

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

---

© Рубцов Н. А., Леженкин И. А.

\* Научный руководитель – к.т.н., доц. Кюрчев С. 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, 9, 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 решетками [5].

*Цель статьи.* Исследовать функции отклика качественных показателей работы 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, рототабельный 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:

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

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  $M_i(x_1, x_2, \dots, x_k)$ , 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 методике 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  $x_1, x_2, x_3$ .

$$\begin{cases} \frac{\partial y_1}{\partial x_1} = -0,158 + 2 \cdot 0,061x_1, \\ \frac{\partial y_1}{\partial x_2} = -0,093 - 0,00175x_3 - 2 \cdot 0,041x_2, \\ \frac{\partial y_1}{\partial x_3} = 0,132 - 0,00175x_2 - 2 \cdot 0,0665x_3. \end{cases} \quad (3)$$

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

$$\begin{cases} -0,158 + 2 \cdot 0,061x_1 = 0, \\ -0,093 - 0,00175x_3 - 2 \cdot 0,041x_2 = 0, \\ 0,132 - 0,00175x_2 - 2 \cdot 0,0665x_3 = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Из первого уравнения системы (4) находим  $x_1$ .

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

Далее определяем  $x_2$  и  $x_3$ .

$$\begin{cases} 0,082x_2 + 0,00175x_3 = -0,093 & | 0,00175 \\ 0,00175x_2 + 0,133x_3 = 0,132 & | -0,082 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 0,0001435x_2 + 0,000030625x_3 = -0,00016275 \\ -0,0001435x_2 - 0,010906x_3 = -0,010824 \end{cases}$$

$$-0,0109029375x_3 = -0,01098675 ;$$

$$x_3 = 1,008 ;$$

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

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

$$x_2 = -1,156 .$$

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  $x_3$ .

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

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  $x_3$ .

$$x_2 = -1,156; \quad x_3 = 1,0008.$$

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.

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  $x_3$ .

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

Приравняем каждое уравнение системы (10) к нулю.

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

или

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

Из уравнений (12) определяем  $x_1$  и  $x_3$ .

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

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:

$$\begin{aligned} (x_3)_{|c_2=-1} &= 1,124; & (x_3)_{|c_2=0,5} &= 0,927; \\ (x_3)_{|c_2=-0,5} &= 1,058; & (x_3)_{|c_2=1} &= 0,861. \\ (x_3)_{|c_2=0} &= 0,992; \end{aligned}$$

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

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

Точка	Координаты			Значение функции отклика, $y_1$
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	
$M_{26}$	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	–
$M_{33}$	-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:

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

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

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.:

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

$$(x_2)_{c_3=-0,5} = -1,123; \quad (x_2)_{c_3=1} = -1,155.$$

$$(x_2)_{c_3=0} = -1,134;$$

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  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ .

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

Приравниваем каждое уравнения системы (19) к нулю.

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

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

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

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 простран-

ства.

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

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

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

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

Приравниваем к нулю каждое уравнение системы (23)

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

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:

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

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.

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

Точка	Координаты			Значение функции отклика, $y_2$
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	
$N_1$	-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
$N_{18}$	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  $x_2$ .

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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  $x_2 = \text{const}$

Точка	Координаты			Значение функции отклика, $y_2$
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	
1	2	3	4	5
$N_{26}$	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

1	2	3	4	5
$N_{30}$	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  $x_3 = c_3 = \text{const}$  Подставляем  $c_3$  в уравнение (18) вместо  $x_3$ .

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

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

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

Приравниваем к нулю каждое уравнение системы (33)

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

или

$$\begin{cases} -0,092x_1 + 0,015x_2 = 0,105 - 0,03c_3, \\ 0,015x_1 + 0,098x_2 = 0,104 - 0,01c_3. \end{cases} \quad (35)$$

В результате решения системы линейных уравнений относительно неиз-

вестных  $x_1$  и  $x_2$  получим следующие выражения:

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

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

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

5. Патент кор. мод. 93931 Україна, МПК В 07 В 1/22 (2006.01) Очисник обчисаного 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 полове 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. Результаты полевых испытаний экспериментального очесника обчесанного вороху зерновых / В. Кравчук, І. Леженкін, І. Іваненко // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування техніки і технологій для сільського господарства України. Збірник наукових праць Укр НДПВТ 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 обчисаного 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. A. Rubtsov, I. A. 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.