

# Планирование и методика проведения экспериментальных исследований зернометателя барабанного типа

**С.Н. Шуханов**, д.т.н., профессор,  
ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ

Развитие агропромышленного комплекса предполагает создание средств и технологий, отвечающих современным требованиям. В сельском хозяйстве России ведущая роль принадлежит производству зерновых культур. Особое место в этом ряду занимают машины для послеуборочной обработки зерна. Для первичной обработки зернового вороха, поступающего от комбайнов, зачастую применяются зернометатели.

Установлено, что метатели зерна барабанного типа значительно превосходят по показателям качества работы ленточные, которые применяются в настоящее время [1, 2]. С целью обоснования параметров барабанного зернометателя разработана и создана лабораторная установка (рис.).

Она включает в себя ведущий (1), ведомый барабаны (2), охваченные бесконечной лентой (3), лопастной барабан (4), в котором установлены обрешиненные лопатки (5), приёмный бункер (6), электродвигатель (7), клиноременную передачу (8), вариатор (9), опорные колёса (10), стойки (11) и раму (12).

Работает установка следующим образом. Зерновой ворох, подлежащий обработке, непрерывным потоком поступает из приёмного бункера во вращающийся лопастной барабан, где он захватывается лопатками и делится на отдельные порции, которые затем по мере вращения барабана укладываются на ленту. Когда лента начинает огибать ведомый барабан, то порции вороха отходят от неё и летят дальше по инерции в окружающую среду. Выбрасывание обрабатываемого материала производится со скоростью, равной движению ленты, и под углом, близким к углу её наклона.

Собственно эксперименты были проведены с применением теории планирования эксперимента [3].

На эффективность очистки зерна от примесей при порционном метании влияют такие факторы, как угол метания ( $L$ ), угол наклона лопаток ( $a$ ) и частота выбрасываемых порций или количество

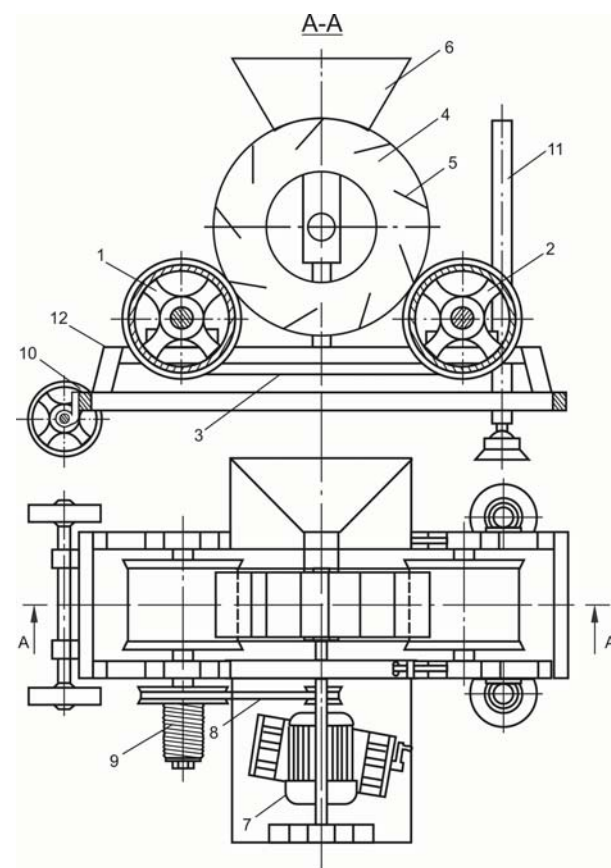


Рис. – Лабораторная установка метателя зерна барабанного типа

## 1. Уровни и интервалы варьирования факторов

Фактор	Условные обозначения	Код	Уровни факторов			Интервалы варьирования
			-1	0	+1	
Угол метания, град.	L	x1	15	30	45	15
Угол наклона лопаток в барабане, град.	A	x2	15	30	45	15
Кол-во лопаток в барабане, шт.	N	x3	3	6	9	3

## 2. Матрица полного факторного эксперимента ПФЭ 2<sup>3</sup>

Основные столбцы				Вспомогательные столбцы				Выход процесса			
1	-	-	-	+	+	+	-	4,1	15,3	18,1	12,5
2	-	+	-	-	-	+	+	58,5	59,1	59,2	58,9
3	+	-	-	-	+	-	+	30,4	32,8	33,1	32,1
4	+	+	-	+	-	-	-	93,2	94,4	94,7	94,1
5	-	-	+	+	-	-	+	7,8	12,9	13,2	11,3
6	-	+	+	-	+	-	-	58,0	67,7	68,0	64,5
7	+	-	+	-	-	+	-	63,8	67,0	66,7	65,8
8	+	+	+	+	+	+	+	99,5	99,7	99,5	99,5

лопаток в лопастном барабане ( $n$ ). Самым простым планом, обладающим ортогональностью любых столбцов независимых переменных, является план полного факторного эксперимента ПФЭ  $2^n$ , в котором исследуемые параметры изменяются лишь на двух уровнях – верхнем и нижнем. Тогда план эксперимента будет иметь вид ПФЭ  $2^3$ .

Уровни и интервалы варьирования факторов приведены в таблице 1.

Матрица полного факторного эксперимента представлена в таблице 2.

На основании таблицы 2 расчётным путём определяем коэффициенты уравнения регрессии:

$$b_0 = \frac{\sum_{u=1}^N Y_u}{N} = \frac{12,49 + 58,93 + 32,11 + 94,11 + 11,3 + 64,54 + 65,82 + 99,53}{8} = 54,85;$$

$$b_1 = \frac{\sum_{u=1}^N X_{1u} Y_u}{N} = \frac{-12,5 - 58,9 + 32,1 + 94,1 - 11,3 - 64,5 + 65,8 + 99,5}{8} = 18,0;$$

$$b_2 = \frac{\sum_{u=1}^N X_{2u} Y_u}{N} = \frac{-12,5 + 58,9 - 32,1 + 94,1 - 11,3 + 64,5 - 65,8 + 99,5}{8} = 24,4;$$

$$b_3 = \frac{\sum_{u=1}^N X_{3u} Y_u}{N} = \frac{-12,5 - 58,9 - 32,1 - 94,1 + 11,3 + 64,5 + 65,8 + 99,5}{8} = 5,4;$$

$$b_{1,2} = \frac{\sum_{u=1}^N X_{1u} X_{2u} Y_u}{N} = \frac{12,5 - 58,9 - 32,1 + 94,1 + 11,3 - 64,5 - 65,8 + 99,5}{8} = 1,1;$$

$$b_{2,3} = \frac{\sum_{u=1}^N X_{2u} X_{3u} Y_u}{N} = \frac{12,5 - 58,9 + 32,1 - 94,1 - 11,3 + 64,5 - 65,8 + 99,5}{8} = -2,7;$$

$$b_{1,3} = \frac{\sum_{u=1}^N X_{1u} X_{3u} Y_u}{N} = \frac{12,5 + 58,9 - 32,1 - 94,1 - 11,3 - 64,5 + 65,8 + 99,5}{8} = 4,3;$$

$$b_{1,2,3} = \frac{\sum_{u=1}^N X_{1u} X_{2u} X_{3u} Y_u}{N} = \frac{-12,5 + 58,9 + 32,1 - 94,1 + 11,3 - 64,5 - 65,8 + 99,5}{8} = -4,4;$$

Уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{23} x_2 x_3 + b_{13} x_1 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3. \quad (1)$$

Статистическая обработка результатов исследований приведена в таблице 3.

Средняя для всего эксперимента оценка дисперсии воспроизводимости единичного результата при  $m_u = \text{const}$  рассчитывается по формуле:

$$S^2_{(YK)} = \frac{\sum_{U=1}^N \sum_{k=1}^m (Y_{UK} - \bar{Y}_U)^2}{N(m-1)} = \frac{204,53}{8 \cdot 2} = 12,78. \quad (2)$$

Средняя для всего эксперимента дисперсии воспроизводимости среднего значения выхода в каждой строке будет в  $m$  раз меньше дисперсии  $S^2_{(YK)}$ , т.е.

### 3. Статистическая обработка результатов исследований

№	$(Y_1 - \bar{Y})$	$(Y_2 - \bar{Y})$	$(Y_3 - \bar{Y})$	$(Y_1 - \bar{Y})^2$	$(Y_2 - \bar{Y})^2$	$(Y_3 - \bar{Y})^2$	$\sum (Y_n - \bar{Y})^2$	$S_2(Y)$
1	8,39	2,81	5,59	70,39	7,89	31,24	109,52	54,760
2	0,46	0,19	0,29	0,21	0,03	0,08	0,32	0,160
3	1,71	0,73	0,99	2,92	0,53	0,98	4,43	2,215
4	0,91	0,32	0,61	0,82	0,10	0,37	1,29	0,645
5	3,50	1,64	1,88	12,25	2,68	3,53	18,46	9,230
6	6,54	3,15	3,41	42,77	9,92	11,62	64,31	32,155
7	2,02	1,16	0,88	4,08	1,34	0,77	6,19	3,095
8	0,03	0,12	0,08	0,00	0,01	0,00	0,01	0,005

$$S^2_{(Y)} = \frac{S^2_{(YK)}}{m} = \frac{12,78}{3} = 4,26. \quad (3)$$

В соответствии с теоремой о дисперсии среднего значения выхода можно записать:

$$S^2_{(bi)} = \frac{S^2_{(Y)}}{N} = \frac{4,26}{8} = 0,53, \quad S_{(bi)} = 0,73. \quad (4)$$

При  $t(0,95; 16) = 2,12$  доверительная ошибка коэффициентов определяется по критерию Стьюдента:

$$\sum_{(bi)} = t(P; f) \cdot S_{(bi)} = 2,12 \cdot 0,73 = 1,55. \quad (5)$$

Из всех коэффициентов незначимыми оказались

$$b_{12} = 1,06 < 1,55.$$

Следовательно, дешифрованное уравнение регрессии будет иметь вид:

$$E = 54,9 + 18,0L + 24,4a + 5,4n - 2,7an + 4,3Ln - 4,4Lan. \quad (6)$$

Проверка на адекватность.

Промежуточные расчёты представлены в таблице 4.

#### 4. Промежуточные расчёты

N	$\bar{Y}_n$	$\hat{Y}_n$	$(\bar{Y}_n - \hat{Y}_n)$	$(\bar{Y}_n - \hat{Y}_n)^2$
1	12,49	11,43	1,06	1,12
2	58,93	57,87	1,06	1,12
3	32,11	31,05	1,06	1,12
4	94,11	93,05	1,06	1,12
5	11,30	10,24	1,06	1,12
6	64,54	63,48	1,06	1,12
7	65,82	64,76	1,06	1,12
8	99,53	98,47	1,06	1,12

$$\sum_{U=1}^N \left( \bar{Y}_n - \hat{Y}_n \right)^2 = 8,96.$$

Дисперсия неадекватности

$$S^2_{ag} = \frac{\sum_{U=1}^N (\bar{Y}_n - \hat{Y}_n)^2}{N - N^1} = \frac{8,96}{2} = 4,58. \quad (7)$$

Критерий Фишера

$$F = \frac{S^2_{ag}}{S_{(\bar{Y})}} = \frac{4,58}{4,26} = 1,07. \quad (8)$$

При вероятности

$$P = 0,95, f_2 = 1 \text{ и } f_1 = 16, F_T = 248, \\ F = 1,07 < F_T = 248.$$

Значит, экспериментальные данные полученного уравнения регрессии (6) адекватны.

Из анализа уравнения (6) видно, что наибольшее влияние на эффективность очистки оказывает угол наклона лопатки лопастного барабана порционного метателя, затем угол метания, и самое меньшее воздействие оказывают количество лопаток в данном барабане или частота выбрасываемых порций.

#### Литература

1. Шуханов С.Н., Рыков И.Г. Совершенствование технических средств для метания зерна // Тракторы и сельхозмашины. 2011. № 4. С. 17–19.
2. Шуханов С.Н., Токмакова А.Л. Обзор конструкций зернометательных машин // Вестник ИрГСХА. 2013. № 59. С. 111–115.
3. Адлер Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976.