3. *Глинка Н.Л.* Общая химия. 24-е изд. – Л.: Химия, 1985. – 702 с.
4. *Грег С., Синг К.* Адсорбция, удельная пверхность, пористость. – М.: Мир, 1984. – 310 с.
5. Очистка и регенерация нерафинированных растительных масел / Ф.Я. Рудик [и др.] // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 1. – С. 113–126.

**Рудик Феликс Яковлевич**, *д-р техн. наук, проф. кафедры «Технологии продуктов питания», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.*

**Моргунова Наталья Львовна**, *канд. с.-х. наук, доцент, доцент кафедры «Технологии продуктов питания», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.*

**Сундуков Евгений Александрович**, *магистрант, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.*

*410005, г. Саратов, ул. Соколовая, 335.*

*Тел.: (8452) 69-25-32.*

***Ключевые слова**: ультразвук; масло; адсорбция; очистка; массопередача.*

**FACTOR RELATIONSHIP OF THE PARAMETERS OF THE HARMONIC OSCILLATORY SYSTEM WHEN CLEANING THE FILTRATION SURFACE OF THE PLANT FOR VEGETABLE OIL REGENERATION**

**Rudik Phelix Yakovlevich,** *Doctor of Technical Sciences, Professor of the chair “Food Technology”, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.*

**Morgunova Natalya Lvovna,** *Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the chair “Food Technology”, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.*

**Sundukov Evgeniy Aleksandrovich,** *Magistrandt, Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.*

***Keywords:** ultrasound; oil; adsorption; cleaning; mass transfer.*

***When processing oilseeds, technologies are needed to obtain valuable vegetable oils by pressing with a long shelf life. Existing technologies for cleaning vegetable oils in small enterprises do not allow cleaning the oil from all undesirable substances and therefore the oils have a short shelf life, quickly oxidize and lose their presentation. The article theoretically substantiates the design parameters of a directional ultrasonic and mechanical oscillatory system for cleaning the filtration surface of the installation from accumulated solid particles in the oil.***



DOI 10.28983/asj.y2020i12pp102-104

УДК 621.4:303.447.3

# МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

**САВЕЛЬЕВ Анатолий Петрович,** *Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева*

**ШКРАБАК Владимир Степанович,** *Санкт-Петербургский государственный аграрный университет*

***Представлена методика определения экстремальных значений функциональных параметров двигателей при эксплуатационных исследованиях машинно-тракторных агрегатов путем интегрирования функции двух переменных.***

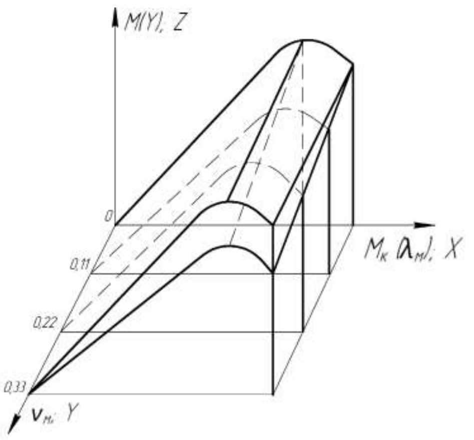
***Введение.*** Функциональные параметры двигателей при работе машинно-тракторных агрегатов в условиях реальной эксплуатации заметно отличаются от таковых при статистических стендовых испытаниях. Для повышения достоверности диагностирования двигателей по функциональным параметрам приходится прибегать к диагностированию в динамических режимах [1–4].

Максимальная информативность при диагностировании достигается в режиме максимальной эффективной мощности, расхода топлива или удельного расхода топлива. Экстремальные значения эффективной мощности, частоты вращения вала двигателя также необходимы для определения максимальной производительности машинно-тракторных агрегатов. Экстремальные значения функциональных параметров двигателей при неустановившейся нагрузке теоретически определяются с использованием методов функционального преобразования случайных величин и теории механических цепей [1].

Для экспериментального подтверждения теоретических предпосылок исследования проводятся в области максимальной эффективной мощности. Провести исследования в области экстремальных значений невозможно как при стендовых, так и при эксплуатационных испытаниях. В этом случае измерения поводятся как минимум в трех точках в области экстремума, а сам экстремум определяется расчетным путем.

***Методика исследований:*** интерполирование функции двух переменных, регрессионного анализа.

***Результаты исследований.*** При рассмотрении зависимости функциональных параметров двигателей при работе машинно-тракторных агрегатов в функции коэффициента вариации внешней нагрузки ($\upsilon_м$) получим зависимость второго порядка. Как уже было нами отмечено экспериментальные исследования проводятся в области экстремума функционального параметра, при этом изменяется уровень загрузки двигателя $\lambda_м$. В этом случае зависимость математического ожидания функционального параметра от $\lambda_м$ и $\upsilon_м$ будет представлять поверхность. С достаточной тонностью приближения можно сказать, что значение математических ожиданий функционального параметра располагается по параболической поверхности, или поверхности второго порядка (см. рисунок).




***Совокупность математических ожиданий функционального параметра двигателя при работе в условиях неустановившейся нагрузки***

Выполним математическое описание этой поверхности путем интерполирования поверхностей второго порядка. Функцию $z = f(x,y)$ (см. рисунок) зададим системой равноотстоящих точек $(x_i, y_j)$, $i, j = 0, 1, 2...$), где $x_i = x_0 + ih$, $y_j = y_0 + jk$, где $h = \Delta x_i = \text{const}$, $k = \Delta y_j = \text{const}$.

Функцию $z = f(x,y)$ можно представить в виде таблицы с двумя входами (см. таблицу).

**Значения функции *z* в зависимости от параметров *x* и *y***

| *y* \ *x* | $x_0$ | $x_1$ | $x_2$ | - - - | $x_m$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $y_0$ | $z_{00}$ | $z_{10}$ | $z_{20}$ | | $z_{m0}$ |
| $y_1$ | $z_{01}$ | $z_{11}$ | $z_{21}$ | | |
| $y_2$ | $z_{02}$ | $z_{12}$ | $z_{22}$ | | |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| $y_n$ | $z_{0n}$ | $z_{1n}$ | $z_{2n}$ | ... | $z_{mn}$ |

Интерполирование функции двух переменных $z = f(x,y)$, т.е. нахождение ее нетабличных значений, можно последовательно осуществить по каждому переменному *x* и *y*. Для функции $z = f(x,y)$, представленной в виде двойной таблицы $[z_i, j]$, можно найти частные конечные разности

$$\Delta_x z_{ij} = z_{i+1,j} - z_{ij} \text{ и } \Delta_y z_{ij} = z_{i+1,j} - z_{ij}. \quad (1)$$

При повторном применении этих операций получим двойные разности высших порядков:

$$\Delta^{m+n} z_{ij} = \Delta_x^{m+n} m_y n z_{ij} = \Delta_x^m m\left(\Delta_y^n n z_{ij}\right) = \\ = \Delta_y^n\left(\Delta_x^m m z_{ij}\right), \quad (2)$$

где $\Delta^{0+0}\ z_{ij} = z_{ij}$. Например:

$$\Delta^{1+2} z_{ij} = \Delta_x\left(\Delta_{yy}^2 z_{ij}\right) = \Delta_x\left(z_{ij+2} - 2z_{ij+1} + z_{ij}\right) = \\ = \left(z_{i+1,y+2} - 2z_{i+1,j+1} + z_{i+1,j}\right) - \\ - \left(z_{i,j+2} - 2z_{i,j+1} + z_{i,j}\right). \quad (3)$$

С использованием разности функций двух переменных $z = f(x,y)$ можно построить интерполяционный полином, аналогичный интерполяционному полиному Ньютона. Предположим, что $P(x, y)$ целый полином, где

$$\Delta_x^{m+n} m_y n P(x_0 y_0) = \Delta^{m+n} z_{00}, \quad (4)$$

где $m, n = 0,1,2 \ldots$ .

Разложение полинома $P(x, y)$ по обобщенным степеням разностей $x - x_0$ и $y - y_0$ запишется следующим образом:

$$P(x, y) = C_{00} + C_{10}(x - x_0) + C_{01}(y - y_0) + \\ + C_{20}(x - x_0)(x - x_1) + C_{11}(x - x_0)(y - y_0) + \\ + C_{02}(y - y_0)(y - y_1) + \ldots . \quad (5)$$

Поскольку $x = x_0$ и $y - y_0$, то с учетом формулы (4) полином примет вид

$$P(x_0, y_0) = z_{00} = C_{00}. \quad (6)$$

Составив два полинома $P(x, y)$ конечных разностей первого порядка, получим уравнение

$$\Delta_x P(x, y) = C_{10}h + 2C_{20}h(x - x_0) + C_{11}h(y - y_0) + \ldots, \\ \Delta_x P(x, y) = C_{01}k + C_{11}k(x - x_0) + 2C_{02}k(y - y_0) + \ldots . \quad (7)$$

С учетом того, что $x = x_0$ и $y = y_0$ и на основании формулы (4) получим

$$\Delta_x P(x_0, y_0) = \Delta^{110} z_{00} = C_{10}h; \\ \Delta_y P(x_0, y_0) = \Delta^{0+1} z_{00} = C_{01}k, \quad (8)$$

где $C_{10} = \dfrac{\Delta^{110} z_{00}}{h}$; $C_{01} = \dfrac{\Delta^{0+1} z_{00}}{k}$; (9)

Найдем два полинома $P(x,y)$ конечных разностей второго порядка:

$$\Delta_{xx} P(x, y) = 2!C_{20}h^2 + \ldots, \\ \Delta_{xy} P(x, y) = C_{11}hk + \ldots, \\ \Delta_{yy} P(x, y) = 2!C_{02}k^2 + \ldots . \quad (10)$$

При $x = x_0$ и $y = y_0$ полином второго порядка примет следующий вид:

$$\Delta_{xx} P(x_0, y_0) = \Delta^{2+0} z_{00} = 2!C_{20}h^2; \\ \Delta_{xy} P(x_0, y_0) = \Delta^{1+1} z_{00} = C_{11}hk; \\ \Delta_{yy} P(x_0, y_0) = \Delta^{0+2} z_{00} = 2!C_{02}k^2, \quad (11)$$

где $C_{20} = \dfrac{1}{2!}\dfrac{\Delta^{2+0} z_{00}}{h^2}$, $C_{11} = \dfrac{1}{2!}\dfrac{\Delta^{1+1} z_{00}}{hk}$, $C_{02} = \dfrac{1}{2!}\dfrac{\Delta^{0+2} z_{00}}{k^2}$.

Аналогично вычисляем дальнейшие коэффициенты разложения выражения (5). Подставив найденные коэффициенты в формулу (5), получим интерполяционный полином для функции двух переменных:

$$P(x,y)=z_{00}+\left[\frac{\Delta^{1+0}z_{00}}{h}(x-x_0)+\frac{\Delta^{0+1}z_{00}}{k}(y-y_0)\right]+$$

$$+\frac{1}{2!}\left[\frac{\Delta^{2+0}z_{00}}{h^2}\times(x-x_0)^2+2\frac{\Delta^{1+1}z_{00}}{hk}(x-x_0)(y-y_0)+\right.$$

$$\left.+\frac{\Delta^{0+2}z_{00}}{k^2}(y-y_0)^2\right]+\cdots. \quad (12)$$

При интерполировании функции $f(x,y)$

$$f(x,y)\approx P(x,y) \quad (13)$$

для удобства вычислений введем переменные

$$\frac{x-x_0}{h}=p;\ \frac{y-y_0}{k}=q. \quad (14)$$

В этом случае $\frac{x-x_1}{h}=p-1;\ \frac{y-y_1}{k}=q-1$ и т.д.

В результате принятых обозначений формула (12) примет следующий вид:

$$z\approx z_{00}+(p\Delta^{1+0}z_{00}+q\Delta^{0+1}z_{00}+\frac{1}{2!}\left[p(p-1)\Delta^{2+0}z_{00}+\right.$$

$$\left.+2pq\Delta^{1+1}z_{00}+q(q-1)\Delta^{0+2}z_{00}\right]+\dots, \quad (15)$$

где $x=x_0+ph$, $y=y_0+qk$.

Если предположить, что $p=0$ или $q=0$, то формула 5 перейдет в соответствующую интерполяционную формулу Ньютона:

$$f(x,y)\approx p(x,y)\approx K_1+K_2(x-x_0)+K_3(y-y_0)+$$

$$+K_4(x-x_0)^2+K_5(x-x_0)(y-y_0)+K_6(y-y_0)^2. \quad (16)$$

Поверхность области номинала, устанавливающую функциональную связь номинала, между энергическим параметром, степенью загрузки и коэффициента вариации можно записать в виде уравнения:

$$P(x,y)=K_1+K_{2x}+K_{3x}+K_{4x^2}+K_{5xy}+K_{6y^2}, \quad (17)$$

или

$$M(y)=a_0+a_1\lambda_{\overline{M}}+a_2\nu_M+a_3\lambda_M^2+a_4\lambda_M\nu_M+a_5\nu_M^2. \quad (18)$$

Коэффициенты $K_1-K_6$ или $a_0-a_5$ определяются на ЭВМ по стандартным программам многофакторного регрессионного анализа.

***Заключение.*** В результате проведения трех опытов вблизи номинала можно определить значения $\lambda_м\upsilon_м$ и $M(y)$. Подставив их в уравнение (18), получим уравнение поверхности представляющее собой аппроксимацию эксплуатационных точек математических ожиданий функциональных параметров с погрешностью не более 2 %. Оно позволит найти экстремумы параметров, необходимые при тестовом диагностировании или при определении максимальной производительности машинно-тракторного агрегата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Савельев А.П.* Диагностирование тракторов по динамическому состоянию машинно-тракторных агрегатов. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 1993.– 220 с.

2. *Глотов С.В.* Оценка эффективности функционирования тракторов. – Саранск, 2003. – 188 с.

3. *Савельев А.П., Калачин С.В., Шкрабак Р.В.* Обоснование допустимых значений эксплуатационных параметров в системе «Оператор - машинно-тракторный агрегат» // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2011. № 22. – С. 302–305.

4. *Савельев А.П.* Повышение достоверности диагностирования дизелей по функциональным параметрам // Сельский механизатор. – №2. – М., 2019. – С. 34.

**Савельев Анатолий Петрович,** *д-р техн. наук, проф., Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева. Россия.*

*430005, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевистская, 68.*

*Тел.: 89272768168.*

**Шкрабак Владимир Степанович,** *д-р техн. наук, проф. кафедры «Безопасность технологических процессов и производств», Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Россия.*

*196601, г. Санкт-Петербург – Пушкин, Петербургское шоссе, 2.*

*Тел.: (812) 451-76-18.*

***Ключевые слова:*** *функциональные параметры двигателей; экстремальные значения; интегрирование функций двух переменных; регрессионный анализ; аппроксимация.*

**METHOD FOR DETERMINING EXTREME VALUES OF ENGINE FUNCTIONAL PARAMETERS BASED ON THE RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES**

**Saveliev Anatoly Petrovich,** *Doctor of Technical Sciences, Professor, National Research Mordovia State University named after N.P. Ogaryov. Russia.*

**Shkrabak Vladimir Stepanovich,** *Doctor of Technical Sciences, Professor of the chair “Safety of Technological Processes and Productions”, St. Petersburg State Agrarian University. Russia.*

***Keywords:*** *functional parameters of engines; extreme values; integration of functions of two variables; regression analysis; approximation.*

***A method for determining the extreme values of the functional parameters of engines in extreme studies of machine-tractor units by integrating the function of two variables is presented.***