17-48-480268/18).

Методы и результаты исследований. Оптимизацию состава материала проводили при исследованиях деформационно-прочностных и адгезионных свойств нанокompозита.

Деформационно-прочностные свойства

материала оценивали по удельной работе разрушения α_p пленок. Этот параметр характеризует выносливость материала. Чем выше значение этого параметра, тем более стоек материал при циклических нагрузках и, соответственно, выше его выносливость [5]. Испытания пленок проводили при одноосном растяжении на разрывной машине ИР5082-50. Активный эксперимент проводили по композиционному плану B_2 . Функцией отклика Y приняли удельную работу разрушения α , МДж/м³, а независимыми факторами: X_1 – концентрацию наночастиц алюминия (ТУ 1791-003-36280340-2008), масс.ч., X_2 – концентрацию наночастиц меди (ТУ 1791-003-36280340-2008), масс.ч. [13].

В таблице 1 показаны факторы с уровнями и интервалами варьирования. Для регрессионного анализа результатов активного эксперимента использовали методику [14].

В таблице 2 показана матрица планирования композиционного плана B_2 и результаты активного эксперимента.

Однородность дисперсий проверяли по критерию Кохрена. Расчетное значение критерия Кохрена составляет $G_p=0,245$, табличное значение критерия Кохрена – $G_m=0,516$. Так как выполняется условие $G_p < G_m$, можно сделать вывод об однородности дисперсий.

Коэффициенты регрессии:

$$b_0 = +12,88; b_1 = -1,657; b_2 = +0,153; b_{12} = -0,15; b_{11} = -5,08; b_{22} = -4,08.$$

Оценку значимости коэффициентов регрессии проводили сравнением с значениями соответствующих доверительных интервалов:

$$\begin{aligned} \Delta b_0 &= 0,106 < b_0 = +12,88; \\ \Delta b_1 &= \Delta b_{22} = 0,037 \leq b_1 = -1,657; \Delta b_2 = +0,153; \\ \Delta b_{12} &= 0,047 < b_{12} = -0,15; \\ \Delta b_{11} &= \Delta b_{22} = 0,082 < \Delta b_{11} = -5,08; \Delta b_{22} = -4,08. \end{aligned}$$

Коэффициенты регрессии по значению

превышают соответствующие доверительные интервалы, поэтому можно сделать вывод об их значимости.

После раскодирования получили уравнение регрессии в натуральных единицах:

$$Y = -15,296 + 18,903X_1 + 13,509X_2 - 0,15X_1X_2 - 5,08X_1^2 - 4,08X_2^2.$$

Регрессионную модель на адекватность проверяли по критерию Фишера.

Расчетное значение критерия Фишера составляет $F_p=2,03$, табличное значение – $F_m=3,01$. Так как расчетное значение критерия Фишера не превышает табличное можно сделать вывод, что регрессионная модель адекватна.

На рисунке 1 показана поверхность отклика (зависимость удельной работы разрушения пленок нанокompозита от концентрации алюминиевого и медного нанопорошков).

Для построения двумерного сечения поверхности отклика провели каноническое преобразование регрессионной модели (рисунок 2). Координаты точки экстремума, в которой функция отклика имеет максимальное значение: $Y_s = 13,01 \text{ МДж/м}^3$; $X_{1s} = 1,84 \text{ масс.ч}$ наночастиц алюминия; $X_{2s} = 1,62 \text{ масс.ч}$ наночастиц меди.

Проведен анализ двумерного сечения поверхности отклика и определен оптимальный состав нанокompозита: раствор эластомера Ф-40 – 100 масс. ч., наночастицы алюминия – 1,9 масс. ч. и меди – 1,7 масс. ч.

Оценку адгезии покрытий нанокompозита к подложке из стали 45 проводили по прочности связи покрытия с металлом при отслаивании [15].

Проведены испытания покрытий различного состава нанокompозита: 1) эластомер Ф-40 – 100 масс. ч., Al – 1 масс.ч., Si – 0,6 масс.ч. ; 2) эластомер Ф-40 – 100 масс. ч., Al – 2 масс.ч., Si – 1,6 масс.ч. ; 3) эластомер Ф-40 – 100

Таблица 1 – Факторы с уровнями и интервалами варьирования

Наименование фактора	Кодированное обозначение фактора	Уровни варьирования фактора			Интервалы варьирования фактора
		нижний	нулевой	верхний	
Концентрация нанопорошка: алюминия меди	X_1	1	2	3	1
	X_2	0,6	1,6	2,6	1

Таблица 2 – Матрица плана B_2 и результаты активного эксперимента

№ п/п	X_1	X_2	Y_1	Y_2	Y_3	Y_{cp}	$Y_{расч}$	S_g^2
1	-1	-1	5,30	5,18	5,21	5,23	5,08	0,0039
2	+1	-1	2,25	2,28	2,33	2,29	2,06	0,0033
3	-1	+1	5,43	5,47	5,45	5,45	5,68	0,0008
4	+1	+1	1,87	1,95	1,91	1,91	2,06	0,0032
5	-1	0	9,45	9,57	9,58	9,53	9,46	0,0116
6	+1	0	6,13	6,04	6,03	6,07	6,14	0,0061
7	0	-1	8,25	8,20	8,33	8,26	8,64	0,0086
8	0	+1	9,27	9,41	9,33	9,34	8,95	0,0099

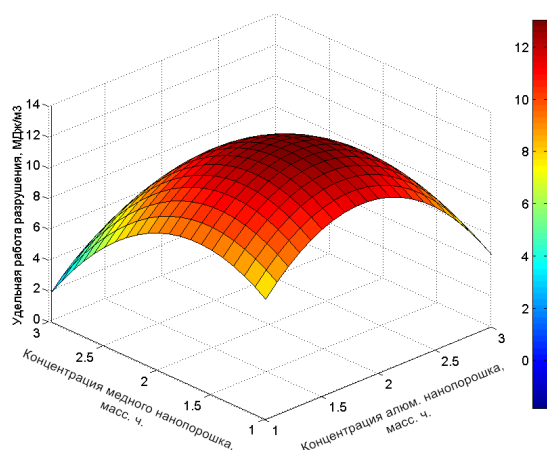


Рисунок 1 – Поверхность отклика при различном содержании

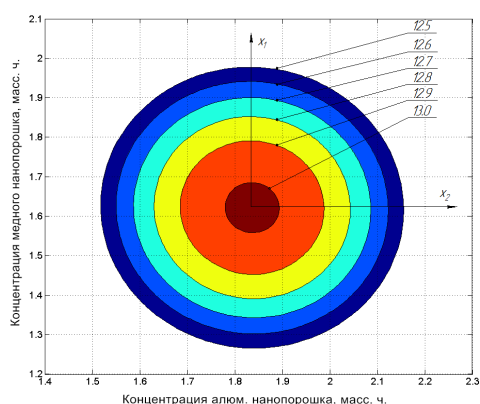


Рисунок 2 – Двумерное сечение поверхности отклика

масс. ч., $Al-3$ масс.ч., $Si - 2,6$ масс.ч.

Сравнительные результаты испытаний покрытий не наполненного эластомера Ф-40 и нанокомпозитов на его основе показаны на рисунке 3. Покрытия не наполненного эластомера Ф-40 имеют наименьшую адгезию к стали 45, $F = 3310Н/м$. Адгезия покрытий состава №1 в 1,83 раза больше аналогичного параметра не наполненного эластомера и составляет $F = 6080Н/м$. Покрытия состава №2 имеют максимальную адгезию $F = 9560Н/м$, что в 2,89 раза больше аналогичного параметра не наполненного эластомера Ф-40 и 1,57 раза больше покрытий состава №1. Показатель прочности при отслаивании покрытий состава №3 снизился в 1,17 раза в сравнении с составом №2 до $F = 8120Н/м$. В отношении покрытий состава №1 и не наполненного эластомера Ф-40 этот показатель увеличился в 1,33 и 2,45 раза соответственно. Следовательно, максимальную адгезию к стали 45 имеют покрытия состава №2.

Проведенные исследования выявили оптимальный состав нанокомпозита, при котором материал обладает максимальными деформационно-прочностными и адгезионными свой-

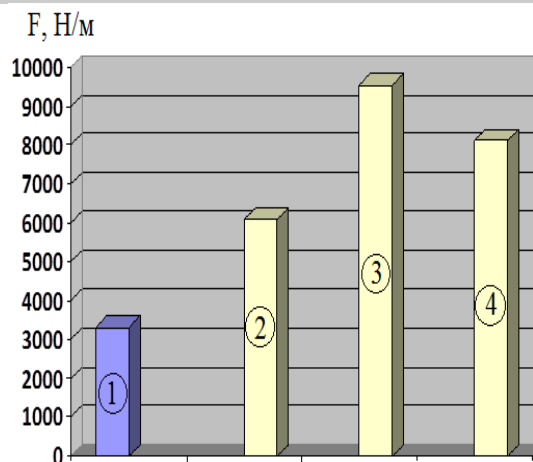


Рисунок 3 – Адгезия покрытий эластомера Ф-40 и нанокомпозитов на его основе:
1 – эластомер Ф-40; 2 – состав №1;
3 – состав №2; 4 – состав №3

ствами: раствор эластомера Ф-40 – 100 масс. ч., наночастицы $Al-1,9$ масс.ч., $Si - 1,7$ масс.ч. На состав нанокомпозита получен патент на изобретение РФ №2569547.

Далее исследовали теплостойкость нанокомпозита на основе эластомера Ф-40. Если нагревать полимер до температуры выше температуры теплостойкости модуль упругости материала резко понизится. Температуру, при которой фиксировали резкое снижение модуля упругости материала, приняли за температуру теплостойкости. Образцы представляли собой цилиндрические стальные диски диаметром 30 и высотой 5 мм на которые нанесены покрытия из нанокомпозита толщиной 0,2 мм [2]. В ходе испытаний нагружали стальной шарик-индентор и измеряли глубину его внедрения при различных температурах.

Модуль упругости рассчитывали по формуле Герца

$$E = 0,795 \frac{P}{\Delta^{3/2} d^{1/2}},$$

где P – нагрузка на шарик, Н; D – глубина погружения шарика-индентора в полимерное покрытие, м; d – диаметр шарика, м.

Результаты исследования теплостойкости покрытий нанокомпозита представлены на рисунке 4.

Теплостойкость эластомера Ф-40 составляет $100^{\circ}C$ [5]. Температура теплостойкости нанокомпозита выше в 1,23 раза и достигает $123^{\circ}C$.

Увеличение теплостойкости обусловлено внедрением наночастиц в полимерные цепи и возникновением в итоге сетчатых образований, в которых узлами являются наночастицы. По этой причине молекулярная подвижность полимерных цепей уменьшается,

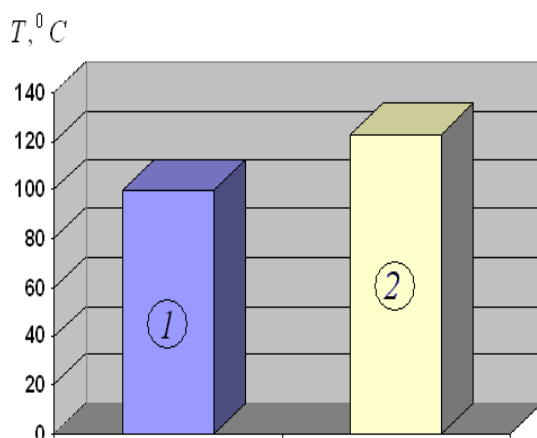


Рисунок 4 – Температура теплостойкости:
1 – эластомер Ф-40 [5];
2 – нанокompозит на его основе

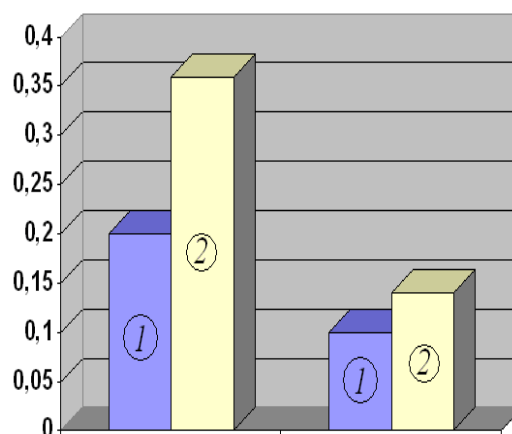


Рисунок 5 – Коэффициенты старения по условной прочности K_{σ} и относительному удлинению K_{ϵ} : 1 – эластомер Ф-40; 2 – нанокompозит на его основе

Таблица 3 – Показатели прочности и деформации эластомера Ф-40 и нанокompозита до и после высокотемпературного старения

Наименование показателя	Эластомер Ф-40	Нанокompозит на его основе
До старения		
Прочность σ_p , МПа	11,8	15,4
Деформация ϵ_p , %	194	81
После старения		
Прочность σ_p , МПа	2,4	5,6
Деформация ϵ_p , %	19	11
Коэффициент старения по прочности K_{σ}	0,2	0,36
Коэффициент старения по деформации K_{ϵ}	0,1	0,14

а теплостойкость материала увеличивается [10].

На завершающем этапе проводили исследования термостойкости нанокompозита на основе эластомера. Оценку этого параметра осуществляли по изменению прочности и деформации материала после старения. Старение проводили в течение 2 ч при ограниченном доступе воздуха кислорода и температуре 250°C [11]. Показатели прочности и деформации материалов до и после высокотемпературного старения показаны в табл. 3.

Коэффициенты старения по прочности K_{σ} и относительному удлинению K_{ϵ} материалов представлены на рисунке 5.

Из рисунка 5 следует, что коэффициенты старения нанокompозита увеличились в срав-

нении с не наполненным эластомером Ф-40, по прочности в 1,8 раза, деформации в 1,4 раза. Следовательно, можно сделать вывод об увеличении термостойкости нанокompозита.

Выводы. Разработан новый нанокompозит для восстановления корпусных деталей автотракторной техники. Оптимальный состав нанокompозита на основе эластомера Ф-40 с оптимальным составом: раствор эластомера Ф-40 – 100 масс. ч., наночастицы Al – 1,9 масс.ч., Si – 1,7 масс.ч. (патент на изобретение РФ №2569547).

Нанокompозит имеет более высокие потребительские свойства, чем эластомер Ф-40: увеличены прочность и выносливость до 1,3 раза, теплостойкость до 123°C, коэффициенты старения по прочности больше в 1,8 раза, по деформации в 1,4 раза.

Литература

1. Коломейченко А.В. Технология восстановления с упрочнением деталей машин на основе применения микродугового оксидирования / Коломейченко А.В., Кравченко И.Н., Пузряков А.Ф., Логачёв В.Н., Титов Н.В. Строительные и дорожные машины. – 2014. – № 10. – С. 16-21.
2. Кононенко, А. С. Повышение надежности неподвижных фланцевых соединений сельскохозяйственной техники использованием наноструктурированных герметиков: дис ... докт. техн. наук. / Кононенко А. С. – М., 2012, – 405 с.
3. Жачкин С.Ю. Моделирование механического воздействия инструмента при получении гальванических композитных покрытий [Текст] / Жачкин С.Ю., Краснова М.Н., Пеньков Н.А., Краснов А.И. Труды ГОСНИТИ. 2015. Т. 120. С. 130-134.

4. Ли Р. И. Технологии восстановления и упрочнения деталей автотракторной техники [Текст] / Р.И. Ли // Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2014. – 379 с.
5. Курчаткин В. В. Восстановление посадок подшипников качения сельскохозяйственной техники полимерными материалами [Текст]: дис ... док. техн. наук. / Курчаткин В.В. – М., 1989, – 407 с.
6. Ли Р. И. Полимерные композиционные материалы для фиксации подшипников качения в узлах машин [Текст]: монография / Р.И. Ли. – Липецк: Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2017. – 224 с.
7. R. I. Li, A.V. Butin, S.P. Ivanov, D.V. Mashin. A promising polymer composite material for increasing the efficiency of recovery of basic parts of automotive engineering. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2014, Vol. 7, No. 3, pp. 233–237.
8. R. I. Li, F. A. Kirsanov, M. R. Kiba. Technology and Equipment for High-Precision Polymer Restoration of Fitment Holes in Automotive Housing Parts. . ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2016, Vol. 9, No. 3, pp. 312-316.
9. R. I. Li, D. N. Psarev. A Model for Forming a Uniform Polymer Coating on the External Surface of a Rotating Cylinder. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2015, Vol. 8, No. 3, pp. 249–252.
10. Помогайло А. Д. Наночастицы металлов в полимерах [Текст] / А. Д. Помогайло, А. С. Розенберг, И. Е. Уфлянд. – Москва : Химия, 2000. – 672 с.
11. Михайлюк А. Е. Разработка эластомерных материалов на основе этиленпропиленовых каучуков, модифицированных высокодисперсными частицами металлов [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / Михайлюк А.Е. – Волгоград, 2014. – 140 с.
12. Кононенко А.С. Повышение стойкости полимерных композитов холодного отверждения к воздействию рабочих жидкостей использованием наноматериалов. [Текст] / Кононенко А.С., Дмитраков К.Г. // Международный технико-экономический журнал. – 2015. – № 1. – С. 89-94.
13. <http://www.nanosized-powders.com>
14. Ли Р. И. Основы научных исследований [Текст] : Учеб. пособие / Р.И. Ли. – Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2013. – 190 с.
15. ГОСТ 21981-76. Метод определения прочности связи с металлом при отслаивании (проб) [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 7 с.

Сведения об авторах

Ли Роман Иннакентьевич – доктор технических наук, профессор, e-mail: romanlee@list.ru.
 ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк, Россия.
 Псарев Дмитрий Николаевич – кандидат технических наук, e-mail: psarev_380@mail.ru.
 ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», г. Мичуринск, Россия.
 Кибя Мария Романовна – инженер кафедры «Транспортные средства и техносферная безопасность», e-mail: damsel_91@mail.ru.
 ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», г. Липецк, Россия.

MODIFICATION OF ELASTOMER FOR RESTORATION OF CASE PARTS OF AUTOTRACTOR ENGINEERING

Lee R.I., Psarev D.N., Kiba M.R.

Abstract. Body parts are typical, most material-intensive and expensive parts. When repairing worn out hull details, the costs for repairing equipment are significantly reduced, in comparison with the manufacture of new ones, the consumption of metal, electricity, and environmental pollution is reduced.

Unlike many other methods, the methods of restoring body parts with polymeric materials are technologically simple, do not require large energy inputs and high qualification of the personnel. Due to the polymer layer, the stresses in the contact zone of loaded bodies with the bearing raceways decrease and its durability increases, there is no fretting corrosion and the service life of the bearing and body part increases manifold. The use of polymeric composites can significantly improve the efficiency of restoring body parts. This is due to increased thermal conductivity, thermal and heat resistance, lower cost of composites in comparison with non-filled polymers. A promising direction in improving the consumer properties of the material is the filling of the polymer matrix with nanoscale particles. The nanocomposite based on elastomer F-40 filled with aluminum and copper nanoparticles has been developed and thoroughly studied at the LSTU. The material is designed to restore the landing holes in the hull parts of the tractor equipment. The article presents the results of experimental studies and analysis of deformation-strength and adhesion properties of a nanocomposite, its optimal composition is justified. Comparative results of the study of heat resistance and thermal stability of the F-40 elastomer and a nanocomposite based on are presented. It is shown that the nanocomposite has higher consumer properties than the F-40 elastomer: the strength and endurance are increased to 1.3 times, the heat resistance is up to 123C, the aging coefficients are 1.8 times higher in strength, 1.4 times in deformation.

Key words: elastomer, filler, composite, body part, hole, coating, restoration, efficiency.

References

1. Kolomeychenko A.V. Technology of restoration with hardening of machine parts on the basis of microarc oxidation application. [Tekhnologiya vosstanovleniya s uprochneniem detaley mashin na osnove primeneniya mikrodrugovogo oksidirovaniya]. / Kolomeychenko A.V., Kravchenko I.N., Puzryakov A.F., Logachov V.N., Titov N.V. *Stroitelnye i dorozhnyye mashiny. - Construction and road machines.* 2014. №10. P. 16-21.
2. Kononenko A.S. *Povyshenie nadezhnosti nepodviznykh flantsyevykh soedineniy selskokhozyaystvennoy tekhniki ispolzovaniem nanostrukturirovannykh germetikov: dis ... dokt. tekhn. nauk.* (Increase of reliability of fixed flange joints of

agricultural machinery using nanostructured sealers: dissertation for a degree of Doctor of Technical sciences). / Kononenko A. S. – M., 2012, – P. 405.

3. Zhachkin S.Yu. *Modelirovanie mekhanicheskogo vozdeystviya instrumenta pri poluchenii galvanicheskikh kompozitnykh pokrytiy*. [Modeling of the mechanical action of the tool in the preparation of galvanic composite coatings]. / Zhachkin S.Yu., Krasnova M.N., Penkov N.A., Krasnov A.I. Trudy GOSNITI. 2015. Vol. 120. P. 130-134.

4. Li R.I. *Tekhnologii vosstanovleniya i uprochneniya detaley avtotraktornoy tekhniki*. [Technologies of restoration and hardening of parts of automotive engineering]. / R.I. Li // Lipetsk : Izd-vo LGTU, 2014. – P. 379.

5. Kurchatkin V.V. *Vosstanovlenie posadok podshipnikov kacheniya selskokhozyaystvennoy tekhniki polimernymi materialami: dis ... dok. tekhn. nauk*. (Restoration of bearing fits of rolling of agricultural machinery by polymeric materials: dissertation for a degree of Doctor of Technical sciences). / Kurchatkin V.V. – M., 1989, – P. 407.

6. Li R.I. *Polimernye kompozitsionnye materialy dlya fiksatsii podshipnikov kacheniya v uzlakh mashin: monografiya*. [Polymer composite materials for fixing rolling bearings in machine units: monograph]. / R.I. Li. – Lipetsk: Izd-vo Lipetskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2017. – P. 224.

7. R. I. Li, A.V. Butin, S.P. Ivanov, D.V. Mashin. A promising polymer composite material for increasing the efficiency of recovery of basic parts of automotive engineering. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2014, Vol. 7, No. 3, P. 233–237.

8. R. I. Li, F. A. Kirsanov, M. R. Kiba. Technology and Equipment for High-Precision Polymer Restoration of Fitment Holes in Automotive Housing Parts. . ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2016, Vol. 9, No. 3, P. 312-316.

9. R. I. Li, D. N. Psarev. A Model for Forming a Uniform Polymer Coating on the External Surface of a Rotating Cylinder. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2015, Vol. 8, No. 3, P. 249–252.

10. Pomogaylo A. D. *Nanochastitsy metallov v polimerakh*. [Nanoparticles of metals in polymers]. / A.D. Pomogaylo, A. S. Rozenberg, I. E. Uflyand. – Moskva: Khimiya, 2000. – P. 672.

11. Mikhaylyuk A.E. *Razrabotka elastomernykh materialov na osnove etilenpropilenovykh kauchukov, modifitsirovannykh vysokodispersnyimi chastitsami metallov: dis. ... kand. tekhn. nauk*. (Elastomeric materials development based on ethylene-propylene rubbers, modified with highly dispersed metal particles: dissertation for a degree of Ph.D. of Technical sciences). Mikhaylyuk A.E. – Volgograd, 2014. – P. 140.

12. Kononenko A.S. Increase the resistance of cold-cured polymer composites to the effects of working fluids using nanomaterials. [Povyshenie stoykosti polimernykh kompozitov kholodnogo otverzhdeniya k vozdeystviyu rabochikh zhidkostey ispolzovaniem nanomaterialov]. / Kononenko A.S., Dmitrakov K.G. // *Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskyy zhurnal. - International Technical and Economic Journal*. – 2015. – № 1. – P. 89-94.

13. Available at: <http://www.nanosized-powders.com>

14. Li, R. I. *Osnovy nauchnykh issledovaniy [Tekst] : Ucheb. posobiye / R.I. Li // Lipetsk : Izd-vo LGTU, 2013. – 190 s.*

15. GOST 21981-76. *Metod opredeleniya prochnosti svyazi s metallom pri otslaivani (prob) [Tekst]*. – M.: Izd-vo standartov, 1976. – 7 s.

Authors:

Lee Roman Innakentievich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Vehicles and Technospheric Security Department, Lipetsk State Technical University, 30 Moskovskaya street, Lipetsk, e-mail: romanlee@list.ru.

Psarev Dmitriy Nikolaevich – Ph.D. of Technical Sciences, Deputy Director of Engineering Institute, Michurinsky State Agrarian University, 101 Internatsionalnaya Street, Michurinsk, Tambov Region, e-mail: psarev_380@mail.ru.

Kiba Mariya Romanovna – Engineer of the Vehicles and Technospheric Security Department, Lipetsk State Technical University, e-mail: damsel_91@mail.ru