

ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АПК

УДК 631.354.024

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АКСИАЛЬНО-РОТОРНОЙ МОЛОТИЛЬНО-СЕПАРИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

Бердышев Виктор Егорович, кандидат технических наук, заместитель директора департамента научно-технологической политики и образования Министерства сельского хозяйства Российской Федерации

107139, г. Москва, Орликов переулок, 1/11

e-mail: v.berdishev@polit.mex.ru

Ключевые слова: зерновые культуры, обмолот зерна, сепарация зерна, зерноуборочный комбайн

Автором статьи предложена молотильно-сепарирующая система зерноуборочного комбайна, которая исследована в лабораторных условиях. Получено уравнение регрессии процесса обмолота и сепарации зерна.

Одной из основных задач при исследовании процессов обмолота и сепарации зерна является определение оптимальных значений конструктивных параметров, а также режимов работы молотильно-сепарирующей системы. В качестве объекта исследования принята молотильно-сепарирующая система зерноуборочного комбайна СК-10В [4].

При эксплуатации сложной зерноуборочной техники, к которой относят зерноуборочные комбайны, возникает проблема оценки качественных показателей работы комбайнов и возможные способы влияния на эти показатели. Работу любого зерноуборочного комбайна оценивают несколькими показателями: потерями свободного и невымолоченного зерна, дроблением зерна, макро- и микроповреждениями зерна, энергоемкостью технологического процесса и т.д.

Для оптимизации конструктивных и технологических параметров аксиально-ро-

торной молотильно-сепарирующей системы зерноуборочного комбайна использовали лабораторную установку, разработанную с участием автора инженерами В.Н. Мысливцевым, В.В. Солдатенковым и доработанную А.В. Шевцовым, И.И. Ирквым [5, 6]. Исследования проводили на обмолоте озимой пшеницы. После проведения поисковых опытов для исследования области оптимума был реализован семифакторный план эксперимента Рехтшафнера.

Получение уравнений регрессии связано с большими затратами времени и средств. Массив данных, полученных в этой работе, настолько велик, что обычные традиционные расчеты оказываются неприемлемыми. Поэтому для реализации представленных задач были разработаны специальные программы, а все последующие расчеты проведены на ПЭВМ типа IBM [3].

Для оптимизации параметров аксиально-ро-торной молотильно-сепарирующей системы выбраны независимые факто-

ры, уровни и интервалы варьирования которых представлены в таблице 1.

Критериями оптимизации являлись потери Π и дробление D зерна [2].

В результате проведенных экспериментов и последующих расчетов были получены уравнения регрессии:

$$\Pi_1 = 1,77 - 0,16x_1 - 0,15x_2 + 0,2x_3 + 0,17x_1x_2 + 0,08x_1x_3 - 0,2x_2x_3 - 0,08x_1x_2x_3, \quad (1)$$

$$\Pi_2 = 1,8 + 0,37x_4 - 0,28x_5 + 0,192x_6 + 0,03x_4x_5 - 0,02x_4x_6 + 0,03x_5x_6 + 0,01x_4x_5x_6, \quad (2)$$

$$\Pi_3 = 1,62 - 0,29x_5 + 0,2x_6 - 0,16x_7 + 0,02x_5x_6 - 0,03x_5x_7 + 0,02x_6x_7, \quad (3)$$

$$D_1 = 1,12 + 0,05x_1 + 0,08x_2 - 0,11x_3 - 0,14x_1x_2 - 0,04x_1x_3 + 0,1x_2x_3 + 0,03x_1x_2x_3, \quad (4)$$

$$D_2 = 1,09 - 0,17x_4 + 0,16x_5 - 0,14x_6 + 0,03x_4x_5 - 0,03x_5x_6, \quad (5)$$

$$D_3 = 1,06 - 0,16x_5 - 0,14x_6 - 0,11x_7 - 0,03x_5x_6 - 0,03x_6x_7. \quad (6)$$

В приведенных выше уравнениях регрессии факторы $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$ являются значимыми. Значимость коэффициентов уравнений регрессии оценивали по критерию Стьюдента. Незначимые коэффициенты удаляли и выполняли повторный расчет коэффициентов регрессионной модели [1]. В результате расчетов получены уравнения регрессии в кодированном виде:

$$\begin{aligned} \Pi = & 0,271 - 0,039x_1 + 0,029x_2 - 0,026x_3 + \\ & + 0,126x_4 - 0,032x_5 + 0,025x_6 - 0,02x_7 + \\ & + 0,007x_1x_2 - 0,008x_1x_3 + 0,010x_1x_4 - \\ & - 0,011x_1x_5 - 0,008x_1x_6 + 0,007x_1x_7 + \\ & - 0,005x_2x_3 - 0,01x_2x_4 + 0,011x_2x_5 - \\ & - 0,013x_2x_6 + 0,004x_2x_7 + 0,01x_3x_4 - \\ & + 0,011x_3x_5 + 0,017x_3x_6 - 0,008x_3x_7 + \\ & + 0,011x_4x_5 - 0,018x_4x_6 + 0,014x_4x_7 + \\ & + 0,005x_5x_6 - 0,015x_5x_7 + 0,006x_6x_7 + \\ & + 0,187x_1^2 + 0,180x_2^2 + 0,155x_3^2 + 0,272x_4^2 + \\ & + 0,131x_5^2 + 0,094x_6^2 + 0,099x_7^2 \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} D = & 0,66 + 0,028x_1 - 0,016x_2 + 0,028x_3 + \\ & + 0,125x_4 + 0,016x_5 - 0,029x_6 - 0,012x_7 - \\ & - 0,013x_1x_2 - 0,01x_1x_3 - 0,018x_1x_4 - 0,022x_1x_5 - \\ & - 0,020x_1x_6 + 0,019x_1x_7 - 0,015x_2x_3 + 0,031x_2x_4 - \\ & - 0,023x_2x_5 + 0,015x_2x_6 - 0,020x_2x_7 + 0,029x_3x_4 - \\ & + 0,023x_3x_5 + 0,018x_3x_6 + 0,021x_3x_7 + 0,027x_4x_5 - \\ & - 0,001x_4x_6 - 0,043x_4x_7 - 0,032x_5x_6 - 0,004x_5x_7 - \\ & - 0,031x_6x_7 + 0,151x_1^2 + 0,116x_2^2 + 0,161x_3^2 + \\ & + 0,135x_4^2 + 0,154x_5^2 + 0,129x_6^2 + 0,092x_7^2 \end{aligned} \quad (8)$$

Адекватность полученных математических моделей проверяли по критерию Фишера. Получено, что при исследовании изменения потерь $F_{\Pi} = 0,7695$ и $F_D = 0,6072$. Во всех случаях $F_{0,05} > F$ (здесь $F_{0,05} = 2,1646$ – табличное значение критерия Фишера при уровне значимости 5% [1]). Следовательно, математические модели адекватны.

Таблица 1

Факторы, их уровни и интервалы варьирования

Факторы	Уровни варьирования факторов			Интервал варьирования
	-1	0	+1	
x_1 – частота вращения ротора, мин ⁻¹	780	990	1200	210
x_2 – зазор на выходе из ротора, мм	10	20	30	10
x_3 – длина МСС, мм	1500	2400	3300	900
x_4 – подача в МСС, кг/с	6	8	10	2
x_5 – угол охвата ротора деками, град.	0	90	180	90
x_6 – угол наклона бичей, град.	0	25	50	25
x_7 – угол наклона винтовых направителей кожуха, град.	56	64	72	8

Для анализа полученные математические модели второго порядка привели к типовой канонической форме.

Уравнения регрессии в канонической форме имеют следующий вид:

$$Y_{II} - 0,25 = 0,188X_1^2 + 0,181X_2^2 + 0,156X_3^2 + 0,273X_4^2 + 0,131X_5^2 + 0,09X_6^2 + 0,097X_7^2 \quad (9)$$

$$Y_{D} - 0,63 = 0,185X_1^2 + 0,1X_2^2 + 0,177X_3^2 + 0,133X_4^2 + 0,139X_5^2 + 0,124X_6^2 + 0,081X_7^2 \quad (10)$$

Поскольку все коэффициенты при ква-

дратных членах уравнения имеют положительные знаки, то поверхности откликов, описанные уравнениями (9) и (10), представляют не что иное, как семимерные параболоиды с координатами центров поверхностей в оптимальных значениях факторов. Для определения оптимальных параметров необходимо было решить компромиссную задачу с помощью двухмерных сечений. При этом находили значения факторов, при которых потери зерна минимальны при допустимом уровне дробления. Основным критерий оптимизации - минимальные потери зерна *П*. Дополнительный критерий оптимизации - дробление зерна *Д*.

Например, при рассмотрении двух-

Таблица 2

Анализ двухмерных сечений поверхности отклика по уравнениям регрессии

Значения фиксированных факторов	Изменяемые факторы и их оптимальные значения
$x_3 = 0,08; x_4 = -0,23; x_5 = 0,11; x_6 = -0,1; x_7 = 0,1$	$x_1 = +0,05...+0,15; x_2 = -0,15...-0,05$
$x_2 = -0,08; x_4 = -0,23; x_5 = 0,11; x_6 = -0,1; x_7 = 0,1$	$x_1 = +0,05...+0,15; x_3 = +0,05...+0,15$
$x_2 = -0,08; x_3 = 0,08; x_5 = 0,11; x_6 = -0,1; x_7 = 0,1$	$x_1 = +0,05...+0,15; x_4 = -0,3...-0,2$
$x_2 = -0,08; x_3 = 0,08; x_4 = -0,23; x_6 = -0,1; x_7 = 0,1$	$x_1 = +0,5...+0,15; x_5 = +0,05...+0,15$
$x_2 = -0,08; x_3 = 0,08; x_4 = -0,23; x_5 = 0,11; x_7 = 0,1$	$x_1 = +0,05...+0,15; x_6 = -0,15...-0,05$
$x_2 = -0,08; x_3 = 0,08; x_4 = -0,23; x_5 = 0,11; x_6 = -0,1$	$x_1 = +0,05...+0,15; x_7 = +0,05...+0,15$
$x_1 = 0,1; x_4 = -0,23; x_5 = 0,11; x_6 = -0,1; x_7 = 0,1$	$x_2 = -0,15...-0,05; x_3 = +0,05...+0,15$
$x_1 = 0,1; x_3 = 0,08; x_5 = 0,11; x_6 = -0,1; x_7 = 0,1$	$x_2 = -0,15...-0,05; x_4 = -0,3...-0,2$
$x_1 = 0,1; x_3 = 0,08; x_4 = -0,23; x_6 = -0,1; x_7 = 0,1$	$x_2 = -0,15...-0,05; x_5 = +0,05...+0,15$
$x_1 = 0,1; x_3 = 0,08; x_4 = -0,23; x_5 = 0,11; x_7 = 0,1$	$x_2 = -0,15...-0,05; x_6 = -0,15...-0,05$
$x_1 = 0,1; x_3 = 0,08; x_4 = -0,23; x_5 = 0,11; x_6 = -0,1$	$x_2 = -0,15...-0,05; x_7 = +0,05...+0,15$
$x_1 = 0,1; x_2 = -0,08; x_5 = 0,11; x_6 = -0,1; x_7 = 0,1$	$x_3 = +0,05...+0,15; x_4 = -0,3...-0,2$
$x_1 = 0,1; x_2 = -0,08; x_4 = -0,23; x_6 = -0,1; x_7 = 0,1$	$x_3 = +0,05...+0,15; x_5 = +0,05...+0,15$
$x_1 = 0,1; x_2 = -0,08; x_4 = -0,23; x_5 = 0,11; x_7 = 0,1$	$x_3 = +0,05...+0,15; x_6 = -0,15...-0,05$
$x_1 = 0,1; x_2 = -0,08; x_4 = -0,23; x_5 = 0,11; x_6 = -0,1$	$x_3 = +0,05...+0,15; x_7 = +0,05...+0,15$
$x_1 = 0,1; x_2 = -0,08; x_3 = 0,08; x_6 = -0,1; x_7 = 0,1$	$x_4 = -0,3...-0,2; x_5 = +0,05...+0,15$
$x_1 = 0,1; x_2 = -0,08; x_3 = 0,08; x_5 = 0,11; x_7 = 0,1$	$x_4 = -0,3...-0,2; x_6 = -0,15...-0,05$
$x_1 = 0,1; x_2 = -0,08; x_3 = 0,08; x_5 = 0,11; x_6 = -0,1$	$x_4 = -0,3...-0,2; x_7 = +0,05...+0,15$
$x_1 = 0,1; x_2 = -0,08; x_3 = 0,08; x_4 = -0,23; x_7 = 0,1$	$x_5 = +0,05...+0,15; x_6 = -0,15...-0,05$
$x_1 = 0,1; x_2 = -0,08; x_3 = 0,08; x_4 = -0,23; x_6 = -0,1$	$x_5 = +0,05...+0,15; x_7 = +0,05...+0,15$
$x_1 = 0,1; x_2 = -0,08; x_3 = 0,08; x_4 = -0,23; x_5 = 0,11$	$x_6 = -0,15...-0,05; x_7 = +0,05...+0,15$

мерного сечения поверхности отклика по уравнениям регрессии относительно факторов (x_1) и (x_2), факторы (x_3, x_4, x_5, x_6, x_7) фиксировали на уровне, соответствующему минимальным потерям зерна (рис. 1): $x_3 = 0,08$; $x_4 = -0,23$; $x_5 = 0,11$; $x_6 = -0,1$; $x_7 = 0,1$. Анализ двухмерного сечения показал, что поверхность отклика имеет общую зону оптимума, а оптимальными являются следующие значения факторов: $x_1 = +0,05...+0,15$ и $x_2 = -0,15...-0,05$.

Анализ других двухмерных сечений также показал, что поверхности откликов имеют общую зону оптимума. Результаты анализа приведены в таблице 2.

Для того чтобы потери зерна были минимальными, необходимо принять следующие оптимальные значения факторов: $x_1 = +0,05...+0,15$ (1000,5...1021,5 мин⁻¹); $x_2 = -0,15...-0,05$ (18,5...19,5 мм); $x_3 = +0,05...+0,15$ (2445...2535 мм); $x_4 = -0,3...-0,2$ (7,4...7,6 кг/с); $x_5 = +0,05...+0,15$ (94,5...103,5 град); $x_6 = -0,15...-0,05$ (21,3...23,8 град.); $x_7 = +0,05...+0,15$ (64,4...65,2 град.).

Дробление зерна при этом составило 0,7%, а потери зерна - 0,25%. Таким образом, с помощью двухмерных сечений была решена компромиссная задача и определены оптимальные значения факторов.

Учитывая, что при полученных оптимальных значениях конструктивных и технологических параметров потери и дробление зерна значительно ниже допустимых, можно сделать вывод, что комбайн СК-10В имеет высокие потенциальные возможности и может работать при большей нагрузке молотильно-сепарирующей системы. Для установления закономерностей изменения качественных показателей работы молотильно-сепарирующей системы аксиально-роторного типа (потерь и дробления зерна, подачи незерновой фракции на очистку и др.) от режимов работы и конструктивных параметров самой системы требуется проведение одно- и двухфакторных экспериментов.

Библиографический список

1. Адлер, Ю.П. Планирование экспери-

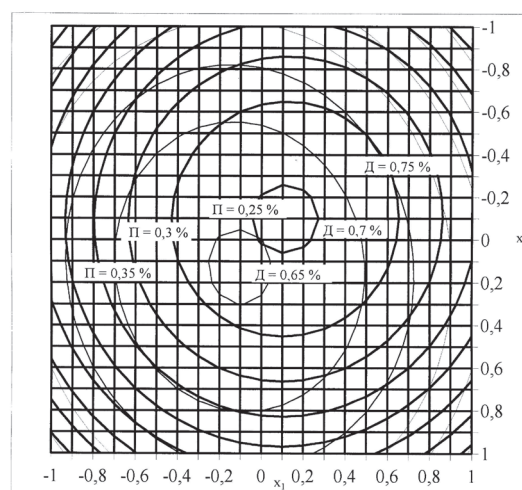


Рис. 1. – Двухмерное сечение для изучения влияния факторов x_1 и x_2 на потери Π и дробление D зерна при $x_3 = 0,08$; $x_4 = -0,23$; $x_5 = 0,11$; $x_6 = -0,1$; $x_7 = 0,1$

мента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 279 с.

2. Бердышев, В.Е. Комплексный показатель качества работы зерноуборочного комбайна / В.Е. Бердышев // Известия Нижегородского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2010. - № 2 (18). – С. 142-148.

3. Дегтярев, Ю.П. Регрессионный анализ на ПЭВМ / Ю.П. Дегтярев, А.И. Филатов // Сб. научн. тр. Волгогр. СХИ. – Волгоград, 1992. - С. 128 – 131.

4. Кленин, Н.И. Молотильно-сепарирующее устройство аксиально-роторного типа / Н.И. Кленин, С.Г. Ломакин, В.Е. Бердышев // Вузовская наука – производству. М.: МИИСП, 1988. - С. 28.

5. Мысливцев, В.Н. Обоснование параметров и показателей работы аксиально-роторного молотильно-сепарирующего устройства. - Дис. канд. техн. наук. - М. МИИСП, 1985. - С. 78-88.

6. Солдатенков, В.В. Влияние угла наклона ротора на качественные показатели работы сепаратора аксиального типа // Технологические процессы механизированных работ в полеводстве. – М.: МИИСП, 1982. - С. 113-117.