Шварц Анатолий Адольфович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор Федерального государственно бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г.Курск, e-mail: aashwarz.@mail.ru

Шварц Сергей Анатольевич- кандидат технических наук, директор ООО «Меридиан», e-mail: sshwarz@inbox.ru

Сариго Надежда Викторовна – кандидат педагогических наук, доцент Федерального государственно бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г.Курск, e-mail: nadezhda.sarigo@yandex.ru

Лукин Сергей Геннадьевич – аспирант Федерального государственно бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Курская государственная сельскохозяйственная академия», Россия, г.Курск, e-mail: gch.2013@mail.ru

Authors credentials

Affiliations

Shvarts Anatoly Adolfovich - Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kursk State Agricultural Academy", Russia, Kursk, e-mail: aashwarz.@mail.ru

Shvarts Sergey Anatolyevich - Candidate of Technical Sciences, Director of Meridian LLC, e-mail: sshwarz@inbox.ru

Sarigo Nadezhda Viktorovna - Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kursk State Agricultural Academy", Russia, Kursk, e-mail: nadezhda.sarigo@yandex.ru

Lukin Sergey Gennadievich - postgraduate student of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kursk State Agricultural Academy", Russia, Kursk, e-mail: gch.2013@mail.ru

Поступила в редакцию (Received): 21.03.2022 Принята к публикации (Accepted): 24.03.2022

УДК 621.822.6.004.67: 668.3: 631.3.02
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-2-87-98

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА И РЕЖИМА ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЭЛАСТОМЕРНОГО НАНОКОМПОЗИТА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ТЕХНИКИ

[1]Ли Роман Иннакентьевич
[2]Псарев Дмитрий Николаевич
[3]Киба Мария Романовна
[1]Мельников Антон Юрьевич
[1]Быконя Андрей Николаевич

[1]ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет»
[2]ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»
[3]ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный горный университет»

Реферат. *Восстановление корпусных деталей нанесением эластомерных покрытий устраняет износ отверстий, увеличивает ресурс детали и подшипников, позволяет значительно сократить расходы на ремонт автомобиля. Наполнение наночастицами эластомерной матрицы позволяет существенным образом повысить эксплуатационные свойства материала. Исследовано влияние содержания алюминиевых наночастиц наполнителя, а также режим термической обработки конвективным способом на деформационно-прочностные свойства нанокомпозита на основе эластомера Ф-40С. Механические свойства пленок нанокомпозита оценивали по методике ГОСТ 14236-81. Это: прочность, относительное удлинение и удельная*

работа разрушения пленок. Оптимальный режим термической обработки нанокомпозита определяли в ходе активного эксперимента по плану второго порядка B_2. Установлено, что зависимости прочности и деформации от содержания наноразмерного наполнителя имеют вид квадратичной функции с экстремумом в виде максимума. Максимальную прочность 21,64 МПа и относительную деформацию 2,4 имеют образцы нанокомпозита при объемном содержании наполнителя 0,02. При дальнейшем увеличении содержания наполнителя прочность и деформация образцов нанокомпозита уменьшаются до значений 19,2 МПа и 2,03 соответственно. Снижение прочности можно объяснить агрегированием наночастиц наполнителя. Определен оптимальный состав нанокомпозита на основе эластомера Ф-40С, обеспечивающий наиболее высокие механические свойства материала: эластомер Ф-40С – 100 масс.ч., алюминиевый нанопорошок – 0,075 масс.ч. По результатам проведенного многофакторного эксперимента получили регрессионную модель зависимости удельной работы разрушения пленок нанокомпозита от температуры и времени термической обработки конвективным способом. Определен оптимальный режим конвективного нагрева эластомерного нанокомпозита: температура 140,0^{0}С, время 3,0 ч., при котором пленки материала имеют наиболее высокую удельную работу разрушения 52,0 МДж/м^3.

Ключевые слова: *восстановление, подшипник, покрытие, эластомерный нанокомпозит, деформационно-прочностные свойства, состав, термическая обработка.*

OPTIMISATION OF COMPOSITION AND MODE OF THERMAL TREATMENT OF ELASTOMERIC NANOCOMPOSITE FOR RECOVERY OF EQUIPMENT BODY PARTS

[1]Li Roman
[2]Psarev Dmitry
[3]Kiba Maria
[1]Melnikov Anton
[1]Bykonya Andrew

[1]*FSBEI HE* «Lipetsk State Technical University»
[2]*FSBEI HE* «Michurinsk State Agrarian University
[3]*FSBEI HE* «St. Petersburg State Mining University»

Abstract*. The restoration of body parts by applying elastomeric coatings eliminates wear on the holes, increases the life of the part and bearings, and significantly reduces the cost of repairing the car. The filling of the elastomeric matrix with nanoparticles allows a significant increase in the operational properties of the material. The influence of the content of aluminum filler nanoparticles, as well as the mode of thermal treatment by convective method on the deformation-strength properties of the F-40S elastomer-based nanocomposite were investigated. The mechanical properties of the nanocomposite films were evaluated according to the method of GOST 14236-81. These are: strength, elongation and specific breaking work of films. The optimal heat treatment mode of the nanocomposite was determined during the active experiment according to the second order V2 plan. It has been found that the dependence of strength and deformation on the content of the nanoscale filler has the form of a quadratic function with an extremum in the form of a maximum. The maximum strength of 21.64 MPa and the relative deformation of 2.4 have nanocomposite samples at a fill volume of 0.02. With a further increase in the content of filler, the strength and deformation of the nanocomposite samples decrease to 19.2 MPa and 2.03, respectively. The decrease in strength can be explained by aggregation of filler nanoparticles. The optimal composition of the F-40S elastomer-based nanocomposite was determined, providing the highest mechanical properties of the material: elastomer F-40S - 100 parts by weight, aluminum nanopowder - 0.075 parts by weight. Based on the results of the multifactorial experiment, a regression model of the dependence of the specific destruction work of the nanocomposite films on the temperature and time of thermal treatment by a convective method was obtained. The optimal mode of convective heating of the elastomeric nanocomposite was determined: temperature 40.0 0S, time 3.0 hours, at which the material films have the highest specific fracture operation of 52.0 MJ/m3.*

***Keywords**: recovery, bearing, fit, elastomeric nanocomposite, deformation-strength properties, composition, heat treatment.*

Введение. Основным дефектом, из-за которого выбраковывают корпусные детали автомобилей в ходе ремонта являются изношенные посадочные подшипниковые отверстия [1…8]. Восстановление корпусных деталей нанесением эластомерных покрытий устраняет износ отверстий, увеличивает ресурс детали и подшипников, позволяет значительно сократить расходы на ремонт автомобиля [9…12].

Корпусные детали более эффективно восстанавливаются при использовании перспективных полимерных нанокомпозитов. Наполнение наночастицами эластомерной матрицы позволяет существенным образом повысить эксплуатационные свойства материала [11..17].

Цель исследований – исследовать деформационно-прочностные свойства нанокомпозита на основе эластомера Ф-40С, наполненного алюминиевыми наночастицами, определить оптимальный состав и оптимальный режим термической обработки (Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-38-90070\20).

Материалы и методы. В экспериментальных исследованиях использовали образцы из нанокомпозитов на основе эластомера Ф-40С. Нанокомпозит, наполненный алюминиевым нанопорошком, имел четыре состава с различным содержанием наполнителя: эластомер Ф-40С (ТУ 6-06-246-92) – 100 масс.ч., алюминиевый нанопорошок (ТУ 1791-003-36280340-2008) – 0,025; 0,05; 0,075 и 0,1 масс.ч.;

Образцы для исследований изготовили в виде пленок из нанокомпозита. Размеры пленки: $50\times 10\times 0{,}15$ мм, с расчетной длиной 30 мм. Для термической обработки образцов использовали шкаф сушильный марки СНОЛ-3.5,3.5,3.5/3. Кондиционирование образцов выполняли в условиях стандартной температуры на протяжении 16 ч [18]. При испытаниях образцов использована испытательная машина ИР 5082-50 с постоянной скоростью нагружения 50 мм/мин.

Механические свойства пленок нанокомпозита оценивали по методике ГОСТ 14236-81. Это: прочность σ_P, относительное удлинение ε_P и удельная работа разрушения пленок α_P [19].

Оптимальный режим термической обработки нанокомпозита определяли в ходе активного эксперимента по плану второго порядка B_2 [20]. Функция отклика Y – удельная работа разрушения образцов нанокомпозита α_P, МДж/м^3, независимые факторы: X_1 – температура, ^{0}С, X_2 – время, ч. нагрева конвективным способом. Факторы, уровни и интервалы их варьирования представлены ниже.

Таблица 1 – Факторы с уровнями и интервалами их варьирования

Наименование фактора	Кодированное обозначение фактора	Уровни варьирования фактора			Интервалы варьирования фактора
		нижний	нулевой	верхний	
Температура, °С;	X_1	130	140	150	10
Время, ч.	X_2	2	3	4	1

Результаты исследования. Деформационно-прочностные свойства нанокомпозита эластомера Ф-40С исследовали реализацией серии классических экспериментов. Экспериментальные исследования показали, что с увеличением содержания алюминиевых наночастиц в матрице из эластомера прочность образцов увеличивается. Минимальную прочность $\sigma = 17{,}2 МПа$ образцы имеют при наименьшем объемном содержании наполнителя $\varphi_н = 6{,}6\times 10^{-3}$ (рис. 1). При увеличении содержания наполнителя вдвое до $\varphi_н = 13{,}2\times 10^{-3}$ прочность увеличивается в 1,11 раза до значения $\sigma = 19{,}15 МПа$. Максимальную прочность $\sigma = 21{,}64 МПа$ имеют образцы нанокомпозита с содержанием наполнителя $\varphi_н = 20{,}0\times 10^{-3}$. Прочность образцов при таком составе превышает аналогичный параметр образцов с содержанием наполнителя $\varphi_н = 6{,}6\times 10^{-3} и 13{,}2\times 10^{-3}$ в 1,26 и 1,13 раза соответственно. При

дальнейшем увеличении содержания наполнителя до значения $\varphi_н = 26{,}0 \times 10^{-3}$ прочность образцов нанокомпозита уменьшается до значения $\sigma = 19{,}2 МПа$. Снижение прочности можно объяснить агрегированием наночастиц наполнителя.

Зависимость деформации образцов нанокомпозита от содержания алюминиевых наночастиц показано на рис. 2. Зависимость соответствует квадратичной функции и ее характер подобен зависимости на рис. 1.

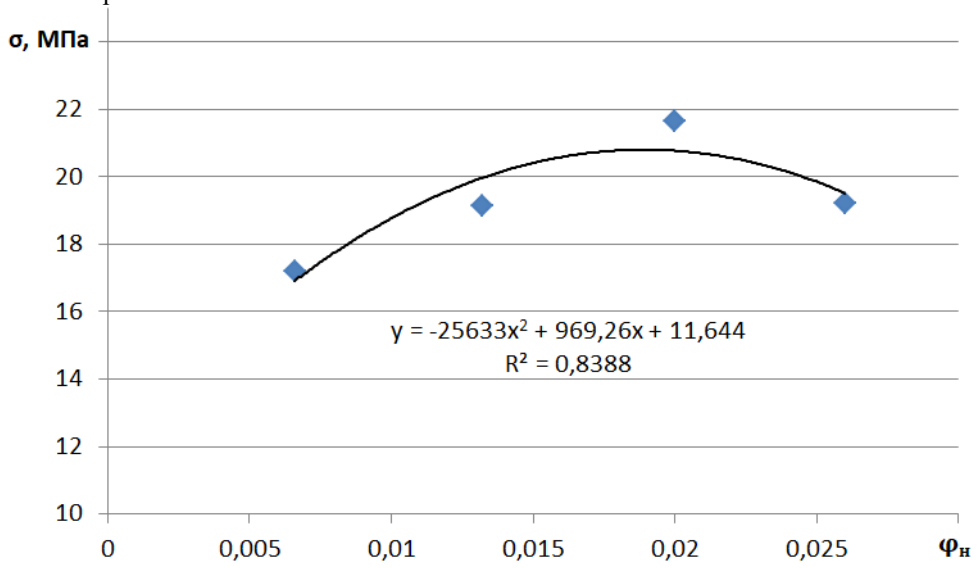

Рисунок 1 - Зависимость прочности σ эластомерного нанокомпозита от содержания алюминиевых наночастиц наполнителя $\varphi_н$

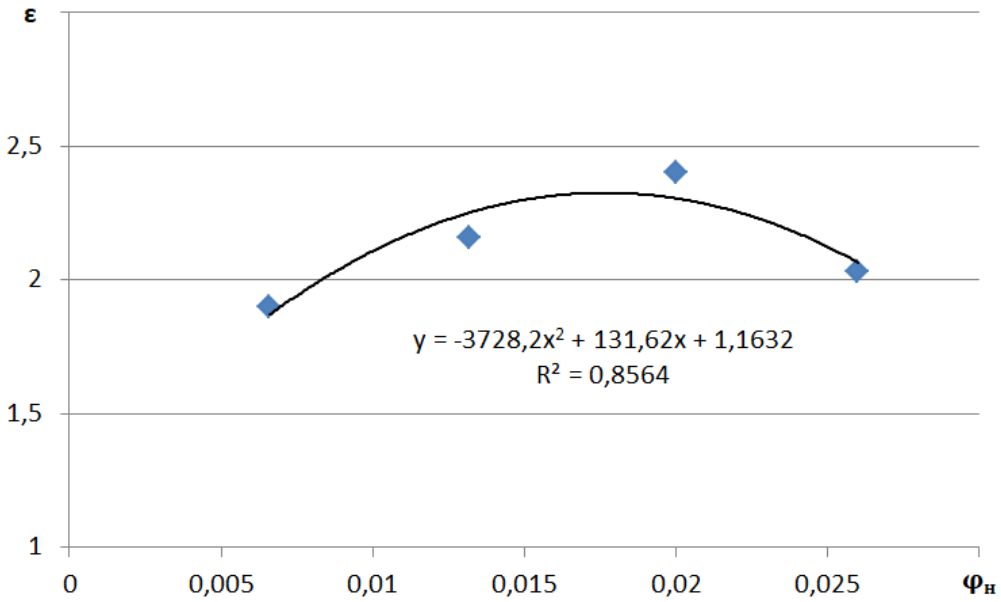

Рисунок 2 -Зависимость деформации эластомерного нанокомпозита ε от содержания алюминиевых наночастиц наполнителя $\varphi_н$

Наименьшую относительную деформацию $\varepsilon = 1{,}9$ имеют образцы с минимальным объемным содержанием наполнителя $\varphi_н = 6{,}6 \times 10^{-3}$. При увеличении содержания наполнителя вдвое до $\varphi_н = 13{,}2 \times 10^{-3}$ деформация образцов возрастает в 1,14 раза до значения $\varepsilon = 2{,}16$. Наибольшую деформацию $\varepsilon = 2{,}4$ имеют образцы нанокомпозита с содержанием наполнителя $\varphi_н = 20{,}0 \times 10^{-3}$. Деформация образцов с таким составом превышает аналогичный параметр образцов с содержанием наполнителя $\varphi_н = 6{,}6 \times 10^{-3} и 13{,}2 \times 10^{-3}$ в 1,26 и 1,11 раза соответственно. При дальнейшем увеличении содержания наполнителя до значения $\varphi_н = 26{,}0 \times 10^{-3}$ деформация образцов нанокомпозита уменьшается до значения $\varepsilon = 2{,}03$. Причина снижения деформации была названа выше – это образование агрегатов наночастиц наполнителя.

Таким образом, наиболее высокие деформационно-прочностные свойства нанокомпозит имеет при следующем составе, который следует считать оптимальным: эластомер Ф-40С (ТУ 6-06-246-92) – 100 масс.ч., алюминиевый нанопорошок (ТУ 1791-003-36280340-2008) – 0,075 масс.ч. ($\varphi_н = 20{,}0 \times 10^{-3}$).

В таблице 2 представлены результаты эксперимента по плану второго порядка B_2.

Таблица 2. План эксперимента B_2 и его результаты

№ п/п	X_1	X_2	Y_1	Y_2	Y_3	$\bar{Y}$	$\hat{y}_i$	S_g^2
1	-1	-1	30,578	31,569	30,612	30,92	31,155	0,3164
2	+1	-1	25,821	25,445	24,691	25,32	25,325	0,3311
3	-1	+1	25,842	26,691	26,862	26,46	26,455	0,2984
4	+1	+1	22,573	20,229	21,401	21,4	21,165	1,3736
5	-1	0	46,147	46,814	47,496	46,82	46,59	0,458
6	+1	0	40,789	40,678	40,919	40,8	41,03	0,014
7	0	-1	37,204	36,756	38,038	37,33	37,09	0,4233
8	0	+1	32,035	32,106	33,139	32,42	32,66	0,3818

Проверка воспроизводимости эксперимента

Расчет дисперсии среднего значения:

$$S_1^2 = \frac{(30{,}578 - 30{,}92)^2 + (31{,}569 - 30{,}92)^2 + (30{,}612 - 30{,}92)^2}{3-1} = 0{,}3164$$

$$S_2^2 = \frac{(25{,}821 - 25{,}32)^2 + (25{,}445 - 25{,}32)^2 + (24{,}691 - 25{,}32)^2}{3-1} = 0{,}3311$$

$$S_3^2 = \frac{(25{,}842 - 26{,}46)^2 + (26{,}691 - 26{,}46)^2 + (26{,}862 - 26{,}46)^2}{3-1} = 0{,}2984$$

$$S_4^2 = \frac{(22{,}573-21{,}4)^2 + (20{,}229-21{,}4)^2 + (21{,}401-21{,}4)^2}{3-1} = 1{,}3736$$

$$S_5^2 = \frac{(46{,}147-46{,}82)^2 + (46{,}814-46{,}82)^2 + (47{,}496-46{,}82)^2}{3-1} = 0{,}458$$

$$S_6^2 = \frac{(40{,}789-40{,}8)^2 + (40{,}678-40{,}8)^2 + (40{,}919-40{,}8)^2}{3-1} = 0{,}014$$

$$S_7^2 = \frac{(37{,}204-37{,}33)^2 + (36{,}756-37{,}33)^2 + (38{,}038-37{,}33)^2}{3-1} = 0{,}4233$$

$$S_8^2 = \frac{(32{,}035-32{,}42)^2 + (32{,}106-32{,}42)^2 + (33{,}139-32{,}42)^2}{3-1} = 0{,}3818$$

$$\sum S_g^2 = 0{,}3165 + 0{,}3311 + 0{,}2984 + 1{,}3754 + 0{,}4549 + 0{,}0137 + 0{,}4233 + \\ + 0{,}3817 = 3{,}595$$

Однородность дисперсий оценивали критерием Кохрена [21]. Расчетное значение критерия $G_P = 0{,}382$, а табличное значение – $G_T = 0{,}5612$. Так как табличное значение критерия больше расчетного, дисперсии следует считать однородными.

Далее рассчитали коэффициенты регрессии

$b_0 = +52{,}66$; $b_1 = -2{,}78$; $b_2 = -2{,}215$; $b_{12} = +0{,}135$; $b_{11} = -8{,}85$; $b_{22} = -17{,}785$.

Значимость коэффициентов регрессии оценивали, сравнивая абсолютные значения последних, с значениями соответствующего доверительного интервала:

$$\Delta b_0 = 2{,}12 \cdot 0{,}1871 = 0{,}3967 < b_0 = +52{,}66;$$
$$\Delta b_1 = \Delta b_2 = 2{,}12 \cdot 0{,}025 = 0{,}053 < b_1 = -2{,}78 \text{ и } < b_2 = -2{,}215;$$
$$\Delta b_{12} = 2{,}12 \cdot 0{,}0374 = 0{,}0793 < b_{12} = +0{,}135;$$
$$\Delta b_{11} = \Delta b_{22} = 2{,}12 \cdot 0{,}1123 = 0{,}2381 < b_{11} = -8{,}85 \text{ и } < b_{22} = -17{,}785$$

Так как доверительные интервалы меньше по абсолютному значению чем коэффициенты регрессии, последние следует считать значимыми.

Уравнение регрессии с кодированными значениями факторов

$$У = +52{,}66 - 2{,}78X_1 - 2{,}215X_2 + 0{,}135X_1X_2 - 8{,}85X_1^2 - 17{,}785X_2^2$$

Уравнение регрессии с натуральными значениями факторов

$$У = -1790{,}77 + 24{,}4615x_1 + 102{,}605x_2 + 0{,}0135x_1x_2 - 0{,}0885x_1^2 - 17{,}785x_2^2$$

Значения отклика в точках плана, рассчитанные по уравнению регрессии:

$\hat{y}_1 = 31{,}155$; $\hat{y}_2 = 25{,}325$; $\hat{y}_3 = 26{,}465$; $\hat{y}_4 = 21{,}165$;

$\hat{y}_5 = 46{,}59$; $\hat{y}_6 = 41{,}03$; $\hat{y}_7 = 37{,}09$; $\hat{y}_8 = 32{,}66$.

Выборочная дисперсия S^2

$$S^2 = \frac{(30{,}92-31{,}155)^2 + (25{,}32-25{,}325)^2 + (26{,}46-26{,}465)^2 + (21{,}4-21{,}165)^2 + (46{,}82-46{,}59)^2 + (40{,}8-41{,}03)^2 + (37{,}33-37{,}09)^2 + (32{,}42-32{,}66)^2}{(8-6)} = 0{,}1659$$

Для оценки адекватности уравнения регрессии использовали критерий Фишера.

Регрессионная модель является адекватной при выполнении условия

$$F_P < F_T \,. \tag{1}$$

$$F_T = 3{,}63\,;\; F_P = 1{,}1076$$

$$F_P = 1{,}1076 < F_T = 3{,}63$$

Неравенство (1) выполняется, поэтому модель можно считать адекватной.

Условие работоспособности регрессионной модели имеет вид

$$R^2 > 0{,}75\,, \tag{2}$$

где R^2 – коэффициент детерминации.

$$R^2 = \frac{3\cdot[(30{,}92-32{,}68)^2+(25{,}32-32{,}68)^2+(26{,}46-32{,}68)^2+(21{,}4-32{,}68)^2+}{3\cdot[(30{,}92-32{,}68)^2+(25{,}32-32{,}68)^2+(26{,}46-32{,}68)^2+(21{,}4-32{,}68)^2+}$$

$$\frac{+(46{,}82-32{,}68)^2+(40{,}8-32{,}68)^2+(37{,}33-32{,}68)^2+(32{,}42-32{,}68)^2-(8-6)\cdot 1{,}1076]}{+(46{,}82-32{,}68)^2+(40{,}8-32{,}68)^2+(37{,}33-32{,}68)^2+(32{,}42-32{,}68)^2]+8(3-1)\cdot 0{,}4495} =$$

$$= \frac{1525{,}6287}{1539{,}4663} = 0{,}9910$$

Значение коэффициента детерминации составляет $R^2 = 0{,}991 > 0{,}75$. Неравенство (2) выполняется, поэтому регрессионную модель можно считать работоспособной.

На рисунке 3 показана поверхность функции отклика.

Для определения координат точки экстремума функции отклика взяли частные производные по каждому фактору из системы уравнений, с последующим приравниванием полученных выражений к нулю.

$$\begin{cases} \dfrac{dy}{dx_1} = b_1 + b_{12}\cdot x_2 + 2\cdot b_{11}\cdot x_1 = 0 \\ \dfrac{dy}{dx_2} = b_2 + b_{12}\cdot x_1 + 2\cdot b_{22}\cdot x_2 = 0 \end{cases}$$

$$У = -1790{,}77 + 24{,}4615x_1 + 102{,}605x_2 + 0{,}0135x_1x_2 - 0{,}0885x_1^2 - 17{,}785x_2^2$$

$$\begin{cases} \dfrac{dy}{dx_1} = 24{,}4615 + 0{,}0135\cdot x_2 - 2\cdot 0{,}0885\cdot x_1 = 0 \\ \dfrac{dy}{dx_2} = 102{,}605 + 0{,}0135\cdot x_1 - 2\cdot 17{,}785\cdot x_2 = 0 \end{cases}$$

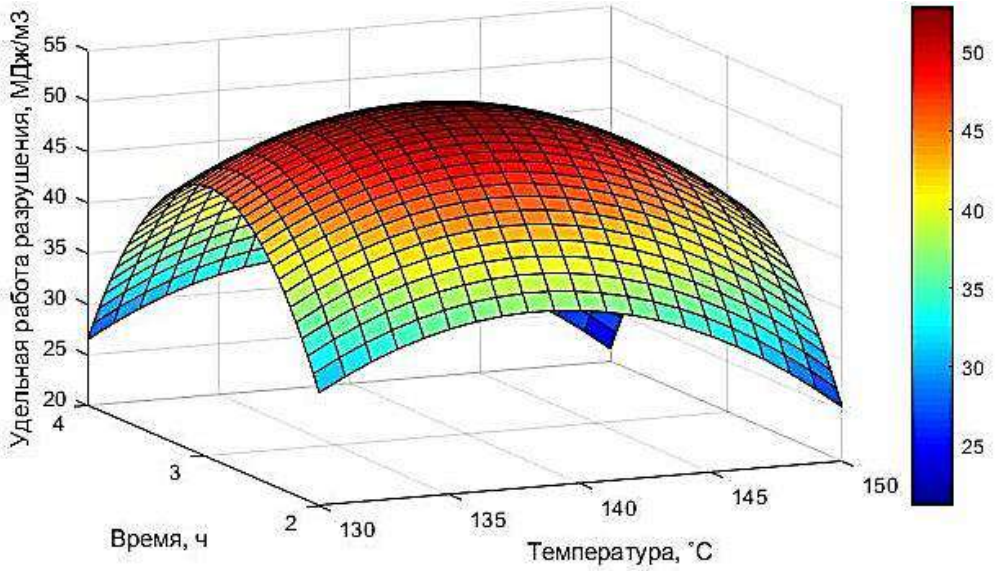

Рисунок 3 – Поверхность функции отклика

После решения вышеприведенной системы уравнений получили координаты точки экстремума функции отклика x_{1S} = 138,42^{0}С, x_{2S} = 2,9372 ч. После подстановки значений координат точки экстремума в уравнение регрессии получен экстремум функции отклика y_S = 52,9486 МДж/м^3.

Далее канонически преобразовали регрессионную модель.

Уравнение регрессии в канонической форме

$$Y - 52{,}9486 = -0{,}0885 \cdot X_1^2 - 17{,}785 \cdot X_2^2$$

Для построения двумерного сечения поверхности отклика, составлена вспомогательная таблица 3 с координатами основных точек изолиний сечения.

Таблица 3. Координаты основных точек изолиний двумерного сечения поверхности отклика

Отклик Y	Фактор X_1, ^{0}С	Фактор X_2, ч
1	2	3
52,9486	0	0
52,0	± 0,3,27	0
52,0	0	± 0,23
51,5	± 4,04	0
51,5	0	± 0,28
51,0	± 4,69	0
51,0	0	± 0,33
50,5	± 5,26	0
50,5	0	± 0,371
50,0	± 5,889	
50,0	0	± 0,407

На рисунке 4 показано двумерное сечение поверхности отклика.

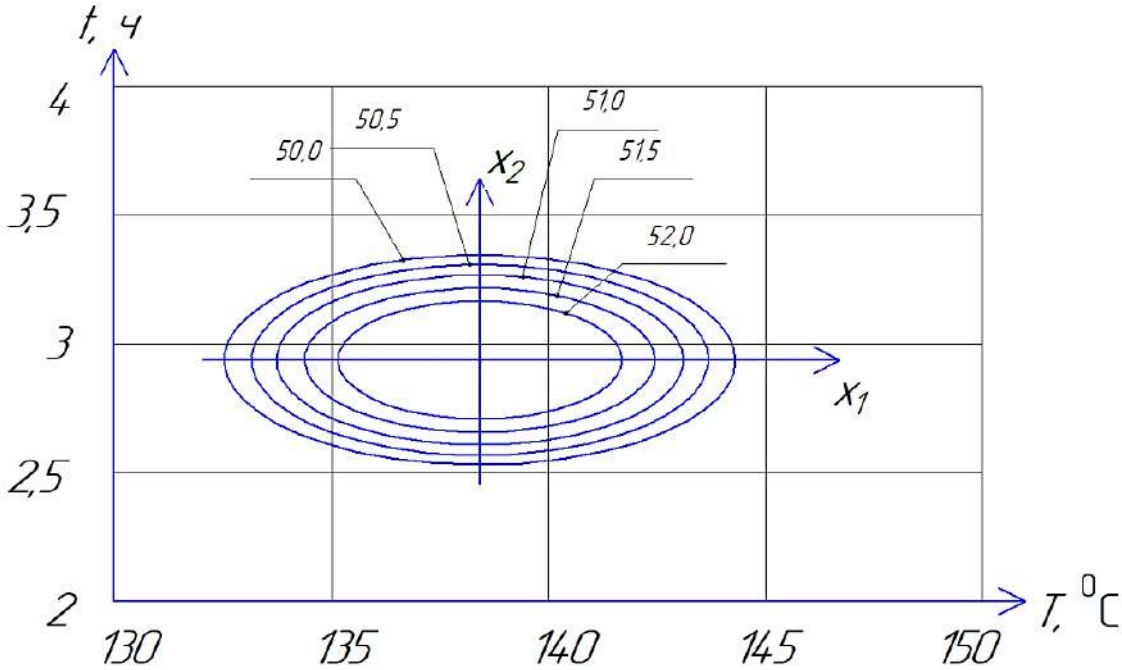

Рисунок 4 - Двумерное сечение поверхности отклика

Максимум удельной работы разрушения y_S = 52,9486 МДж/м^3 наблюдается у образцов нанокомпозита после термической обработки по режиму: температура T = 138,42^{0}C, время t = 2,9372 ч.

Ближайшая к экстремуму изолиния не значительно отличается от максимума функции отклика y_S = 52,9486 МДж/м^3 и имеет значение y_S = 52,0 МДж/м^3. По этой причине выбрали значения факторов, удобные в технологическом плане, и принятые как оптимальный режим термической обработки T = 140,0^{0}C, время t = 3,0 ч.

Выводы

1. Определен оптимальный состав нанокомпозита на основе эластомера Ф-40С при котором материал имеет наиболее высокие деформационно-прочностные свойства: эластомер Ф-40С (ТУ 6-06-246-92) – 100 масс.ч., алюминиевый нанопорошок (ТУ 1791-003-36280340-2008) – 0,075 масс.ч. ($\varphi_н = 20{,}0 \times 10^{-3}$)

2. Получена регрессионная модель зависимости удельной работы разрушения $\alpha_р$ пленок нового нанокомпозита от температуры и времени термической обработки конвективным способом.

3. Определен оптимальный режим термической обработки эластомерного нанокомпозита: температура T = 140,0^{0}C, время t = 3,0 ч., при котором пленки материала имеют наиболее высокие деформационно-прочностные свойства, α_P = 52,0 МДж/м^3

Список литературы

1. Кононенко, А. С. Повышение надежности неподвижных фланцевых соединений сельскохозяйственной техники использованием наноструктурированных герметиков: дис ... докт. техн. наук. / Кононенко А. С. – М., 2012, – 405 с.

2. Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А., Мандрыкин И.А., Беленцов В.Г. Интенсификация восстановления деталей сельхозмашин дисперсно-упрочненным композитным покрытием на основе хрома // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. №3 (32) . С. 49-54.

3. 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.

4. 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.

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

6. Башкирцев, В. Н. Восстановление деталей машин и оборудования адгезивами [Текст]: дис ... докт. техн. наук. / Башкирцев В. Н. – М., 2004, – 397 с.

7. Дёмин, В. Е. Совершенствование технологии восстановления сопряжений опор корпусных деталей с подшипниками качения применением композиционных анаэробных материалов (на примере корпуса КП трактора Т-150К): автореф. дис… канд. техн. наук. / Дёмин В. Е. – Саратов, 2007. – 19 с.

8. Кричевский, М. Е. Применение полимерных материалов при ремонте сельскохозяйственной техники / Кричевский М. Е.; - М.: Росагропромиздат, 1988. – 143 с.

9. Курчаткин, В. В. Восстановление посадок подшипников качения сельскохозяйственной техники полимерными материалами: дис ... док. техн. наук. / Курчаткин В.В. – М., 1989, – 407 с.

10. Машин, Д. В. Повышение эффективности восстановления посадочных отверстий в корпусных деталях автотракторной техники композицией на основе эластомера Ф-40: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03: / Машин Д. В. – Мичуринск, 2013. – 149 с.

11. Кирсанов, Ф. А. Восстановление посадочных отверстий в корпусных деталях трансмиссии сельскохозяйственной техники эластомером Ф-40С: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03: / Кирсанов Ф. А. – Мичуринск, 2015. – 181 с.

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

13. Киба, М.Р. Восстановление посадочных отверстий в корпусных деталях сельскохозяйственной техники нанокомпозитом на основе эластомера Ф-40: дис. ... канд. техн. наук / Киба М.Р. – Мичуринск, 2020. – 164 с.

14. Ли, Р. И. Полимерные композиционные материалы для фиксации подшипников качения в узлах машин: монография / Р.И. Ли. – Липецк: Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2017. − 224 с.

15. R. I. Li, D. N. Psarev, A. N. Bykonya. A Mathematical Model of Infrared Heating of Auto Body Parts during Restoration by a Polimer Material. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D, 2020, Vol. 13, No. 2, pp. 172-176.

16. R. I. Li, Yu. N. Rizaeva, D. N. Psarev and A. N. Bykonya. Calculation of Structural and Operational Parameters of a Facility for Infrared Heating of Base Parts during Restoration with a Polymer Material. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D, 2020, Vol. 13, No. 4, pp. 387-390.

17. Псарев Д.Н. Полимерный нанокомпозит для восстановления посадок подшипников качения автомобилей / В.А. Малюгин, Д.Н. Псарев, А.В. Бутин // Мир транспорта и технологических машин. – 2018. – №3 (62) – С. 34-40.

18. ГОСТ 12423-66. Пластмассы. Условия кондиционирования и испытания образцов (проб) [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 6 с.

19. ГОСТ 14236-81. Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 10 с.

20. Крассовский, Г. И. Планирование эксперимента / Крассовский Г.И., Филаретов Г.Ф. ; - Мн.: Изд-во БГУ им. Ленина, 1982. – 302 с.

21. Ли, Р. И. Основы научных исследований: Учеб. пособие / Р.И. Ли // Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2013. – 190 с.

References

1. Кононенко, А. С. Повышение надежности неподвижных фланцевых соединений сельскохозяйственной техники использованием наноструктурированных герметиков: дис ... докт. техн. наук. / Кононенко А. С. – М., 2012, – 405 с.

2. Жачкин С.Ю., Пеньков Н.А., Мандрыкин И.А., Беленцов В.Г. Интенсификация восстановления деталей сельхозмашин дисперсно-упрочненным композитным покрытием на основе хрома // Инновации в сельском хозяйстве. 2019. №3 (32) . С. 49-54.

3. 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.

4. 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.

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

6. Башкирцев, В. Н. Восстановление деталей машин и оборудования адгезивами [Текст]: дис ... докт. техн. наук. / Башкирцев В. Н. – М., 2004, – 397 с.

7. Дёмин, В. Е. Совершенствование технологии восстановления сопряжений опор корпусных деталей с подшипниками качения применением композиционных анаэробных материалов (на примере корпуса КП трактора Т-150К): автореф. дис… канд. техн. наук. / Дёмин В. Е. – Саратов, 2007. – 19 с.

8. Кричевский, М. Е. Применение полимерных материалов при ремонте сельскохозяйственной техники / Кричевский М. Е.; - М.: Росагропромиздат, 1988. – 143 с.

9. Курчаткин, В. В. Восстановление посадок подшипников качения сельскохозяйственной техники полимерными материалами: дис ... док. техн. наук. / Курчаткин В.В. – М., 1989, – 407 с.

10. Машин, Д. В. Повышение эффективности восстановления посадочных отверстий в корпусных деталях автотракторной техники композицией на основе эластомера Ф-40: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03: / Машин Д. В. – Мичуринск, 2013. – 149 с.

11. Кирсанов, Ф. А. Восстановление посадочных отверстий в корпусных деталях трансмиссии сельскохозяйственной техники эластомером Ф-40С: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03: / Кирсанов Ф. А. – Мичуринск, 2015. – 181 с.

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

13. Киба, М.Р. Восстановление посадочных отверстий в корпусных деталях сельскохозяйственной техники нанокомпозитом на основе эластомера Ф-40: дис. ... канд. техн. наук / Киба М.Р. – Мичуринск, 2020. – 164 с.

14. Ли, Р. И. Полимерные композиционные материалы для фиксации подшипников качения в узлах машин: монография / Р.И. Ли. – Липецк: Изд-во Липецкого государственного технического университета, 2017. − 224 с.

15. R. I. Li, D. N. Psarev, A. N. Bykonya. A Mathematical Model of Infrared Heating of Auto Body Parts during Restoration by a Polimer Material. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D, 2020, Vol. 13, No. 2, pp. 172-176.

16. R. I. Li, Yu. N. Rizaeva, D. N. Psarev and A. N. Bykonya. Calculation of Structural and Operational Parameters of a Facility for Infrared Heating of Base Parts during Restoration with a Polymer Material. ISSN 1995_4212, Polymer Science, Series D, 2020, Vol. 13, No. 4, pp. 387-390.

17. Псарев Д.Н. Полимерный нанокомпозит для восстановления посадок подшипников качения автомобилей / В.А. Малюгин, Д.Н. Псарев, А.В. Бутин // Мир транспорта и технологических машин. – 2018. – №3 (62) – С. 34-40.

18. ГОСТ 12423-66. Пластмассы. Условия кондиционирования и испытания образцов (проб) [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 6 с.

19. ГОСТ 14236-81. Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 10 с.

20. Крассовский, Г. И. Планирование эксперимента / Крассовский Г.И., Филаретов Г.Ф. ; - Мн.: Изд-во БГУ им. Ленина, 1982. – 302 с.

21. Ли, Р. И. Основы научных исследований: Учеб. пособие / Р.И. Ли // Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2013. – 190 с.

Сведения об авторах
Принадлежность к организации

Ли Роман Иннакентьевич – доктор технических наук, профессор Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет», Россия, г. Липецк, e-mail: romanlee@list.ru.

Псарев Дмитрий Николаевич – кандидат технических наук, доцент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет», Россия, г. Мичуринск, email: psarev_380@mail.ru

Киба Мария Романовна – кандидат технических наук, ассистент Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный горный университет», Россия, г. Санкт-Петербург, damsel_91@mail.ru.

Мельников Антон Юрьевич – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет», Россия, г. Липецк, e-mail: reks1r@yandex.ru.

Быконя Андрей Николаевич – аспирант Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Липецкий государственный технический университет», Россия, г. Липецк, e-mail: loseroff@mail.ru.

Authors credentials

Affiliations

Roman Li – Full Doctor of Technical Science, Professor of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Lipetsk State Technical University”, Russia, Lipetsk, e-mail: romanlee@list.ru.

Dmitry Psarev – Candidate of Technical Science, Associate Professor of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Michurinsk State Agrarian University”, Russia, Michurinsk, email: psarev_380@mail.ru

Maria Kiba – Candidate of Technical Science, Assistant of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “St. Petersburg State Mining University”, Russia, St. Petersburg, email: damsel_91@mail.ru.

Anton Melnikov – Post graduate student of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Lipetsk State Technical University”, Russia, Lipetsk, e-mail: reks1r@yandex.ru.

Andrew Bykonya – Post graduate student of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Lipetsk State Technical University”, Russia, Lipetsk, e-mail: loseroff@mail.ru.

Поступила в редакцию (Received): 11.02.2022 Принята к публикации (Accepted): 14.03.2022

УДК 631. 356.44
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-2-98-106

УСЛОВИЯ РАБОТЫ СЕПАРИРУЮЩЕГО ЭЛЕВАТОРА КАРТОФЕЛЕУБОРОЧНЫХ МАШИН НА ПЕРЕУВЛАЖНЕННЫХ ПОЧВАХ

[1]Гаджиев Парвиз Имранович
[1]Рамазанова Гюльбике Гудретдиновна
[2]Гаджиев Имран Парвизович
[1]ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный заочный университет»
[2]Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ

Реферат. *Качественное выполнение технологического процесса уборки картофеля во многом зависит от процесса сепарации. С целью улучшения процесса сепарации почвенно-клубненосной массы и уменьшения повреждения клубней в работе предложен сепарирующий элеватор с очищающими обрезиненными лопастями. Транспортер с прорезиненными лопастями расположен внутри основного и движется против направления движения сепарирующего элеватора.*