

ность, появляются перегрузки, наблюдается жесткий режим обмолота, возрастают потери товарного зерна.

Поэтому решение проблем связанных с управлением перемещающимися потоками биомассы позволит оперативно реагировать и своевременно корректировать режимы работы уборочных процессов.

### References

1. Guk J.M., Galnin E.V. To the problem of creation of researches combine of the training setting // Tractors and agricultural machinery. — 1971. — № 10. — P. 24–26.
2. Nath S., Sohson W.H., Milliken G.A. Combine lose model and optimization of the machine system. — TransASAE, 1982. — Vol. 25. — № 2. — P. 308–312.
3. Loss models for forage harvest // Trans ASAE, St. Joseph (Mich). — 1995. — Vol. 38. — № 6. — P. 1621–1631.
4. Shepvalov V.D. Automatic regulator of serve of panary mass // Technique in agriculture. — 1967. — № 6. — 46 p.
5. Umbataliyev N.A. Perfection of technological process of threshing and construction of rice fields combine: Abstract of thesis of dis. ... doctor of engineering sciences. — Almaty, 2010.

УДК 631.354:633.1

## Результаты исследования усовершенствованной наклонной камеры зерноуборочного комбайна

### Results of the study advadced to tilt the camera combine harvester

Тойлыбаев М.С., Садыков Ж.С., Альпейсов Ш.А., Тойлыбаев Н.С.

*Казахский национальный аграрный университет, Алматы (E-mail: meiram\_61@mail.ru)*

Мақалада жайылым өсімдіктер тұқымын жинауда өнімділікті жоғарылату үшін дән жинайтын машинаның жаңа ұрпақтағы перспективалы көлеу кондырғысы жетілдірілді және игерілді. Бұл кондырғының ұтымды параметрлері дәлелденіп, тәжірибелер өткізуде қажетті және жеткілікті тиісті дәлдікпен қойылған есеп шешімдері үшін тәжірибе жоспарлары қолданылды.

To improve performance, harvesting seed pasture plants we have developed and refined a promising new generation of camera tilt grain-harvesting machines. To study the optimal parameters improved feeding channel for harvesting seeds of pasture plants, in particular, methods of wheatgrass our experimental design, which consists in choosing the number and the experimental conditions, necessary and sufficient for the task with the required accuracy.

Для повышения пропускной способности зерноуборочных комбайнов необходимо изыскание новых рабочих органов, принципиально отличающихся от существующих или обеспечивающих обработку материалов с максимальным сохранением его качества. Анализ современного состояния и тенденций развития ведущих мировых компаний комбайностроения, теоретических и экспериментальных работ, выполненных в области основных рабочих органов и регуляторов загрузки, показывает, что для решения важнейшей народнохозяйственной задачи повышения производительности зерноуборочных комбайнов необходимо решить проблему интенсификации процесса обмолота и сепарации в них.

Для обоснования оптимальных параметров усовершенствованной наклонной камеры для уборки семян пастбищных растений, в частности житняка, нами применялись методы планирования экспериментов, которые состоят в выборе числа и условий проведения опытов, необходимых и достаточных для решения поставленной задачи с требуемой точностью. Используя общий вид квадратичной модели и оценки  $b$ -коэффициентов, запишем уравнения множественной регрессии в развернутом виде для каждого выходного показателя  $\mu = Z_1$ ,  $\lambda = Z_2$  и  $\nu = Z_3$ , характеризующего применяемый способ

разрушения двойчатки колосьев житняка. В соответствии с данными и структурой модели получены следующие регрессионные уравнения второго порядка:

*полнота разрушения двойчаток колосьев, %:*

$$Z_1 = 84,51 + 1,33333 x_1 - 5,8125 x_1^2 - 2,21667 x_2 - 9,1625 x_2^2 + 0,81111 x_3 - 5,6125 x_3^2 - 1,32222 x_4 - 6,9125 x_4^2 - 0,8 x_1 x_2 - 0,85 x_1 x_3 - 2,3875 x_1 x_4 - 2,2625 x_2 x_3 - 1,875 x_2 x_4 + 1,3 x_3 x_4; \quad (1)$$

*отрыв колосьев, %:*

$$Z_2 = 3,55 + 0,255556 x_1 - 0,197917 x_1^2 + 1,027778 x_2 + 2,352083 x_2^2 + 0,45 x_3 + 1,6521 x_3^2 + 0,34444 x_4 + 1,40208 x_4^2 - 0,28125 x_1 x_2 - 0,29375 x_1 x_3 + 0,66875 x_1 x_4 - 0,35625 x_2 x_3 + 0,15625 x_2 x_4 - 0,45625 x_3 x_4; \quad (2)$$

*степень разравнивания биомассы, %:*

$$Z_3 = 82,14 + 1,05 x_1 - 4,44375 x_1^2 - 1,71111 x_2 - 6,99375 x_2^2 + 0,62778 x_3 - 4,34375 x_3^2 - x_4 - 5,29375 x_4^2 - 0,60625 x_1 x_2 - 0,65625 x_1 x_3 - 1,84375 x_1 x_4 - 1,73125 x_2 x_3 - 1,44375 x_2 x_4 + 1,00625 x_3 x_4. \quad (3)$$

Уравнения (1)–(3) описывают взаимосвязь полноты разрушения двойчатки, отрыва колосьев и разравнивания биомассы житняка с независимыми параметрами разравнивающего устройства.

Имея квадратичное уравнение регрессии четырех независимых переменных, можно преобразовать его к канонической форме и проанализировать вид многомерной поверхности отклика в исследуемой области факторного пространства, а также найти зоны параметров, в которых отклик имеет экстремальное значение.

На следующем этапе регрессионного анализа были выявлены статистически значимые эффекты факторов. Значимость компонентов полученной регрессионной, характеризующая существенность влияния исследуемых параметров устройства на степень полноты разрушения двойчатки колосьев  $\mu = Z_1$ , определялась по рассчитанным значениям  $t$ -критерия Стьюдента, абсолютные величины которых упорядочены по степени их убывания и представлены в виде диаграмм Парето. Диаграмма Парето является эффективным средством определения того, какие эффекты имеют наибольший вклад в формирование интересующей нас зависимой переменной, например, степень разравнивания биомассы житняка  $Z_3$ .

Наибольшее влияние на полноту разрушения двойчатки колосьев житняка оказывают, в первую очередь, квадраты ( $Q$ ) переменных  $x_2(Q)$  — длины зоны разрушения и  $x_4(Q)$  — высоты гофр. Затем следуют парное взаимодействие  $x_1 x_4$  ( $1L$ by $4L$ ) подачи биомассы и высоты гофр, линейный ( $L$ ) или так называемый главный эффект  $x_2$  — длина зоны разрушения и др. Соответствующие им полосы пересекают вертикальную линию, которая представляет 90 %-ную доверительную вероятность [1–5].

Т а б л и ц а 1

#### Дисперсионный анализ регрессионных моделей для показателей разрушения колосьев житняка

Источник изменчивости	Число степеней свободы $df$	Сумма квадратов $SS$	Средний квадрат $MS$	Отношение средних квадратов $F$	$p$ -уровень значимости для $F$
<i>Полнота разрушения двойчаток колосьев житняка <math>Z_1</math>, %</i>					
Регрессия ( $R$ )	14	2726,615	194,7582	8,399924	0,001504
Остаток ( $E$ )	9	208,6714	23,18571		
Полная сумма ( $T$ )	23	2935,286			
<i>Отрыв колосьев <math>Z_2</math>, %</i>					
Регрессия ( $R$ )	14	129,874	9,276711	5,469177	0,007338
Остаток ( $E$ )	9	15,26563	1,696181		
Полная сумма ( $T$ )	23	145,1396			
<i>Степень разравнивания биомассы <math>Z_3</math>, %</i>					
Регрессия ( $R$ )	14	1603,802	114,5573	8,526813	0,00142
Остаток ( $E$ )	9	120,9145	13,43495		
Полная сумма ( $T$ )	23	1724,716			

Сумма квадратов, обусловленная регрессией ( $SS_R$ ) для полноты разрушения двойчатки колосьев  $\mu$  и степени разравнивания биомассы житняка  $\nu$ , составляет около 93 % от полной суммы квадратов ( $SS_T$ ), а для степени отрыва колосьев  $\lambda$  — 89,5 %.

Оценка качества разработанных регрессионных моделей для показателей обмолота житняка, полученных по лабораторно-полевым данным, проверялась коэффициентами множественной корреляции  $R$ , детерминации  $R^2$ , а также  $F$ -критерием Фишера и критерием Дарбина-Ватсона  $d$ . Перечисленные статистические характеристики и критерии для оценки качества уравнений регрессии, рассчитанные компьютерными статистическими программами *SPSS 16* и *Statistica 7.0*, приведены в таблице 2.

Т а б л и ц а 2

**Проверка качества аппроксимации регрессионных моделей для показателей обмолота житняка**

Статистический показатель	Значение для критерия обмолота		
	$\mu = Z_1$	$\nu = Z_2$	$\lambda = Z_3$
Множественная корреляция $R$	0,964	0,946	0,964
Коэффициент детерминации $R^2$	0,929	0,895	0,930
Скорректированный (на $df$ ) $R^2$	0,818	0,731	0,821
Стандартная ошибка	4,815	1,302	3,665
Число степеней свободы $df$ : $k_1$ ; $k_2$	14; 9	14; 10	14; 11
Критерий Фишера $F$	8,400	5,469	8,527
Уровень $p$ для значимости $F$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$7,3 \cdot 10^{-3}$	$1,4 \cdot 10^{-3}$
Критерий Дарбина-Ватсона $d$			
Сериальная корреляция			

Примечание.  $k_1$  и  $k_2$  — число степеней свободы для числителя и знаменателя, соответственно.

Приведенные в таблице 2 значения коэффициента множественной корреляции значимы, достаточно высоки (0,964; 0,946; 0,964) и близки к предельной величине ( $R \leq 1$ ), что свидетельствует о достаточно высокой тесной взаимосвязи исследуемых параметров с разрушением двойчаток и отрывом колосьев житняка, а также разравниванием биомассы житняка.

Рассчитанные модели позволили определить в дальнейшем оптимальную область регулируемых параметров активатора, вне которой улучшение показателей полноты разрушения двойчатки колосьев житняка не принесет пропорционального эффекта.

Наличие отрицательных коэффициентов ( $b_{11}$ ,  $b_{22}$ ,  $b_{33}$ ,  $b_{44}$ ) при квадратах переменных в уравнении для полноты разрушения двойчатки колосьев житняка  $\mu = Z_1$  показывает, что для каждой из этих переменных существует оптимальный уровень.

Аналогичный вид поверхностей отклика и линий равных уровней был получен для степени отрыва колосьев ( $\lambda = Z_2$ ) и степени разравнивания растительной массы житняка ( $\nu = Z_3$ ) усовершенствованной наклонной камерой.

Исследование поверхностей отклика с помощью канонического преобразования приводит к следующим уравнениям:

$$\begin{aligned}
 Z_1 - 84,838 &= -4,38166 \xi_1^2 - 5,78731 \xi_2^2 - 7,47413 \xi_3^2 - 9,8569 \xi_4^2; \\
 Z_2 - 3,432 &= 2,41328 \xi_1^2 + 1,78422 \xi_2^2 + 1,29105 \xi_3^2 - 0,280227 \xi_4^2; \\
 Z_3 - 82,398 &= -3,35959 \xi_1^2 - 4,44959 \xi_2^2 - 5,73273 \xi_3^2 - 7,53309 \xi_4^2.
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Как следует из первого уравнения (4), поверхность отклика  $\mu = Z_1$  для полноты разрушения двойчаток колосьев житняка имеет максимум, равный 84,8 %, поскольку знаки всех коэффициентов этого канонического уравнения отрицательны. Поверхность отклика для отрыва колосьев житняка  $\lambda = Z_2$  имеет седловидную точку, в которой отклик равен 3,4 %, так как коэффициенты второго канонического уравнения (4) разных знаков (три коэффициента положительны, один отрицательный). Отклик для степени разравнивания растительной массы житняка  $\nu = Z_3$  в стационарной точке также имеет максимум, равный 82,4 %, поскольку все коэффициенты третьего уравнения (4) отрицательны.

Таким образом, все координаты особых точек откликов  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$ , лежат в области эксперимента и незначительно отличаются между собой по величине для полноты разрушения двойчаток колосьев  $\mu = Z_1$  и степени разравнивания биомассы житняка  $\nu = Z_3$ . Поэтому, приняв эти координаты за опти-

мальное решение и преобразовав их в натуральный масштаб, получим следующие параметры усовершенствованной наклонной камеры:

- подача биомассы  $q = 2,57$  кг/пм;
- длина зоны разрушения  $L = 58,73$  см;
- угол атаки гофр  $\alpha = 25,76$  град.;
- высота гофр  $h = 19,62$  мм.

При них выходные показатели качества обмолота житняка принимают следующие значения: полнота разрушения двойчаток колосьев  $\mu = Z_1 = 84,8$  %; степень отрыва колосьев  $\lambda = Z_2 = 3,5$  %; степень равномерного распределения растительной массы житняка  $\nu = Z_3 = 82,4$  %.

Предлагаемая технология уборки семян пастбищных растений, реализуемая посредством усовершенствованной наклонной камеры к уборочной машине, является ресурсосберегающей и экологически чистой, она может найти широкое применение в частных сельскохозяйственных производствах (как в мелких, так и средних и крупных крестьянских хозяйствах). Кроме эффекта от снижения потерь урожая, технология позволяет также уменьшить количество уборочных агрегатов на операциях скашивания и обмолота семян растений; снизить потребляемую мощность двигателя комбайна на обмолот; снизить потребность ГСМ для проведения уборочных работ; уменьшить энергопотребление, трудовые и материальные затраты в процессе послепосевной обработки семян.

#### References

1. *Sadykov Zh.S.* New technologies and machines for harvesting seed of crops // KazNIINKI. — 1992. — 88 p.
2. *Toilybaev N.S.* By the way education roll pasture plants at combine harvesting // International Scientific Conference: Prospects for the agricultural and automotive engineering in the Republic of Kazakhstan. — Almaty, 2006.
3. А.С. № 1687078. The USSR. Tilting the camera combine harvester. Publ. 10/30/91.
4. *Sadykov Zh.S., Toilybaev N.S. et al.* The method of determining the coefficient of biomass and leveling device for its implementation // Patent for the invention № 19 509, «NIIS» from 25.03.2008.
5. *Sadykov Zh.S., Toilybaev N.S. et al.* Accelerator for harvesters threshing // Summary for Innovative patent number 027 636, from 20.12.2010.