Тип статьи: научная
УДК 621.822.6.004.67: 668.3: 631.3.02
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-5-110-119

МЕТОД РАСЧЕТА УСТАНОВОК ИНФРАКРАСНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ ПОКРЫТИЙ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

Роман Иннакентьевич Ли[1], Юлия Николаевна Ризаева[2], Андрей Николаевич Быконя[3], Дмитрий Николаевич Псарев[4], Мария Романовна Киба[5]
[1,2,3]Липецкий государственный технический университет, г. Липецк, Россия
[4]Мичуринский государственный аграрный университет, г. Мичуринск, Россия
[5]Санкт-Петербургский государственный горный университет», г. Санкт-Петербург, Россия
[1] romanlee@list.ru, https://orcid.org/0000-0003-4880-6081
[2] https://orcid.org/0000-0002-9062-5471
[3] https://orcid.org/0000-0001-9609-9620
[4] https://orcid.org/0000-0002-0806-3554
[5] https://orcid.org/0000-0001-9999-8146

Автор ответственный за переписку: Ли Роман Иннакентьевич, romanlee@list.ru
Corresponding author: Roman Li, romanlee@list.ru

Реферат. *Применение полимерных покрытий для восстановления изношенных подшипниковых отверстий в корпусных деталях автотракторной техники обеспечивает многократное увеличение их ресурса, снижение затрат на ремонт, повышение надежности. Наиболее высокая эффективность достигается при нанесении эластомерных покрытий. Для вулканизации материала и достижения высоких механических свойств покрытие, после нанесения, подвергается термической обработке конвективным или терморадиационным способами. Покрытия после обработки терморадиационным способом, по сравнению с конвективным, обладают существенно меньшей пористостью и более высоким качеством. Разработана модель инфракрасного нагрева корпусных деталей типа I (корпуса коробок передач, корпуса раздаточных коробок автомобилей и тракторов), которая учитывает теплоёмкость материала и конструктивные параметры детали, температуру окружающей среды и установившуюся температуру детали при нагреве, конструктивные параметры установки инфракрасного излучения. Модель позволяет рассчитать скорость повышения температуры и время нагрева детали до необходимой температуры посредством инфракрасного нагрева. В статье подробно описывается алгоритм и приведена компьютерная программа расчета конструктивных и технологических параметров установки инфракрасной обработки эластомерных покрытий, нанесенных при восстановлении подшипниковых отверстий в корпусных деталях техники. Нагрев корпусов коробок передач автомобилей ГАЗ-24 и ГАЗ-53А показал высокое совпадение расчетных и экспериментальных значений параметров инфракрасного нагрева. Различие фактической температуры нагрева корпусной детали от расчетной составляет от 1,5 до 2,4%, времени нагрева – от 6,1 до 8,2%, что является подтверждением корректности разработанного метода расчета конструктивных и технологических параметров инфракрасных установок. Проведена экспериментальная оценка качества эластомерных покрытий после термической обработки различными способами. В сравнении с конвективным способом, после инфракрасной обработки качество покрытий эластомера Ф-40С повысилось: площадь разрушенного покрытия уменьшилась в 1,33 раза, концентрация пор в покрытии – в 1,24 раза.*

Ключевые слова: *корпусная деталь, износ, эластомерное покрытие, инфракрасный нагрев, установка, метод расчета, конструкция, режим, дефектность.*

METHOD OF CALCULATION OF INFRARED TREATMENT UNITS OF POLYMER COATINGS DURING BODY RECOVERY COMPONENTS OF AUTOMOTIVE EQUIPMENT

Roman Li[1], Yulia Rizaeva[2], Andrew Bykonya[3], Dmitry Psarev[4], Maria Kiba[5]
[1, 2, 3]*Lipetsk State Technical University, Lipetsk, Russia*
[4]*Michurinsk State Agrarian University, Michurinsk, Russia*
[5]*St. Petersburg State Mining University», St. Petersburg, Russia*
[1] romanlee@list.ru, https://orcid.org/0000-0003-4880-6081
[2] https://orcid.org/0000-0002-9062-5471
[3] https://orcid.org/0000-0001-9609-9620
[4] https://orcid.org/0000-0002-0806-3554
[5] https://orcid.org/0000-0001-9999-8146

Abstract. *Application of polymer coatings for restoration of worn-out bearing holes in housing parts of automotive equipment provides multiple increase of their service life, reduction of repair costs, improvement of reliability. The highest efficiency is achieved by applying elastomeric coatings. To cure the material and achieve high mechanical properties, the coating, after application, is subjected to thermal treatment by convective or thermoradiation methods. Coatings after treatment by a thermoradiation method, in comparison with convective, have significantly lower porosity and higher quality. A model of infrared heating of type I body parts (gearbox housing, car and tractor transfer case housing) has been developed, which takes into account the heat capacity of the material and the design parameters of the part, the ambient temperature and the steady temperature of the part during heating, the design parameters of the infrared radiation installation. The model allows you to calculate the rate of temperature increase and the time of heating the part to the required temperature by infrared heating. The article describes in detail the algorithm and provides a computer program for calculating the structural and technological parameters of the infrared processing plant for elastomeric coatings applied during the restoration of bearing holes in the body parts of the equipment. Heating of the gearbox housings of GAZ-24 and GAZ-53A cars showed a high coincidence of the design and experimental values of infrared heating parameters. The difference between the actual heating temperature of the body part and the design temperature is from 1.5 to 2.4%, the heating time is from 6.1 to 8.2%, which is a confirmation of the correctness of the developed method for calculating the structural and technological parameters of infrared installations. An experimental assessment of the quality of elastomeric coatings after heat treatment by various methods was carried out. Compared to the convective method, after infrared treatment, the quality of elastomer coatings increased F-40S: the area of the destroyed coating decreased by 1.33 times, the concentration of pores in the coating - by 1.24 times.*

Keywords: *body part, wear, elastomeric coating, infrared heating, installation, calculation method, design, mode, defect.*

Для цитирования: Ли Р.И., Ризаева Ю.Н., Быконя А.Н., Псарев Д.Н., Киба М.Р. Метод расчета установок инфракрасной обработки полимерных покрытий при восстановлении корпусных деталей автотракторной техники // Наука в центральной России. 2022. № 5 (59), С. 110-119. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-110-119.

For citation: Li R., Rizaeva Y., Bykonya A., Psarev D., Kiba M. Method of calculation of infrared treatment units of polymer coatings during body recovery components of automotive equipment. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 5(59): 110-119. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-5-110-119.

Введение. Эффективность работы агропромышленных предприятий России существенным образом характеризуется показателями цены на производимую продукцию. Финансовые затраты на техническую эксплуатацию автомобилей и тракторов являются значимой статьей при формировании себестоимости сельскохозяйственной продукции. Эти затраты существенно

снижаются при восстановлении изношенных деталей. Максимальный экономический и технический эффект наблюдается в случае восстановления корпусных деталей. Эти детали отличаются большой материалоемкостью и ценой, а затраты на их восстановление не велики.

Современные технологии восстановления позволяют компенсировать повышенные значения износов, многократно увеличивать ресурс детали и, соответственно повышать надежность узлов и агрегатов машины [1 - 5].

Восстановление подшипниковых отверстий в корпусных деталях эластомерными покрытиями отличается простотой технологии и низкими затратами, многократно увеличивает ресурс подшипниковых узлов [6 - 10].

Для вулканизации материала и достижения высоких механических свойств покрытие, после нанесения, подвергается термической обработке конвективным способом. К основным недостаткам конвективного способа термической обработки следует отнести повышенную энергоемкость способа, стационарность, повышенную материалоемкость и громоздкость нагревательного оборудования, относительно высокую пористость обработанных покрытий. Терморадиационный способ сушки, по сравнению с конвективным, выгодно отличается пониженным энергопотреблением, мобильностью оборудования, значительно меньшей пористостью и более высоким качеством эластомерных покрытий [11 - 13].

Авторами разработаны математическая модель инфракрасного нагрева подшипниковых щитов электродвигателей [14] и метод расчета параметров нагрева этих деталей [15]. Последующие теоретические исследования привели к разработке математической модели инфракрасного нагрева корпусных деталей автотракторной техники: корпуса коробки передач и раздаточной коробки [16]. На основе модели разработан метод, включающий алгоритм и компьютерную программу расчета конструктивных и технологических параметров установки инфракрасной обработки эластомерных покрытий при восстановлении этих (исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-38-90227/19).

Результаты и обсуждение.

Алгоритм расчета конструктивных и технологических параметров установки инфракрасной обработки эластомерных покрытий в корпусной детали

Алгоритм расчета состоит из следующих операций:

1. Исходные данные для расчета: $M_{КД}$ – масса корпусной детали, кг; h, z, l – высота, ширина и длина детали, м; w – толщина стенки детали, м; C_v – теплоёмкость материала детали, $\frac{Дж}{кг \cdot K}$; λ – коэффициент теплопроводности материала детали; $\frac{Вт}{м \cdot К}$; ρ – плотность материала, кг/м^3; ε – степень черноты серого тела, для чугуна ε = 0,60…0,70, для алюминия $\varepsilon = 0{,}21...0{,}30$; C_0 – постоянная Стефана-Больцмана, C_0 =5,67 $\frac{Вт}{м^2К^4}$; T_1 –температура термической обработки полимерных покрытий в корпусной детали, К; T_0 – температура окружающей среды, К; d – приведенный диаметр отверстий под подшипники, м; конструктивные параметры инфракрасных излучателей, которые выбираются из базы данных для расчета: $Q_{излi}$ – мощность i-го излучателя электрическая, Вт; μ_i – КПД i-го излучателя; φ_i – угол рассеивания отражателя, рад; $L_{излi}$ – длина i-го излучателя, м; где $i = 1...n$ – порядковый номер излучателя в базе данных для расчета.

2. Выбор i-го излучателя, для нагрева по ширине z торцевой части детали, на основе условия $L \geq z$ с использованием оператора цикла.

3. Определение экспериментального значения константы нагрева $H_{эксп}$ для восстанавливаемой корпусной детали.

4. Определение общей площади поверхности детали по выражению $F = 4h(l+z) + 2zl - \frac{\pi d^2}{4}$, м^2.

5. Определение коэффициента теплоотдачи детали при свободной конвекции по выражению

$$k_{\text{КД}} = \frac{C_v M_{\text{КД}}}{H_{\text{эксп}} F} - \frac{\varepsilon C_0}{25}\left(\frac{T_1}{100}\right)^3 .$$

6. Расчет коэффициентов a и b по формулам:

$$a = \frac{\varepsilon C_0}{10^8} \text{ и } b = \sqrt{\frac{2\left(k_{\text{КД}} + 4aT_0^{\,3}\right)}{\lambda w}}$$

7. Определение градиента температуры вдоль боковой стенки детали по выражению

$$T_{\text{ст}} = T_0 + \frac{T_1 - T_0}{\text{sh}(bl)}\left\{ \text{sh}(bx) + \text{sh}\left[\ b(l-x)\ \right] \right\},$$

где x – переменная, изменяющаяся вдоль длины боковой стенки, $0 \le x \le l$.

8. Расчет теплового потока q_1, необходимого для нагрева двух торцевых стенок корпусной детали

$$q_1 = \frac{(T_1 - T_0) M C_v}{H_{\text{эксп}}},$$

где M – масса двух торцевых стенок, $M = 2zhw\rho$, кг.

9. Расчет теплового потока $q_{\text{бокст2}}$, передаваемого боковой стенке детали в ходе установившегося режима нагрева:

$$q_{\text{бокст2}} = 2\left[\int_0^l \varepsilon C_0\left(\frac{T_{\text{ст}}}{100}\right)^4 h\text{d}x + \int_0^l k_{\text{КД}}(T_{\text{ст}} - T_0) h\text{d}x\right]$$

10. Определение теплового потока $q_{\text{нижст2}}$, передаваемого нижней стенке в ходе установившегося режима нагрева:

$$q_{\text{нижст2}} = 2\int_0^l \varepsilon C_0\left(\frac{T_{\text{ст}}}{100}\right)^4 z\text{d}x + \int_0^l k_{\text{КД}}\left(T_{\text{ст}} - T_0\right) z\text{d}x$$

11. Расчет суммарного теплового потока q_2, передаваемого двум боковым и нижней стенкам детали в ходе установившегося режима нагрева:

$$q_2 = 2q_{\text{бокст2}} + q_{\text{нижст2}}$$

12. Определение расстояния от излучателя до детали L, обеспечивающего облучение торцевой стенки детали по высоте h по формуле

$$L = \frac{h \cdot \text{tg}\left(\frac{\alpha_0}{2}\right)}{2}$$

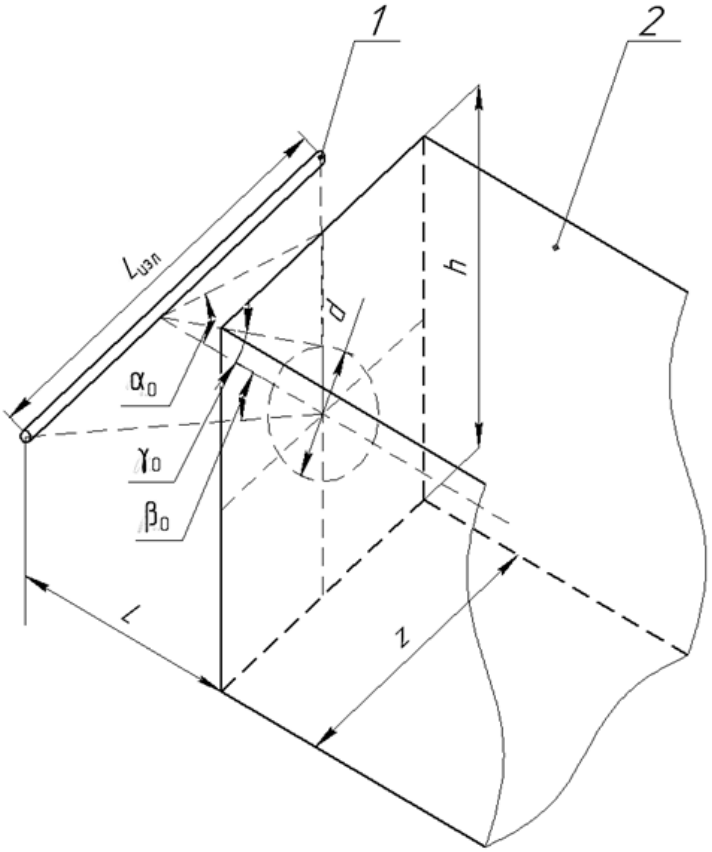
13. Расчет значения допускаемого теплового потока при нагреве корпусной детали до значения установившейся температуры по выражению

$$[q] = q_1 + q_2 .$$

14. Выбор по конструктивным параметрам j-го инфракрасного излучателя (рисунок 1), который обеспечит тепловой поток, равный допускаемому тепловому потоку $[q]$, с использованием оператора цикла и формулы (1)

$$q_{\text{изл}} = 2\left[\frac{4\mu\varepsilon Q_{\text{изл}}\sin(\beta_0)z\alpha_0}{l\varphi} - \frac{8\mu Q_{\text{изл}}\sin(\beta_0)}{l\varphi}\int_0^{\gamma_0}\sqrt{\frac{d^2}{4}-(L\text{tg}\gamma)^2}\,\text{d}\gamma\right], \qquad (1)$$

где α_0 – предельное значение угла α (рисунок 2), $\alpha_0 = \text{arctg}\left(\frac{D}{2L}\right)$; β_0 – предельное значение угла β (рисунок 2), $\beta_0 = \text{arctg}\left(\frac{l}{2L}\right)$, рад; $\gamma_0 = \text{arctg}\left(\frac{d}{2L}\right)$.



1 – инфракрасный излучатель; 2 – корпусная деталь; $\angle\alpha_0$ – предельный угол падения инфракрасного луча на поверхность корпусной детали в вертикальной плоскости; $\angle\beta_0$ – угол обзора инфракрасного излучателя из центра корпусной детали в горизонтальной плоскости; $\angle\gamma_0$ – угол обзора отверстия в корпусной детали из центра излучателя в вертикальной плоскости; L – расстояние от инфракрасного излучателя до корпусной детали; $L_{изл}$ – длина инфракрасного излучателя; h – высота корпусной детали; z – ширина корпусной детали

Рисунок 1 - Инфракрасный нагрев [16]

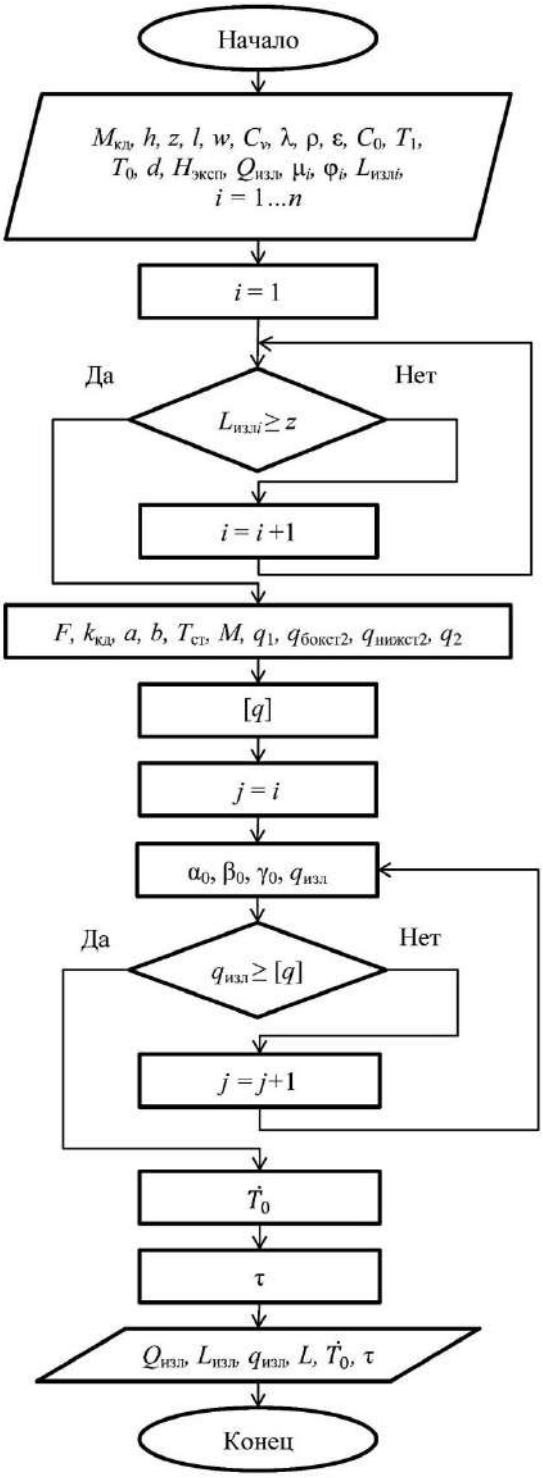


Рисунок 2. Блок-схема компьютерного расчета конструктивных и технологических параметров инфракрасной установки для обработки полимерных покрытий

13. Определение скорости повышения температуры детали

$$\dot{T}_0 = \frac{q_{\text{изл}}}{2C_v M} \qquad (2)$$

14. Расчет по формуле (3) времени инфракрасного нагрева τ корпусной детали до заданной температуры T_1

$$\tau = H_{\text{эксп}} \ln\left(\frac{1}{1 - \frac{T_1 - T_0}{\dot{T}_0 H_{\text{эксп}}}}\right) \qquad (3)$$

На основе вышеописанного алгоритма разработали блок-схему компьютерного расчета (рисунок 2).

Используя блок-схему компьютерного расчета и среду разработки *Lazarus* (*Free Pascal*) разработали компьютерную программу расчета конструктивных и технологических параметров установки инфракрасной обработки эластомерных покрытий в ходе восстановления корпусных деталей. Ее интерфейс показан на рисунке 3.

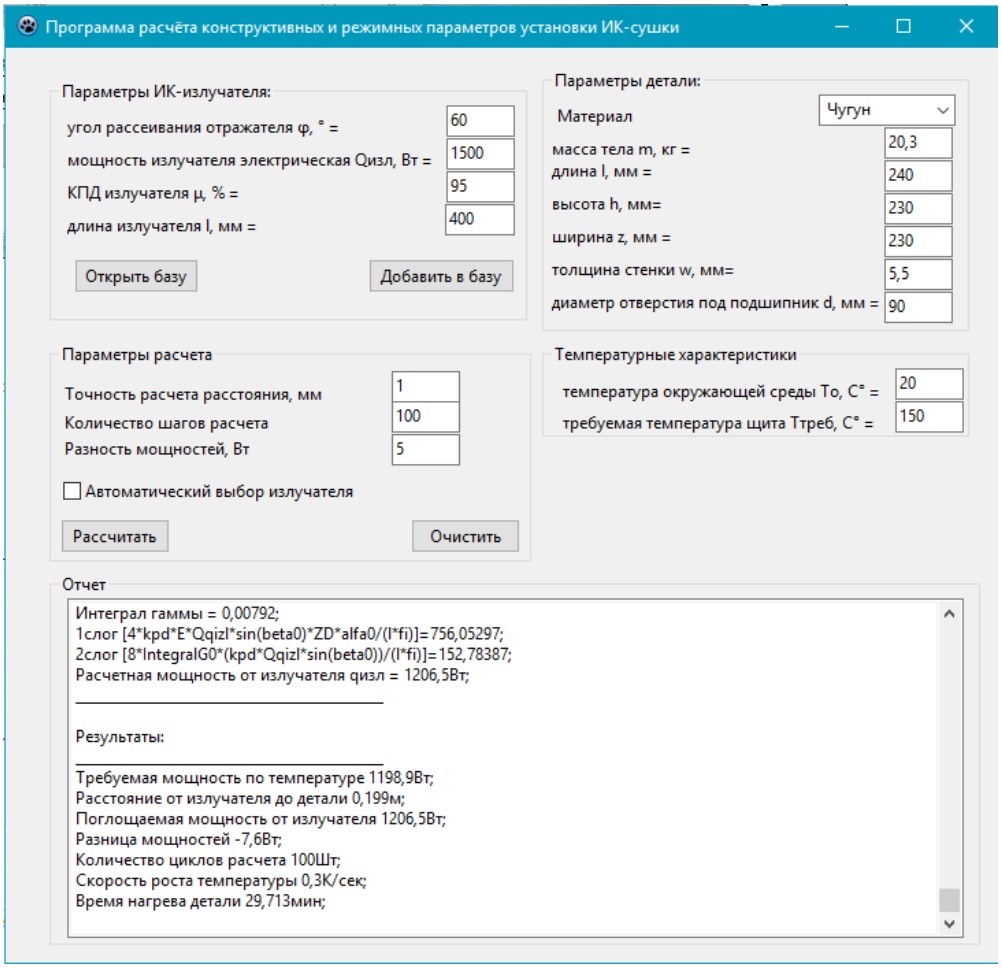


Рисунок 3 - Интерфейс программы

В программу входит база данных с конструктивными характеристиками инфракрасных излучателей и отражателей, которую можно корректировать, вводя новые технические характеристики инфракрасного оборудования.

По завершении расчета программа печатает: конструктивные ($Q_{изл}$, l) и технологические параметры (L, τ) инфракрасной установки для обработки полимерных покрытий.

Результаты экспериментальных исследований

Корректность компьютерной программы расчета конструктивных и технологических параметров установки инфракрасной обработки полимерных покрытий проверяли проведением контрольного эксперимента. Образцами являлись корпусы коробки передач 24-1701015 и 53А-1700010-05 автомобилей ГАЗ-24 и ГАЗ-53 с изношенными подшипниковыми отверстиями [17].

Нагрев корпусной детали выполняли двумя одинаковыми инфракрасными установками, размещенными напротив торцов детали на определенном расстоянии L. Для нагрева коробки автомобиля ГАЗ-24 использовали излучатель QTS мощностью 750 Вт и отражатель марки QTSR, коробки автомобиля ГАЗ-53 – излучатель QTS мощностью 1500 Вт и отражатель марки QTSR.

Результаты, полученные в ходе реализации контрольного эксперимента по нагреву корпусов коробок передач 24-17010158 и 53А-1700010-05 показаны в таблице 1.

Таблица 1 - Расчетные и экспериментальные значения параметров нагрева корпусов коробок передач 24-17010158 и 53А-1700010-05

№ п/п	Расстояние L, м	Мощность излучателя электрическая, $Q_{изл}$	Температура T, °С		Время нагрева τ, мин	
			Расчетная	Экспериментальная	Расчетное	Экспериментальное
1	0,130	750	150,0	146,4	51,2	47,0
2	0,175	1500	150,0	152,3	61,8	58,0

Как видно из таблицы 1, различие фактической температуры нагрева детали от расчетных значений составляет от 1,5 до 2,4%, времени нагрева – от 6,1 до 8,2%. Получена достаточно высокое совпадение расчетных и фактических значений параметров нагрева, подтверждающее корректность разработанного метода расчета конструктивных и технологических параметров установок инфракрасной обработки эластомерных покрытий в корпусных деталях сельскохозяйственной техники.

Далее изучали качество покрытий эластомера Ф-40С после термической обработки различными способами [18]. Режим термической обработки: температура 150°С, время 3 ч. Площадь разрушенного покрытия после конвективной обработки составляет 20%. После инфракрасной обработки этот показатель уменьшился до 15%, т.е. в 1,33 раза.

Пористость покрытий после конвективной обработки составляет 0,67 шт/см^2, а после инфракрасной обработки этот показатель уменьшился до 0,54 шт/см^2, т.е. в 1,24 раза.

Выводы

1. Разработан метод расчета конструктивных и технологических параметров установки инфракрасной обработки полимерных покрытий при восстановлении корпусных деталей сельскохозяйственной техники.

2. Инфракрасная обработка эластомерных покрытий, по сравнению с конвективным способом, значительно повышает их качество: площадь разрушенного покрытия снижается до 1,33 раза, пористость – до 1,24 раза.

Список источников

1. Коломейченко А. В., Кравченко И. Н., Пузряков А. Ф., Логачёв В. Н., Титов Н.В. Технология восстановления с упрочнением деталей машин на основе применения микродугового оксидирования // Строительные и дорожные машины. 2014. № 10. С. 16–21.

2. Кононенко А. С. Повышение надежности неподвижных фланцевых соединений сельскохозяйственной техники использованием наноструктурированных герметиков: Дисс. ... д-ра

техн. наук. М., 2012. 405 с.

3. Жачкин С. Ю., Краснова М. Н., Пеньков Н. А., Краснов А. И. Моделирование механического воздействия инструмента при получении гальванических композитных покрытий // Труды ГОСНИТИ. 2015. Т. 120. С. 130–134.

4. Кононенко А.С., Дмитраков К.Г. Повышение стойкости полимерных композитов холодного отверждения к воздействию рабочих жидкостей использованием наноматериалов // Международный технико-экономический журнал. 2015. № 1. С. 89–94.

5. Ли, Р. И. Технологии восстановления и упрочнения деталей автотракторной техники // Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2014. 379 с.

6. Курчаткин В.В. Восстановление посадок подшипников качения сельскохозяйственной техники полимерными материалами: Дисс. ... д-ра техн. наук. Москва, 1989. 407 с.

7. Ли Р.И. Полимерные композиционные материалы для фиксации подшипников качения в узлах машин: Монография. Липецк: Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2017. 224 с.

8. Колесников, А. А. Повышение качества восстановления корпусных деталей автомобилей полимерными композиционными материалами после ультразвуковой обработки: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.10: / Колесников А. А. – Орел, 2017. 179 с.

9. R. I. Li, M. R. Kiba. Production Technology of Metallopolymer Rolling Bearings. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2016, Vol. 9, No. 2, pp. 161–164.

10. Ли Р.И. Условия формирования равномерного полимерного покрытия на наружной поверхности вращающейся цилиндрической детали // Клеи. Герметики. Технологии – 2015. – №4. – С. 33-38;

11. Курчаткин, В. В., Тельнов, Н. Ф., Ачкасов, К. А., Батищев, А. Н. Надежность и ремонт машин / под ред. В. В. Курчаткина. – М.: Колос, 2000. 776 с.

12. Михеев С.В. Основы инфракрасной техники. – СПб: Университет ИТМО, 2017. – 127 с.

13. Кузовлев, В. А. Техническая термодинамика и основы теплопередачи / под ред. Л. Р. Стоцкого. – М.: Высшая школа, 1983. 680 с.

14. Ли, Р.И. Математическая модель инфракрасного нагрева корпусных деталей при восстановлении полимерным материалом [Текст] / Р.И. Ли, Д.Н. Псарев, А.Н. Быконя // Клеи. Герметики, Технологии. 2019. № 9. С. 38-43.

15. Ли, Р.И. Расчет конструктивных и режимных параметров установки инфракрасного нагрева корпусных деталей при восстановлении полимерным материалом [Текст] / Р.И. Ли, Ю.Н. Ризаева, Д.Н. Псарев, А.Н. Быконя // Клеи. Герметики, Технологии. 2020. № 4. С. 32-36.

16. Ли, Р.И. Математическая модель терморадиационной обработки полимерных покрытий при восстановлении корпусных деталей автомобилей [Текст] / Р.И. Ли, Д.Н. Псарев, А.Н. Быконя, М.Р. Киба // Клеи. Герметики, Технологии. 2021. № 2. С. 29-35.

17. Автокаталог – ГАЗ-24. https://opex.ru/acat/legkovye_avtomobili/gaz/gaz_24-14.html

18. ГОСТ 9.407-84. Покрытия лакокрасочные. Метод оценки внешнего вида [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 8 с.

Reference

1. Kolomeichenko A. V., Kravchenko I. N., Puzryakov A. F., Logachev V. N., Titov N. V. Restoration technology with hardening of machine parts based on the use of microarc oxidation // Stroitelnye i dorognye mashiny. 2014. No. 10. P. 16–21.

2. Kononenko A. S. Improving the reliability of fixed flange joints of agricultural machinery using nanostructured sealants: Diss. ... Dr. tech. Sciences. M., 2012. 405 p.

3. Zhachkin S. Yu., Krasnova M. N., Penkov N. A., Krasnov A. I. Modeling of the mechanical impact of the tool in the production of galvanic composite coatings // Proceedings of GOSNITI. 2015. V. 120. S. 130–134.

4. Kononenko A.S., Dmitrakov K.G. Increasing the resistance of polymer composites of cold curing to the effects of working fluids using nanomaterials // International technical and economic journal. 2015. No. 1. S. 89–94.

5. Li, R. I. Technologies for the restoration and hardening of parts of automotive equipment // Lipetsk: Publishing House of LGTU, 2014. 379 p.

6. Kurchatkin V.V. Restoration of landings of rolling bearings of agricultural machinery with polymeric materials: Diss. ... Dr. tech. Sciences. Moscow, 1989. 407 p.

7. Lee R.I. Polymer composite materials for fixing rolling bearings in machine units: Monograph. Lipetsk: Publishing House of the Lipetsk State Technical University, 2017. 224 p.

8. Kolesnikov, A. A. Improving the quality of restoration of car body parts with polymer composite materials after ultrasonic treatment: Diss. ... cand. tech. Sciences: 05.22.10: / Kolesnikov A. A. - Orel, 2017. 179 p.

9. R. I. Li, M. R. Kiba. Production Technology of Metallopolymer Rolling Bearings. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D. Glues and Sealing Materials, 2016, Vol. 9, no. 2, pp. 161–164.

10. Lee R.I. Conditions for the formation of a uniform polymer coating on the outer surface of a rotating cylindrical part // Klei. Sealants. Technologies - 2015. - No. 4. - P. 33-38;

11. Kurchatkin, V. V., Telnov, N. F., Achkasov, K. A., Batishchev, A. N. Reliability and repair of machines, ed. V. V. Kurchatkina. – M.: Kolos, 2000. 776 p.

12. Mikheev S.V. Fundamentals of infrared technology. - St. Petersburg: ITMO University, 2017. - 127 p.

13. Kuzovlev, V. A. Technical thermodynamics and fundamentals of heat transfer / ed. L. R. Stotsky. - M.: Higher School, 1983. 680 p.

14. Lee, R.I. Mathematical model of infrared heating of body parts during restoration with polymeric material [Text] / R.I. Lee, D.N. Psarev, A.N. Bykonya // Glues. Sealants, Technologies. 2019. No. 9. S. 38-43.

15. Lee, R.I. Calculation of design and operational parameters of the installation for infrared heating of body parts during restoration with polymeric material [Text] / R.I. Lee, Yu.N. Rizaeva, D.N. Psarev, A.N. Bykonya // Glues. Sealants, Technologies. 2020. No. 4. S. 32-36.

16. Lee, R.I. Mathematical model of thermoradiation treatment of polymer coatings in the restoration of car body parts [Text] / R.I. Lee, D.N. Psarev, A.N. Bykonya, M.R. Kiba // Adhesives. Sealants, Technologies. 2021. No. 2. S. 29-35.

17. Autocatalog - GAZ-24. https://opex.ru/acat/legkovye_avtomobili/gaz/gaz_24-14.html

18. GOST 9.407-84. Paint coatings. Appearance assessment method [Text]. - M.: Publishing house of standards, 1984. - 8 p.

Информация об авторах

Р. И. Ли – доктор технических наук, профессор; Ю. Н. Ризаева – доктор технических наук, доцент; А.Н. Быконя – кандидат технических наук; Д. Н. Псарев – кандидат технических наук, доцент; М. Р. Киба – кандидат технических наук.

Information about the authors

R. Li – Doctor of Technical Science, Professor; Yu. Rizaeva – Doctor of Technical Science, Associate Professor; A. Bykonya – Candidate of Technical Science; D. Psarev – Candidate of Technical Science, Associate Professor; M. Kiba – Candidate of Technical Science

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 10.10.2022 Принята к публикации (Accepted): 19.10.2022