

УДК 631.372:001.4

UDC 631.372:001.4

05.00.00 Технические науки

Technical sciences

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ УПРУГОДЕМПФИРУЮЩЕГО МЕХАНИЗМА НА ПАХОТЕ**SOLUTION OF THE OPTIMIZATION PROBLEM FOR ELASTIC-DAMPING MECHANISM PARAMETERS IN PLOWING MODE**

Дурягина Вероника Владимировна
SPIN-код: 6386-3689
Южный Федеральный Университет, Таганрог, Россия

Duryagina Veronika Vladimirovna
SPIN-code: 6386-3689
Southern Federal University, Taganrog, Russia

Гамолина Ирина Эдуардовна
к. т. н., доцент
SPIN-код: 5679-8710
Южный федеральный университет, г. Таганрог, Россия

Gamolina Irina Eduardovna
Candidate of Technical Sciences, assistant professor
SPIN-code: 5679-8710
Southern Federal University, Taganrog, Russia

Статья посвящена нахождению оптимальных параметров упругодемпфирующего механизма (УДМ) в трансмиссии машинно-тракторного агрегата (МТА) с трактором класса 1,4 на пахоте. Данный механизм предназначен для плавного трогания агрегата, снижения динамических нагрузок в трансмиссии, защиты двигателя от колебаний внешней нагрузки. Для оценки защитных качеств механизма используется показатель П – "степень прозрачности". Исследование проводилось с помощью методов планирования эксперимента, а именно был выбран центральный композиционный план второго порядка для пяти факторов. В статье приведена регрессионная модель, выражающая влияние основных параметров УДМ на "степень прозрачности" (функция отклика). При исследовании модели применялись методы статистического анализа: критерий Стьюдента, критерий Фишера. Детально рассмотрена зависимость функции отклика от каждого фактора в отдельности, их взаимное влияние на изучаемый процесс. Для нахождения оптимальных значений факторов и функции отклика была получена система дифференциальных уравнений в частных производных. По результатам вычислительного исследования сделан вывод о том, что оптимальное значение параметра П можно получить варьируя значения факторов. Найденные значения параметров УДМ позволяют повысить качество функционирования МТА на пахоте

The article is devoted to finding of the optimum parameters for elastically damping mechanism (EDM) which is located in transmission of machine-tractor unit (MTU). The investigated MTU is based on the tractor of 1.4 class in plowing mode. EDM is designed for MTU in order to make its' start smoothly, to reduce the dynamic load in transmission, to protect engine from the external load vibration. The "transmittance level" (index T) is used as evaluation of the protective mechanism quality. The study was carried out by means of the experiment planning method, viz. the central composition plan of second order with five factors. A regression model for response function ("transmittance level") is given. This model takes into account the chosen EDM characteristics. The statistical analysis methods (Student's t-test, Fisher's test) were used to study the regression model. The dependence of response function on each factor apart, their cross impact on the process are described. The system of partial differential equations is obtained to find the optimal values of parameters and response function. The optimal value of a "transmittance level" can be obtained by varying different EDM parameter values. Optimal values of parameters and as result - response function - allow improving of MTU functioning in plowing mode

Ключевые слова: ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА, МАШИННО-ТРАКТОРНЫЙ АГРЕГАТ, СТЕПЕНЬ ПРОЗРАЧНОСТИ, РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ, УПРУГОДЕМПФИРУЮЩИЙ

Keywords: EXPERIMENT PLANNING METHOD, MACHINE-TRACTOR UNIT, TRANSMITTANCE LEVEL, REGRESSION MODEL, ELASTICALLY DAMPING MECHANISM

МЕХАНИЗМ

Doi: 10.21515/1990-4665-131-077

При выполнении сельскохозяйственными агрегатами различных операций (пахоты, культивации и др.) наиболее существенным фактором, оказывающим влияние на функционирование МТА, является тяговая нагрузка. Колебания тяговой нагрузки ведут к появлению переходных процессов в двигателе. Различные научные исследования [1] доказывают эффективность введения упругой связи в отдельные механизмы трактора. В частности, применение упругодемпфирующего механизма (УДМ) в трансмиссии трактора приводит к поглощению и рассеиванию энергии колебаний тяговой нагрузки, снижая тем самым динамическую нагруженность привода, буксование движителей и т.д.

Одним из таких механизмов является УДМ, разработанный на кафедре «Тракторы и автомобили» Азово-Черноморского инженерного института [2]. Данный механизм предназначен для плавного трогания МТА, снижения динамических нагрузок в трансмиссии, защиты от колебаний внешней нагрузки [3, 4].

Для оценки защитных качеств механизма предлагается показатель Π – "степень прозрачности", в форме отношения текущей амплитуды колебаний частоты вращения вала двигателя к максимальному ее значению [4]. При $\Pi=1$ редуктор абсолютно "прозрачный", двигатель остается незащищенным от колебаний тяговой нагрузки (это происходит в серийных трансмиссиях). При $\Pi=0$ редуктор является абсолютно "непрозрачным" и будет полностью гасить колебания, передаваемые на двигатель.

Целью данной работы является получение оптимальных параметров упругодемпфирующего механизма в трансмиссии МТА с трактором класса

1,4 на пахоте. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. выявление значимых факторов, влияющих на работу УДМ;
2. выбор плана эксперимента и получение экспериментальных значений;
3. получение регрессионной модели, выражающие влияние основных параметров УДМ на «степень прозрачности»;
4. нахождение оптимальных значений значимых факторов.

На основании исследований, проведенных Кравченко В.А., Толстоуховым Ю.С., Сенкевичем С.Е. [1, 6] были выбраны основные факторы для проведения исследований. Опираясь на результаты поисковых экспериментов были выбраны уровни и интервалы варьирования, приведенные в таблице 1.

Наименование факторов	Обозначение факторов	Кодовое обозначение	Интервал варьирования	Натуральные значения, соответствующие уровням кодированных факторов		
				Верхний (+1)	Основной (0)	Нижний (-1)
Площадь сечения дросселя	$S_{др}, м^2$	X_1	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$3,524 \cdot 10^{-4}$	$2,424 \cdot 10^{-4}$	$1,324 \cdot 10^{-4}$
Объем пневмогидро-аккумулятора	$V_{пга}, м^3$	X_2	$1,23 \cdot 10^{-3}$	5,079	$3,848 \cdot 10^{-3}$	$2,617 \cdot 10^{-3}$
Давление воздуха в ПГА	$P_v, Па$	X_3	$1 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$
Момент инерции дополнительных грузов	$J_{др}, кг \cdot м^2$	X_4	$2,32 \cdot 10^{-3}$	$6,96 \cdot 10^{-3}$	$4,64 \cdot 10^{-3}$	$2,32 \cdot 10^{-3}$
Частота колебаний тяговой нагрузки	f, Гц	X_5	0,3	1,2	0,9	0,6

Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Для исследования был выбран центральный композиционный план второго порядка, отвечающий требованию ротатабельности. В отличие от некомпозиционного плана данный план для пяти факторов позволяет уменьшить количество проводимых опытов [5].

Опыты по изучению влияния упругодемпфирующего механизма на МТА на пахоте проводились в режимах разгона и установившейся нагрузки на специально подготовленном горизонтальном участке поля с уклоном не более 2^0 при строго прямолинейном движении агрегата на 6 передаче основного ряда скоростей КПП трактора. Для измерения мгновенных значений энергетических параметров, опираясь на план эксперимента, использовалась САНО – система автоматического накопления и обработки метрологической информации [1]. На основе полученных таким образом опытных данных был рассчитан показатель П (функция отклика Y).

Для аппроксимации функции отклика был использован полином второй степени адекватно описывающий область оптимума:

$$y = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq i < l \leq k} b_{il} x_i x_l + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} x_i^2. \quad (1)$$

Для проверки используемой модели на адекватность и нахождения оптимального значения функции отклика применялся регрессионный анализ и методы математической статистики.

Коэффициенты уравнения регрессии (1) вычислялись по формуле:

$$B = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot Y, \quad (2)$$

где X – матрица, составленная на основе используемого плана эксперимента [1], Y – матрица откликов.

Найденные коэффициенты уравнения регрессии (2) проверялись на статистическую значимость. Для этого применялся t-критерий

Стьюдента с построением доверительных интервалов Δb_i на основе найденных значений дисперсии воспроизводимости эксперимента Dy и матрицы дисперсий-ковариаций Dk .

$$Dy = \frac{\sum_{i=1}^{n_0} (y_i - \bar{Y})^2}{n_0}, \quad (3)$$

где \bar{Y} - среднее значение отклика для точек в центре плана, $n_0=6$ [5].

$$Dk = Dy \cdot (X^T \cdot X)^{-1}, \quad (4)$$

$$\Delta b_i = \sqrt{Dk_{i,i}} \cdot t, \quad (5)$$

где t - табличное значение коэффициента Стьюдента при уровне значимости

$\alpha=0,05$ и числе степеней свободы $n_0 - 1$.

Так как значение коэффициентов $b_1, b_2, b_4, b_7 - b_{10}, b_{13}, b_{16}, b_{17}, b_{19}$ и b_{20} по абсолютной величине меньше соответствующих доверительных интервалов, их можно признать статистически не значимыми и исключить из уравнения (1).

С учетом полученных данных математическая модель имеет вид:

$$y(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) = 0.06538x_3 + 0.06613x_5 + 0.04968x_3^2 - 0.06994x_1x_2 + 0.04868x_2x_4 - 0.03494x_2x_5 - 0.04581x_2x_5 + 0.6212 \quad (6)$$

Величина и знак коэффициентов показывают вклад соответствующих факторов в общий результат - показатель степени прозрачности, при переходе на другой уровень.

Полученная математическая модель проверялась на адекватность с помощью критерия Фишера [5]

$$Fp = \frac{Da}{Dy}, \quad (7)$$

где Da - дисперсия адекватности.

$$Da = \frac{\sum_{i=1}^N (MD)^2 - \sum_{i=1}^{n_0} (y_i - \bar{Y})^2}{N - k - (n_0 - 1)}, \quad (8)$$

$$MD = Y - Yr, \tag{9}$$

$$Yr = X \cdot B. \tag{10}$$

Где Yr - расчетные значения матрицы откликов с учетом значимых коэффициентов.

Расчетами установлено, что коэффициент Фишера для модели (6) равен $Fp=4,217$. Это значение меньше табличного $Ft=4,44$. Следовательно, модель адекватна.

Анализируя уравнение (6), приходим к выводу, что наибольшее влияние на степень прозрачности оказывает фактор x_3 , соответствующий давлению воздуха в ПГА.

На рисунках 1-3 представлены графики зависимости степени прозрачности трансмиссии от различных факторов УДМ. Каждая линия (рис. б) представляет собой линию равного отклика, соответствующую проекции сечения поверхности отклика плоскостью $y = \text{const}$.

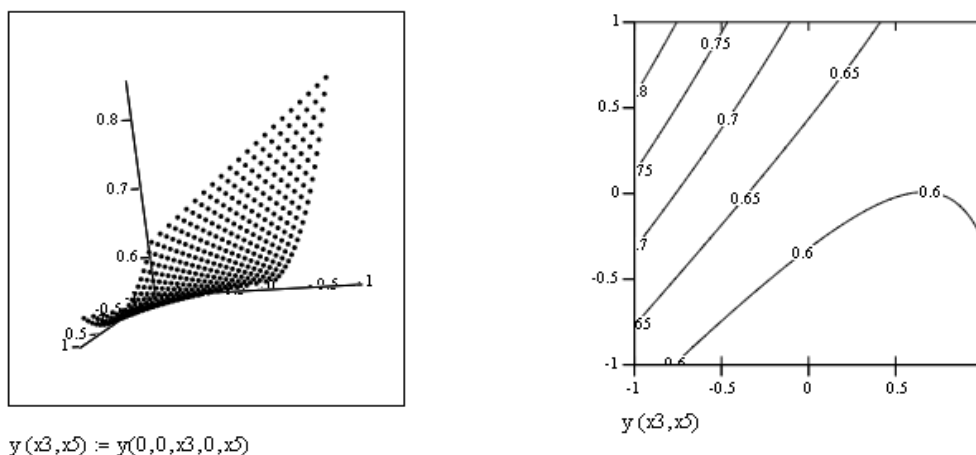


Рисунок 1 – Графики зависимости степени прозрачности трансмиссии от колебаний тяговой нагрузки и давления воздуха в ПГА.

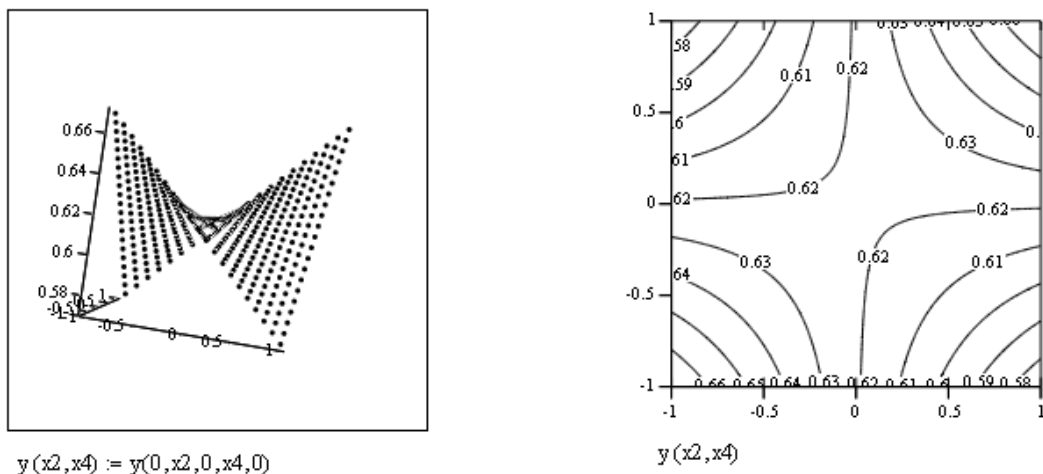


Рисунок 2 – Графики зависимости степени прозрачности трансмиссии от объема ППА и момента инерции дополнительных грузов.

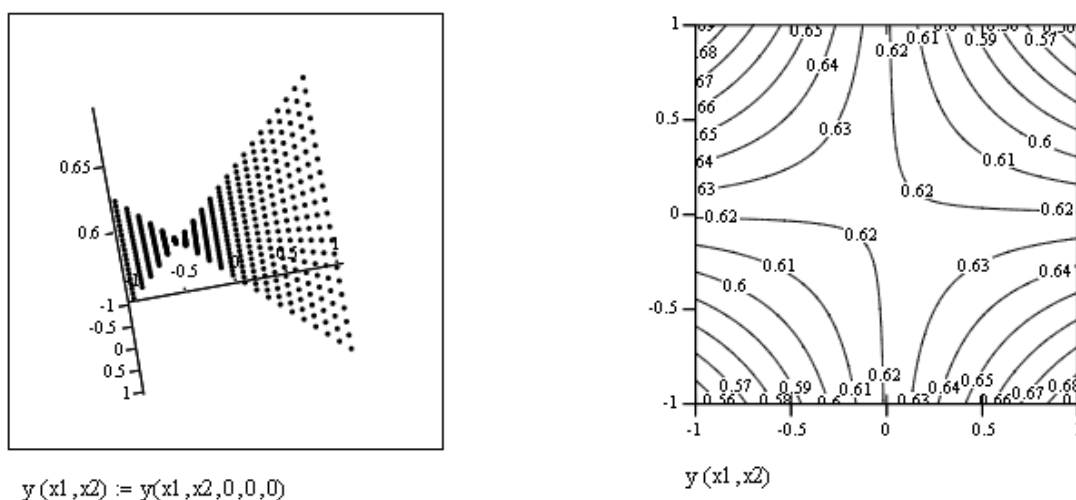


Рисунок 3 – Графики зависимости степени прозрачности трансмиссии от площади сечения дросселя и объема ППА.

Для нахождения оптимальных значений факторов была получена система дифференциальных уравнений в частных производных:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial}{\partial x_1} y(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) &= -0.06993x_2 \\
 \frac{\partial}{\partial x_2} y(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) &= 0.04868x_4 - 0.03494x_5 - 0.06994 \\
 \frac{\partial}{\partial x_3} y(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) &= 0.09937x_3 - 0.04581x_5 - 0.06537x_1. \quad (11) \\
 \frac{\partial}{\partial x_4} y(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) &= 0.04868x_2 \\
 \frac{\partial}{\partial x_5} y(x_1, x_2, x_3, x_4, x_5) &= -0.03494x_2 - 0.04581x_3 + 0.06613
 \end{aligned}$$

Решив систему (11) и перейдя от кодированных значений $x_1 - x_5$ к натуральным значениям факторов по формулам:

$$\begin{aligned}
 x_1 &= \frac{S_{др} - 2.424 \cdot 10^{-4}}{1.1 \cdot 10^{-4}}; & x_2 &= \frac{V_{пга} - 3.848 \cdot 10^{-2}}{1.231 \cdot 10^{-2}}; & x_3 &= \frac{P_E - 4 \cdot 10^5}{1 \cdot 10^5}; \\
 x_4 &= \frac{J_{дг} - 4.64 \cdot 10^{-2}}{2.32 \cdot 10^{-2}}; & x_5 &= \frac{f - 1.3}{0.5}; \quad (12)
 \end{aligned}$$

были получены следующие результаты задачи оптимизации $S_{др}=1,49 \cdot 10^{-4}$, $V_{пга}=3,85 \cdot 10^{-3}$, $P_E=6,77 \cdot 10^5$, $J_{дг}=4,64 \cdot 10^{-3}$, $f=1,41$. Это соответствует оптимальному значению степени прозрачности трансмиссии, равному 0,63.

Как следует из рисунков 1-3 оптимальное значение параметра Π можно получить, варьируя значения факторов $x_1 - x_5$.

Проведенный вычислительный эксперимент показал целесообразность использования УДМ в трансмиссии трактора класса 1,4 на пахоте. Следует отметить, что найденные оптимальные значения факторов и функции отклика применимы только к аналогичным условиям эксплуатации и не применимы на других сельскохозяйственных операциях.

Литература

1. Кравченко, В.А. Повышение динамических и эксплуатационных показателей сельскохозяйственных машинно-тракторных агрегатов: монография / В.А. Кравченко. – Зерноград: АЧГАА, 2010. – 224 с.
2. Патент 2398147 Российская Федерация, С1 F 16 H 47/04. Устройство для снижения жёсткости трансмиссии машинно-тракторного агрегата / В.А. Кравченко, С.Е. Сенькевич, А.А. Сенькевич, Д.А. Гончаров, В.В. Дурягина; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО АЧГАА. – № 2008153010/11; заявл. 31.12.2008; опубл. 27.08.2010, Бюл. № 24. – 7 с.: ил.
3. Результаты экспериментальных исследований показателей работы пахотного МТА на базе трактора класса 1,4 с УДМ в трансмиссии.-Краснодар: КубГАУ, 2015. - №112(08).
4. Кравченко В.А., Гончаров Д.А., Дурягина В.В. Упругодемпфирующий механизм в трансмиссии сельскохозяйственного трактора. Журнал «Сельский механизатор», 2008, №11, с. 40-41.
5. Спиридонов А.А. стр 93 Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М: Машиностроение, 1981.- 184 с.
6. Кравченко В.А. Повышение эффективности МТА на базе колесных тракторов / В.А. Кравченко, В.А. Оберемок, Л.В. Кравченко. // Технология колесных и гусеничных машин. – 2014. - №6(16). – с. 45-50.

Literatura

1. Kravchenko, V.A. Povyshenie dinamicheskikh i jekspluatacionnyh pokazatelej sel'skohozjajstvennyh mashinno-traktornyh agregatov: monografija / V.A. Kravchenko. – Zernograd: AChGAA, 2010. – 224 s.
2. Patent 2398147 Rossijskaja Federacija, S1 F 16 N 47/04. Ustrojstvo dlja sni-zhenija zhjostkosti transmissii mashinno-traktornogo agregata / V.A. Kravchenko, S.E. Sen'kevich, A.A. Sen'kevich, D.A. Goncharov, V.V. Durjagina; zajavitel' i patentoobladatel' FGOU VPO AChGAA. – № 2008153010/11; zajavl. 31.12.2008; opubl. 27.08.2010, Bjul. № 24. – 7 s.: il.
3. Rezul'taty jeksperimental'nyh issledovanij pokazatelej raboty pahotnogo MTA na baze traktora klassa 1,4 s UDM v transmissii.-Krasnodar: KubGAU, 2015. №112(08).
4. Kravchenko V.A., Goncharov D.A., Durjagina V.V. Uprugodempfirujushhij mehanizm v transmissii sel'skohozjajstvennogo traktora. Zhurnal «Sel'skij mehanizator», 2008, №11, s. 40-41.
5. Spiridonov A.A. str 93 Planirovanie jeksperimenta pri issledovanii tehnologicheskikh processov. M: Mashinostroenie, 1981.- 184 s.
6. Kravchenko V.A. Povyshenie jeffektivnosti MTA na baze kolesnyh traktorov / V.A. Kravchenko, V.A. Oberemok, L.V. Kravchenko. // Tehnologija kolesnyh i gusenichnyh mashin. – 2014. - №6(16). – s. 45-50.