УДК 517:631.362.32/34

ИССЛЕДОВАНИЕ НА НАИБОЛЬШЕЕ И НАИМЕНЬШЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ФУНКЦИЙ ОТКЛИКА КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕШЕТ ПРИ ОЧИСТКЕ ОЧЕСАННОГО ВОРОХА ЗЕРНОВЫХ

Рубцов Н. А., к.т.н.
Мелитопольский государственный педагогический университет им. Б. Хмельницкого
тел. (098) 31-66-501
Леженкин И. А., инженер
Таврический государственный агротехнологический университет
тел. (0619) 42-24-36, e-mail: lan2810@mail.ru

***Аннотация* – в статье приводятся выполненные на основании положений математического анализа результаты исследований функций отклика качественных показателей работы экспериментальных решет на очистке очесанного вороха зерновых культур.**

***Ключевые слова* – уравнение регрессии, наибольшее значение, функция отклика, сепарация, очесанный ворох, экспериментальные решета.**

Постановка проблемы. Уборка зерновых наиболее трудоемкая и ответственная операция в технологии выращивания зерновых культур. Она может осуществляться зерноуборочными комбайнами по классической схеме, либо методом очесывания растений на корню. Процесс очесывания растений на корню может происходить либо по комбайновой, либо по стационарной технологии. Комбайновая технология осуществляется комбайнами с навешенными на них очесывающими жатками. Суть стационарной технологии заключается в следующем. Уборочная машина с очесывающими рабочими органами очесывает растения на корню и подает ворох в прицеп-тележку. Когда тележка наполняется, она транспортируется на стационар для доработки очесанного вороха [1, 2]. Первой операцией доработки очесанного вороха является его сепарация [3, 4]. В [5] предложена конструкция ворохоочистителя для сепарации очесанного вороха зерновых. Однако параметры и режимы его работы не обоснованы. В связи с чем возникает проблема обоснования параметров и режимов работы рабочих органов для сепарации очесанного вороха зерновых.

Анализ публикаций. Аблогиным Н. Н. [6] проведены исследования процесса сепарации очесанного вороха риса цилиндрическим решетом с наружной рабочей поверхностью. В данной работе и в [7] также рассматриваются физико-механические свойства очесанного вороха риса. Сравнивая фракционный состав очесанного вороха риса и очесанного вороха зерновых [8-10], следует отметить, что они имеют существенные отличия. Очесанный ворох риса содержит свободного зерна 85…95%, а очесанный ворох зерновых – 45…63% [11]. Поэтому использовать при сепарации очесанного вороха зерновых цилиндрическое решето с наружной рабочей поверхностью не совсем целесообразно. Это подтвердили результаты исследований [12]. Исходя из вышеизложенного наиболее эффективным использовать плоскорешетный сепаратор с экспериментальными решетами [5].

Цель статьи. Исследовать функции отклика качественных показателей роботы экспериментальных решет и определить значения факторов, которые обеспечивают наибольшие значения функций отклика.

Основная часть. Для построения регрессионной модели технологического процесса сепарации очесанного вороха на плоскорешетном ворохоочистителе был реализованный некомпозиционный, ротобельный трехуровневый план Бокса-Бенкина для трех факторов, который оценивался двумя функциями отклика. В качестве факторов были приняты удельная подача очесанного вороха на решето, частота колебаний решет и диаметр отверстий решет. В результате проведения эксперимента и последующего расчета коэффициентов регрессии была получена модель

$$\begin{aligned}
y_1 &= 0{,}614 - 0{,}158x_1 - 0{,}093x_2 + 0{,}132x_3 - 0{,}00175x_2x_3 + \\
&+ 0{,}061x_1^2 - 0{,}061x_1^2 - 0{,}041x_2^2 - 0{,}0665x_3^2 \\
y_2 &= 0{,}6 - 0{,}105x_1 - 0{,}104x_2 - 0{,}054x_3 + 0{,}015x_1x_2 + 0{,}03x_1x_3 + \\
&+ 0{,}01x_2x_3 - 0{,}046x_1^2 + 0{,}049 - 0{,}009x_3^2.
\end{aligned} \tag{1}$$

Первое из уравнений (1) характеризует изменение коэффициента сепарации в зависимости от параметров и режимов работы экспериментального рабочего органа, а второе уравнение описывает характер изменений коэффициента эффективности выделения примесей.

Для анализа уравнений регрессии (1) необходимо построить поверхности отклика. Построение поверхности отклика начинается с определения координат точек, в которых функция отклика принимает экстремальное значение. Применительно к рассматриваемому процессу сепарации очесанного вороха речь может идти о нахождении наибольшего или наименьшего значения функций отклика и, тех условий, которые обеспечивают эти значения.

В первую очередь нас интересуют наибольшие значения функций отклика, т.е. наибольшие значения коэффициента сепарации и коэффициента эффективности выделения примесей. Таким образом, задача сводится к определению значений факторов (удельной подачи, частоты колебаний и диаметра отверстий), при которых функции отклика принимают наибольшие значения. Для решения данной задачи необходимо исследовать уравнения регрессии, которые являются функциями нескольких переменных на наибольшее и наименьшее значение. При исследовании функции нескольких переменных на наибольшее и наименьшее значение в замкнутом пространстве был использован следующий алгоритм:

– находились частные производные первого порядка, приравнивались к нулю и решалась система k уравнений (k – количество переменных, при этом система необязательно должна быть линейной);

– после решения системы были получены критические точки $M_i(x_1, x_2, ..., x_k)$, где $i=\overline{1, m}$, m – наивысшая степень уравнений системы;

– были определены значения функции в этих точках, при этом исследование на экстремум не проводилось;

– находилось наибольшее и наименьшее значения функции на каждой границе замкнутого пространства;

– из всех вычисленных значений выбиралось наибольшее и наименьшее.

Согласно приведенной методики исследуем первое уравнение регрессии

$$y_1 = 0{,}614 - 0{,}158x_1 - 0{,}093x_2 + 0{,}132x_3 - 0{,}00175x_2x_3 + 0{,}061x_1^2 - 0{,}041x_2^2 - 0{,}0665x_3^2. \quad (2)$$

Возьмем частные производные от данной функции по исследуемым факторам x_1, x_2, x_3.

$$\begin{cases} \dfrac{\partial y_1}{\partial x_1} = -0{,}158 + 2\cdot 0{,}061x_1, \\ \dfrac{\partial y_1}{\partial x_2} = -0{,}093 - 0{,}00175x_3 - 2\cdot 0{,}041x_2, \\ \dfrac{\partial y_1}{\partial x_3} = 0{,}132 - 0{,}00175x_2 - 2\cdot 0{,}00665x_3. \end{cases} \quad (3)$$

Приравниваем уравнения (3) к нулю и получим алгебраическую систему уравнений. Решим систему (4) относительно x_1, x_2 и x_3

$$\begin{cases} -0{,}158 + 2\cdot 0{,}061x_1 = 0, \\ -0{,}093 - 0{,}00175x_3 - 2\cdot 0{,}041x_2 = 0, \\ 0{,}132 - 0{,}00175x_2 - 2\cdot 0{,}00665x_3 = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Из первого уравнения системы (4) находим x_1

$$0{,}122x_1 = 0{,}158 \Rightarrow x_1 = 1{,}295.$$

Далее определяем x_2 и x_3

$$\begin{cases} 0{,}082x_2 + 0{,}00175x_3 = -0{,}093 \\ 0{,}00175x_2 + 0{,}133x_3 = 0{,}132 \end{cases} \left| \begin{array}{l} 0{,}00175 \\ -0{,}082 \end{array} \right.$$

$$\begin{cases} 0{,}0001435x_2 + 0{,}0000030625x_3 = -0{,}00016275 \\ -0{,}0001435x_2 - 0{,}010906x_3 = -0{,}010824 \end{cases}$$

$$-0{,}0109029375x_3 = -0{,}01098675$$

$$x_3 = 1{,}008$$

$$0{,}082x_2 + 0{,}001763453 = -0{,}093$$

$$0{,}082x_2 = -0{,}094763453$$

$$x_2 = -1{,}156.$$

Таким образом, в результате решения системы алгебраических уравнений (4) получили значения координат точки M $M(x_1; x_2; x_3) = M(1{,}295; -1{,}156; 1{,}008)$. Однако, эта точка находится вне исследуемой зоны и мы ее отбрасываем. Теперь будем исследовать значения функции на границах замкнутого пространства.

1. Принимаем, что фактор $x_1 = \text{const}$ и обозначим его через c_1. Подставим c_1 в уравнение регрессии (2) вместо x_1 и получим уравнение вида

$$y_1 = 0{,}614 - 0{,}158c_1 - 0{,}093x_2 + 0{,}132x_3 - 0{,}00175x_2x_3 + 0{,}061c_1^2 - 0{,}041x_2^2 - 0{,}0665x_3^2. \quad (5)$$

Далее проводим исследование по аналогичной методике. Возьмем частные производные от функции отклика по переменным факторам x_2 и x_3

$$\begin{cases} \dfrac{\partial y_1}{\partial x_2} = -0{,}093 + 0{,}00175x_3 - 0{,}082x_2, \\ \dfrac{\partial y_1}{\partial x_3} = 0{,}132 - 0{,}00175x_2 - 2 \cdot 0{,}0665x_3. \end{cases} \quad (6)$$

Приравняем каждое уравнение системы (6) к нулю и в результате получаем систему двух линейных уравнений

$$\begin{cases} -0{,}082x_2 - 0{,}00175x_3 - 0{,}093 = 0, \\ -0{,}00175x_2 - 0{,}133x_3 + 0{,}132 = 0. \end{cases} \quad (7)$$

или

$$\begin{cases} -0{,}082x_2 - 0{,}0175x_3 = 0{,}093, \\ 0{,}00175x_2 + 0{,}133x_3 = 0{,}132. \end{cases} \quad (8)$$

Находим из системы (8) неизвестные x_2 и x_3

$$x_2 = -1{,}156 \qquad x_3 = 1{,}0008$$

Примем, что c_1 может принимать значения: $-1; -0{,}5; 0; 0{,}5; 1$. Проведем расчеты значений функции отклика y_2 в каждом из сечений как внутри этих сечений так и в узловых точках, значения сведем в таблицу 1. В случаях, когда значения x_2 или x_3 выходят за зону факторного пространства, значение функции отклика не рассчитываем.

Таблица 1

Расчетные значения функции отклика y_1 для $x_1 = \text{const}$

Точка	Координаты			Значение функции отклика, y_1
	x_1	x_2	x_3	
M_1	-1	-1,156	1,008	–
M_2	-1	-1	-1	0,68475
M_3	-1	-1	1	0,95225
M_4	-1	1	1	0,76275
M_5	-1	1	-1	0,50225
M_6	-0,5	-1,156	1,008	–
M_7	-0,5	-1	-1	0,56
M_8	-0,5	-1	1	0,8275
M_9	-0,5	1	1	0,638
M_{10}	-0,5	1	-1	0,3775
M_{11}	0	-1,156	1,008	–
M_{12}	0	-1	-1	0,46575
M_{13}	0	-1	1	0,73325
M_{14}	0	1	1	0,54375
M_{15}	0	1	-1	0,28325
M_{16}	0,5	-1,156	1,008	–
M_{17}	0,5	-1	-1	0,402
M_{18}	0,5	-1	1	0,6695
M_{19}	0,5	1	1	0,48
M_{20}	0,5	1	-1	0,2195
M_{21}	1	-1,156	1,008	–
M_{22}	1	-1	-1	0,36875
M_{23}	1	-1	1	0,63625
M_{24}	1	1	1	0,44675
M_{25}	1	1	-1	0,18625

2. Принимаем $x_2 = c_2 = \text{const}$.

Тогда первое уравнение регрессии модели (1) будет иметь вид

$$y_1 = 0{,}614 - 0{,}158x_1 - 0{,}093c_2 + 0{,}132x_3 - 0{,}00175c_2x_3 + 0{,}061x_1^2 - 0{,}041c_2^2 - 0{,}0665x_3^2. \quad (9)$$

Возьмем частные производные от y_1 по факторам x_1 и x_3

$$\begin{cases} \dfrac{\partial y_1}{\partial x_1} = -0{,}158 + 0{,}122 x_1, \\ \dfrac{\partial y_1}{\partial x_3} = 0{,}132 - 0{,}00175 c_2 - 0{,}133 x_3. \end{cases} \quad (10)$$

Приравняем каждое уравнение системы (10) к нулю

$$\begin{cases} -0{,}158 + 0{,}122 x_1 = 0, \\ 0{,}132 - 0{,}00175 c_2 - 0{,}133 x_3 = 0. \end{cases} \quad (11)$$

или

$$\begin{cases} 0{,}122 x_1 = 0{,}158, \\ 0{,}00175 c_2 + 0{,}133 x_3 = 0{,}132. \end{cases} \quad (12)$$

Из уравнений (12) определяем x_1 и x_3

$$\begin{cases} x_1 = \dfrac{0{,}158}{0{,}122} = 1{,}295, \\ x_3 = \dfrac{0{,}132 - 0{,}0175 c_2}{0{,}133}. \end{cases} \quad (13)$$

Во второе уравнение системы (13) входит постоянная c_2, которая может принимать значения: $-1;\ -0{,}5;\ 0;\ 0{,}5;\ 1$. Эти значения взяты из построения модели и соответствуют точкам замкнутого пространства.

Подставляя в уравнение (9) значения c_2 определим x_3. В результате расчетов получим

$(x_3)\big|_{c_2=-1} = 1{,}124$ $\qquad$ $(x_3)\big|_{c_2=0{,}5} = 0{,}927$

$(x_3)\big|_{c_2=-0{,}5} = 1{,}058$ $\qquad$ $(x_3)\big|_{c_2=1} = 0{,}861$

$(x_3)\big|_{c_2=0} = 0{,}992$

Полученные результаты подставим в уравнение регрессии (2) и определим значения функции отклика y_1, результаты расчетов сведем в таблицу 2.

Таблица 2

Расчетные значения функции отклика y_1 для $x_2 = \text{const}$

Точка	Координаты			Значение функции отклика, y_1
	x_1	x_2	x_3	
1	2	3	4	5
M_{26}	1,295	-1	1,224	–
M_{27}	1,295	-0,5	1,058	–
M_{28}	-1	-0,5	-1	0,669875
M_{29}	-1	-0,5	1	0,935625
M_{30}	1	-0,5	-1	0,353875
M_{31}	1	-0,5	1	0,619625
M_{32}	1,295	0	0,992	–

Продовж. табл. 2

1	2	3	4	5
M_{33}	-1	0	-1	0,6345
M_{34}	-1	0	1	0,8985
M_{35}	1	0	-1	0,3185
M_{36}	1	0	1	0,5825
M_{37}	1,295	0,5	0,927	–
M_{38}	-1	0,5	-1	0,578625
M_{39}	-1	0,5	1	0,840875
M_{40}	1	0,5	-1	0,262625
M_{41}	1	0,5	1	0,524875
M_{42}	1,295	1	0,861	–

3. Примем $x_3 = c_3 = \text{const}$ и подставляем c_3 в уравнение регрессии (2), получим

$$y_1 = 0{,}614 - 0{,}158x_1 - 0{,}093x_2 + 0{,}132c_3 - 0{,}00175x_2c_3 + 0{,}061x_1^2 - 0{,}041x_2^2 - 0{,}0665c_3^2 \quad (14)$$

$$\begin{cases} \dfrac{\partial y_1}{\partial x_1} = -0{,}158 + 0{,}122x_1, \\ \dfrac{\partial y_1}{\partial x_2} = -0{,}093 - 0{,}00175c_3 - 0{,}082x_2. \end{cases} \quad (15)$$

Приравняем каждое уравнение системы (15) к нулю

$$\begin{cases} -0{,}158 + 0{,}122x_1 = 0, \\ -0{,}093 - 0{,}00175c_3 - 0{,}082x_2 = 0. \end{cases} \quad (16)$$

Из первого уравнения системы (16) $x_1 = 1{,}295$. Из второго уравнения системы (16) определяем x_2

$$x_2 = \frac{-0{,}093 - 0{,}0175c_3}{0{,}082}. \quad (17)$$

Принимаем, что c_3 изменяется в пределах от -1 до 1, т.е. $c_3 = -1$, $c_3 = -0{,}5$, $c_3 = 0$, $c_3 = 0{,}5$ и $c_3 = 1$. Подставим в уравнение (17) значения, которые может принимать значения c_3, и в результате получим, значения x_2, т.е.

$(x_2)\big|_{c_3=-1} = -1{,}113$ $(x_2)\big|_{c_3=0{,}5} = -1{,}145$

$(x_2)\big|_{c_3=-0{,}5} = -1{,}123$ $(x_2)\big|_{c_3=1} = -1{,}155$

$(x_2)\big|_{c_3=0} = -1{,}134$

В результате получаем значения x_1, x_2, x_3, которые подставляем в уравнение регрессии (2). После расчетов получаем значения функции отклика y_1 при $x_3 = \text{const}$, полученные результаты сводим в таблицу 3.

Таблица 3

Расчетные значения функции отклика y_1 для $x_3 = \text{const}$

Точка	Координаты			Значение функции отклика, y_1
	x_1	x_2	x_3	
M_{43}	1,295	-1,113	-1	–
M_{44}	1,295	-1,123	-0,5	–
M_{45}	-1	-1	-0,5	0,8015
M_{46}	1	-1	-0,5	0,4855
M_{47}	-1	1	-0,5	0,61725
M_{48}	1	1	-0,5	0,30125
M_{49}	1,295	-1,134	0	–
M_{50}	-1	-1	0	0,885
M_{51}	1	-1	0	0,569
M_{52}	-1	1	0	0,699
M_{53}	1	1	0	0,383
M_{54}	1,295	-1,145	0,5	–
M_{55}	-1	-1	0,5	0,93525
M_{56}	1	-1	0,5	0,61925
M_{57}	-1	1	0,5	0,7475
M_{58}	1	1	0,5	0,4315
M_{59}	1,295	-1,155	1	–

Результаты расчетов значений функций отклика y_1 (табл. 1…3), показали, что наибольшее значение функции отклика $y_1 = 0{,}95225$ принимает при $x_1 = -1$, $x_2 = -1$ и $x_3 = 1$, поэтому при построении поверхности функции отклика были приняты эти значения факторов.

Модель (1) включает в себя два уравнения регрессии. Первое уравнение регрессии уже исследовано, рассмотрим второе уравнение регрессии, т.е.

$$y_2 = 0{,}6 - 0{,}105x_1 - 0{,}104x_2 - 0{,}054x_3 + 0{,}015x_1x_2 + 0{,}03x_1x_3 + 0{,}01x_2x_3 - \\ -0{,}046x_1^2 + 0{,}049x_2^2 - 0{,}009x_3^2. \quad (18)$$

Возьмем частные производные от функции отклика y_2 по x_1, x_2, x_3

$$\begin{cases} \dfrac{\partial y_2}{\partial x_1} = -0{,}105 + 0{,}015x_2 + 0{,}03x_3 - 0{,}092x_1, \\ \dfrac{\partial y_2}{\partial x_2} = -0{,}104 + 0{,}015x_1 + 0{,}01x_3 + 0{,}098x_2, \\ \dfrac{\partial y_2}{\partial x_3} = -0{,}054 + 0{,}03x_1 + 0{,}01x_2 - 0{,}018x_3. \end{cases} \qquad (19)$$

Приравниваем каждое уравнения системы (19) к нулю

$$\begin{cases} -0{,}105 + 0{,}015x_2 + 0{,}03x_3 - 0{,}092x_1 = 0, \\ -0{,}104 + 0{,}015x_1 + 0{,}01x_3 + 0{,}098x_2 = 0, \\ -0{,}054 + 0{,}03x_1 + 0{,}01x_2 - 0{,}018x_3 = 0. \end{cases} \qquad (20)$$

Перенесем свободные члены в правые части уравнений и получим систему трех линейных уравнений с тремя неизвестными

$$\begin{cases} -0{,}092x_1 + 0{,}015x_2 + 0{,}03x_3 = 0{,}105, \\ 0{,}015x_1 + 0{,}098x_2 + 0{,}01x_3 = 0{,}104, \\ 0{,}03x_1 + 0{,}01x_2 - 0{,}018x_3 = 0{,}054. \end{cases} \qquad (21)$$

Решим полученную систему относительно неизвестных x_1, x_2, x_3.

В результате решения получаем, что $x_1 = -2{,}98$, $x_2 = 2{,}205$ и $x_3 = -6{,}742$. Как видно из полученных результатов численные значения x_2 и x_3 находятся за зоной факторного пространства. Поэтому эту точку отбрасываем.

Теперь исследуем функцию отклика y_2 на границах замкнутого пространства.

1. Примем $x_1 = c_1 = \text{const}$, тогда уравнение (18) принимает вид

$$y_2 = 0{,}6 - 0{,}105c_1 - 0{,}104x_2 - 0{,}054x_3 + 0{,}015c_1x_2 + 0{,}03c_1x_3 + 0{,}01x_2x_3 - 0{,}046c_1^2 + \\ +0{,}049x_2^2 - 0{,}009x_3^2. \qquad (22)$$

Возьмем частные производные от функции отклика y_2 и приравняем их к нулю, а затем решим полученную систему линейных уравнений относительно x_2 и x_3

$$\begin{cases} \dfrac{\partial y_2}{\partial x_2} = -0{,}104 + 0{,}015c_1 + 0{,}01x_3 + 0{,}098x_2, \\ \dfrac{\partial y_2}{\partial x_3} = -0{,}054 + 0{,}03c_1 + 0{,}01x_2 - 0{,}018x_3. \end{cases} \qquad (23)$$

Приравниваем к нулю каждое уравнение системы (23)

$$\begin{cases} -0{,}104 + 0{,}015c_1 + 0{,}01x_3 + 0{,}098x_2 = 0, \\ -0{,}054 + 0{,}03c_1 + 0{,}01x_2 - 0{,}018x_3 = 0. \end{cases} \qquad (24)$$

или

$$\begin{cases} 0,098x_2 + 0,01x_3 = 0,104 - 0,015c_1, \\ 0,01x_2 - 0,018x_3 = 0,054 - 0,03c_1. \end{cases} \quad (25)$$

В результате решения системы линейных уравнений относительно неизвестных x_2 и x_3 получим следующие выражения:

$$\begin{cases} x_2 = \dfrac{241,2 - 57c_1}{186,4}, \\ x_3 = 1,497c_1 - 2,2811. \end{cases} \quad (26)$$

Как видно из выражений (26) найденные в результате решения системы линейных уравнений (25) x_2 и x_3 зависят от значения c_1. Согласно заложенных в модели предположений, c_1 может иметь значения: $-1; -0,5; 0; 0,5; 1$.

Проведем расчеты значений функции отклика y_2 в каждом из сечений как внутри этих сечений так и в узловых точках, значения сведем в таблицу 4.

Таблица 4

Расчетные значения функции отклика y_2 при $x_1 = \text{const}$

Точка	Координаты			Значение функции отклика, y_2
	x_1	x_2	x_3	
1	2	3	4	5
N_1	-1	1,60	-3,78	–
N_2	-1	-1	-1	0,912
N_3	-1	-1	1	0,724
N_4	-1	1	1	0,506
N_5	-1	1	-1	0,654
N_6	-0,5	1,45	-3,03	–
N_7	-0,5	-1	-1	0,8715
N_8	-0,5	-1	1	0,7135
N_9	-0,5	1	1	0,5105
N_{10}	-0,5	1	-1	0,6285
N_{11}	0	1,29	-2,28	–
N_{12}	0	-1	-1	0,808
N_{13}	0	-1	1	0,68
N_{14}	0	1	1	0,492
N_{15}	0	1	-1	0,58
N_{16}	0,5	1,26	-1,53	–
N_{17}	0,5	-1	-1	0,7215

Продовж. табл. 4

1	2	3	4	5
N_{18}	0,5	-1	1	0,6235
N_{19}	0,5	1	1	0,4505
N_{20}	0,5	1	-1	0,5085
N_{21}	1	0,99	-0,78	0,414437
N_{22}	1	-1	-1	0,612
N_{23}	1	-1	1	0,544
N_{24}	1	1	1	0,386
N_{25}	1	1	-1	0,414

2. Принимаем, что $x_2 = c_2 = \text{const}$ и подставляем c_2 в уравнение (18) вместо x_2

$$y_2 = 0,6 - 0,105x_1 - 0,104c_2 - 0,053x_3 + 0,015c_2x_1 + 0,03x_1x_3 + 0,01c_2x_3 - 0,046x_1^2 + \\ +0,049c_2^2 - 0,009x_3^2. \qquad (27)$$

Берем частные производные от функции отклика y_2 по факторам x_1 и x_3, т.е.

$$\begin{cases} \dfrac{\partial y_2}{\partial x_1} = -0,105 + 0,015c_2 + 0,03x_3 - 0,092x_1, \\ \dfrac{\partial y_2}{\partial x_3} = -0,054 + 0,03x_1 + 0,01c_2 - 0,018x_3. \end{cases} \qquad (28)$$

Приравниваем к нулю каждое уравнение системы (28), и получаем

$$\begin{cases} -0,105 + 0,015c_2 + 0,03x_3 - 0,092x_1 = 0, \\ -0,054 + 0,03x_1 + 0,01c_2 - 0,018x_3 = 0. \end{cases} \qquad (29)$$

Переносим свободные члены в правую часть и получаем систему двух линейных уравнений с двумя неизвестными

$$\begin{cases} -0,092x_1 + 0,03x_3 = 0,105 - 0,015c_2, \\ 0,03x_1 - 0,018x_3 = 0,054 - 0,01c_2. \end{cases} \qquad (30)$$

В результате решения системы уравнений (30) относительно неизвестных x_1 и x_3 получаем, что

$$\begin{cases} x_1 = \dfrac{117 - 19c_2}{85,2}, \\ x_3 = \dfrac{3,3c_2 - 12,8}{18}. \end{cases} \qquad (31)$$

Принимаем, что c_2 может иметь значения: $-1; -0,5; 0; 0,5; 1$.

Проведем расчеты значений функции отклика y_2 в каждом из сечений как внутри этих сечений так и в узловых точках, значения сведем в таблицу 5.

Таблица 5

Расчетные значения функции отклика y_2 для $x_2 = \mathrm{const}$

Точка	Координаты			Значение функции отклика, y_2
	x_1	x_2	x_3	
N_{26}	1,60	-1	-0,89	–
N_{27}	1,48	-0,5	-0,80	–
N_{28}	-1	-0,5	-1	0,81075
N_{29}	-1	-0,5	1	0,63275
N_{30}	1	-0,5	-1	0,52575
N_{31}	1	-0,5	1	0,46775
N_{32}	1,37	0	-0,71	–
N_{33}	-1	0	-1	0,734
N_{34}	-1	0	1	0,566
N_{35}	1	0	-1	0,464
N_{36}	1	0	1	0,416
N_{37}	1,26	0,5	-0,62	–
N_{38}	-1	0,5	-1	0,68175
N_{39}	-1	0,5	1	0,52375
N_{40}	1	0,5	-1	0,42675
N_{41}	1	0,5	1	0,38875
N_{42}	1,15	1	-0,53	–

2. Примем, что $x_3 = c_3 = \mathrm{const}$ Подставляем c_3 в уравнение (18) вместо x_3

$$y_2 = 0,6 - 0,105x_1 - 0,104x_2 - 0,054c_3 + 0,015x_1x_2 + 0,03c_3x_1 + 0,01c_3x_2 - 0,046x_1^2 + +0,049x_2^2 - 0,009c_3^2. \qquad (32)$$

Затем возьмем частные производные от функции отклика по переменным x_1 и x_2

$$\begin{cases} \dfrac{\partial y_2}{\partial x_1} = 0,105 + 0,015x_2 + 0,03c_3 - 0,092x_1, \\ \dfrac{\partial y_2}{\partial x_2} = -0,104 + 0,015x_1 + 0,01c_3 + 0,098x_2. \end{cases} \qquad (33)$$

Приравниваем к нулю каждое уравнение системы (33)

$$\begin{cases} 0,105 + 0,015x_2 + 0,03c_3 - 0,092x_1 = 0, \\ -0,104 + 0,015x_1 + 0,01c_3 + 0,098x_2 = 0. \end{cases} \qquad (34)$$

или

$$\begin{cases} -0,092x_1 + 0,015x_2 = 0,105 - 0,03c_3, \\ 0,015x_1 + 0,092x_2 = 0,104 - 0,01c_3. \end{cases} \quad (35)$$

В результате решения системы линейных уравнений относительно неизвестных x_1 и x_2 получим следующие выражения

$$\begin{cases} x_1 = \dfrac{-14,17 + 4,529c_3}{15}, \\ x_2 = \dfrac{1114,3 - 137c_3}{924,1}. \end{cases} \quad (36)$$

Принимаем, что c_3 может иметь значения: $-1; -0,5; 0; 0,5; 1$. Проведем расчеты значений функции отклика y_2 в каждом из сечений как внутри этих сечений так и в узловых точках, значения сведем в таблицу 6.

Таблица 6

Расчетные значения функции отклика y_2 при $x_3 = \text{const}$

Точка	Координаты			Значение функции отклика, y_2
	x_1	x_2	x_3	
N_{43}	-1,25	1,35	-1	–
N_{44}	-1,096	1,28	-0,5	–
N_{45}	-1	-1	-0,5	0,87175
N_{46}	1	-1	-0,5	0,60175
N_{47}	-1	1	-0,5	0,62375
N_{48}	1	1	-0,5	0,41375
N_{49}	-0,94	1,21	0	–
N_{50}	-1	-1	0	0,827
N_{51}	1	-1	0	0,587
N_{52}	-1	1	0	0,589
N_{53}	1	1	0	0,409
N_{54}	-0,79	1,13	0,5	–
N_{55}	-1	-1	0,5	0,77775
N_{56}	1	-1	0,5	0,56775
N_{57}	-1	1	0,5	0,54975
N_{58}	1	1	0,5	0,39975
N_{59}	-0,64	1,06	1	–

Данные приведенные в таблицах 4…6, свидетельствуют о том, что наибольшее значение функции отклика $y_2 = 0,912$ наблюдается при условии, что факторы имеют следующие значения: $x_1 = -1$, $x_2 = -1$ и $x_3 = -1$.

Выводы. В результате проведенных исследований функций отклика установлено:

– наибольшее значение функции отклика характеризующей изменение коэффициента сепарации $y_1 = 0{,}9522$ наблюдается при $x_1 = -1$, $x_2 = -1$ и $x_3 = 1$;

– наибольшее значение функции отклика, характеризующей изменение коэффициента эффективности выделения примесей $y_2 = 0{,}912$ имеет место при $x_1 = -1$, $x_2 = -1$ и $x_3 = -1$.

Литература

1. *Леженкин А. Н.* Перспективная технология уборки зерновых для фермерских и крестьянских хозяйств юга Украины / *А. Н. Леженкин* // Актуальные проблемы инженерного обеспечения АПК: междунар. науч. конф. – Ярославль, 2003. – Ч. III. – С. 28-29.

2. *Кушнарев А. С.* Энергосберегающая технология уборки зерновых для фермерских и крестьянских хозяйств / *А. С. Кушнарев, А. Н. Леженкин* // Перспективные технологии уборки зерновых культур, риса и семян трав: сб. докл. междунар. научн.-техн.-конф. / ТГАТА. – Мелитополь, 2003. – С. 17-21.

3. *Леженкін І. О.* Доробка обчісаного вороху зернових на фураж / *І. О. Леженкін* // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України, Укр НДІПВТ ім. Л. Погорілого. – Дослідницьке, 2012. – Вип. 16(30). Кн. 1; Сільськогосподарська техніка – ХХ: випробування, прогнозування, конструювання. – С. 437-441.

4. Патент кор. мод. 92045 Україна, МПК B 07 B 1/22 (2006.01) Сепаратор обчісаного вороху зернових / *І. О. Леженкін* (Україна) – U201402219; под. 05.03.2014; надр. 25.07.2014, Бюл. №14.

5. Патент кор. мод. 93931 Україна, МПК B 07 B 1/22 (2006.01) Очисник обчісаного вороху зернових / *І. О. Леженкін* (Україна) – U201403942; под. 14.04.2014; надр. 27.10.2014, Бюл. №20.

6. *Аблогин Н. Н.* Обоснование технологической схемы и параметров устройства для сепарации очесанного вороха риса: дис… канд. техн. наук / *Н. Н. Аблогин.* – Мелитополь, 1997. – 215 с.

7. *Данченко Н. Н.* Особенности физико-механических свойств очесанного вороха риса и технологические требования на его доработку / *Н. Н. Данченко, В. Н. Шкендер.* Совершенствование технологических процессов и рабочих органов сельскохозяйственных машин; УСХА. – К., 1989. – С. 63-70.

8. *Леженкин И. А.* Статистическая модель содержания половы в очесанном ворохе озимой пшеницы / *И. А. Леженкин* // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. Вип. 132. Технічні системи і технології

тваринництва. – Харків, 2013. – С. 355-360.

9. *Леженкин И. А.* Анализ содержания оборванных колосков в очесанном ворохе озимой пшеницы / *И. А. Леженкин* // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету.– Мелітополь, 2012. – Вип. 12. – Т. 5 – С. 149-154.

10. *Леженкин И. А.* Математическая модель содержания соломы в очесанном ворохе озимой пшеницы / *И. А. Леженкин* // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, 2013. – Вип. 13. – Т. 3. – С. 57-62.

11. *Леженкин И. А.* Статистический анализ содержания свободного зерна в очесанном ворохе озимой пшеницы / *И. А. Леженкин* // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, 2013. – Вип. 13. – Т. 2 – С. 183-189.

12. *Кравчук В.* Результати польових випробувань експериментального очисника обчісаного вороху зернових / *В. Кравчук, І. Леженкін, І. Іваненко* // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування техніки і технологій для сільського господарства України. Збірник наукових праць Укр НДІПВТ ім. Л. Погорілого. – Дослідницьке, 2013. – Кн. 1; Сільськогосподарська техніка – XXI: випробування, прогнозування, конструювання. – С. 313-320.

ДОСЛІДЖЕННЯ НА НАЙБІЛЬШЕ ТА НАЙМЕНШЕ ЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІЙ ВІДГУКУ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ РЕШІТ ПРИ ОЧИЩЕННІ ОБЧІСАНОГО ВОРОХУ ЗЕРНОВИХ

М. О. Рубцов, І. О. Леженкін

***Анотація* – у статті наводяться виконані на підставі положень математичного аналізу результати досліджень функцій відгуку якісних показників роботи експериментальних решіт при очищенні обчісаного вороху зернових культур.**

STUDY ON THE LARGEST AND THE SMALLEST VALUE OF THE FUNCTION OF QUALITY INDICATORS RESPONSE EXPERIMENTALLY A SIEVE FOR CLEANING OCHESANNOGO HEAP OF GRAIN

N. Rubtsov, I. Lezhenkin

Summary

The article presents made under the provisions of the mathematical analysis of the results of the response functions of high-quality performance of the experimental lattice on cleaning ochesannogo heap of grain crops.

УДК 582.711.712