

**И. А. Леженкин, аспирант\***

*Таврический государственный агротехнологический университет*

*тел. (0619) 42-05-70*

## Статистическая модель плотности очесанного вороха озимой пшеницы

В статье приводится расчет основных статистических характеристик плотности очесанного вороха зерновых, а также рассматривается методика построения статистической модели, в виде закона распределения вероятностей.

**очесанный ворох зерновых, плотность вороха, вероятность распределения, среднее квадратическое отклонение, полигон частот, среднее значение**

*Постановка проблемы.* Зернопроизводство является базовой отраслью сельского хозяйства Украины. Однако его техническое обеспечение неудовлетворительное. Наиболее остро этот вопрос стоит при проведении уборочных работ. Общее количество зерноуборочных комбайнов за последние два десятилетия уменьшилось почти в три раза. Обновление комбайнового парка идет очень медленно, в связи с чем в эксплуатации находятся комбайны выработавшие свой моторесурс.

Альтернативой комбайновой уборке может стать стационарная уборка. Сущность которой заключается в уборке зерновой части в поле и доработке очесанного вороха на стационаре [1, 2]. При этом для уборки наиболее эффективно использовать уборочные машины с очесывающими рабочими органами [3, 4].

Теоретические основы для разработки очесывающих устройств были разработаны Шабановым П. А., Голубевым И. К., Данченко Н. К., Цыбульниковым В. Н., Гончаровым Б. И. и многими другими учеными МИМСХ (ныне Таврический государственный аграрный университет). Однако дальнейшее внедрение данной технологии сдерживается отсутствием технических средств для доработки очесанного вороха зерновых. Поэтому разработка устройства для сепарации очесанного вороха зерновых является актуальным. Одним из звеньев данной работы есть изучение физико-механических свойств очесанного вороха зерновых.

*Анализ публикаций.* Работу по исследованию физико-механических свойств растений, как объекта очесывания начал проф. Шабанов П. А. [5]. Он доказал технологическую возможность обмолота растений на корню. Эта работа была продолжена в трудах Данченко Н. Н., Повиляя В. М., Гончарова Б. И., Голубева И. К. [6, 7, 8, 9].

Применительно к физико-механическим свойствам очесанного вороха риса посвящена работы [10, 11]. Однако в этих работах рассматриваются физико-

---

\* Научный руководитель д.т.н., с.н.с. Шацкий В. В.

механические свойства очесанного вороха риса. Поэтому возникает необходимость исследования физико-механических свойств очесанного вороха зерновых культур, а в частности его плотности с учетом вероятностной природы процесса очесывания растений на корню.

*Постановка задания.* Определить основные статистические характеристики плотности очесанного вороха пшеницы и построить его математическую модель в виде закона распределения вероятностей.

*Основная часть.* Как известно, при работе очесывающего устройства навешенного на комбайн или уборочную машину получается очесанный ворох (рис. 1).



Рисунок 1 – Очесанный ворох пшеницы

Как видно из рис. 1, очесанный ворох зерновых представляет малосыпучую смесь, состоящую из свободного зерна, грубых солоmistых примесей, полосты и оборванных колосков.

Фракционный состав очесанного вороха зерновых имеет вероятностную природу, и как следствие плотность вороха также меняется с течением времени. Для получения представительных оценок характеризующих это изменение используем теорию вероятностей и математическую статистику [12, 13].

Методика проведения экспериментов заключалась в следующем. В специально изготовленный деревянный ящик размерами  $0,5 \times 0,5 \times 0,5$  м, отбирались пробы очесанного вороха, которые впоследствии взвешивались на весах (рис. 2).



Рисунок 2 – Взвешивание отобранных проб очесанного вороха

Результаты взвешивания заносились в журнал первичной информации. Объем выборки составлял 50 значений. В результате проведения эксперимента был получен вариационный ряд. Определим основные статистические характеристики данного ряда.

Основными статистическими характеристиками являются: среднеарифметическое значение (математическое ожидание), среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации.

Среднеарифметическое значение плотности очесанного вороха определяем по формуле [12].

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N}, \quad (1)$$

где  $X_i$  – текущее значение, кг/м<sup>3</sup>;

$N$  – общее число взвешиваний,  $N = 50$ .

В результате вычислений получаем  $\bar{X} = 129$  кг/м<sup>3</sup>.

Определяем среднеквадратическое отклонение  $\sigma$ , характеризующее рассеивание случайной величины по отношению к математическому ожиданию, для чего используем выражение [12].

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{X} - X_i)^2}{N - 1}}. \quad (2)$$

После подстановки исходных данных в формулу (2) получаем  $\sigma = 20,6$  кг/м<sup>3</sup>.

Коэффициент вариации, характеризующий степень изменчивости значений плотности очесанного вороха относительно его среднего значения вычисляем, из соотношения [12].

$$\gamma = \frac{\sigma}{\bar{X}} \times 100\%. \quad (3)$$

В нашем случае коэффициент вариации, вычисленный по формуле (3) составил  $\gamma = 15,7\%$ .

Ошибку среднеарифметического значения  $\Delta X$  определяем по формуле [12].

$$\Delta X = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}. \quad (4)$$

В итоге ошибка среднеарифметического составила  $\Delta X = 2,91$  кг/м<sup>3</sup>.

Определяем показатель точности опыта по зависимости [12]:

$$W = \frac{\Delta X}{\bar{X}} \times 100\%. \quad (5)$$

Расчет показал, что точность опыта равна  $W = 2,26\%$ , что свидетельствует о достаточной точности полученных результатов, при  $W \geq 5\%$  точность опыта неудовлетворительная.

Основной задачей математической статистики является подбор теоретических кривых по имеющемуся эмпирическому закону распределения случайной величины.

Для построения кривой распределения необходимо принять число классов (в нашем случае принимаем  $k = 7$ ) и после этого весь вариационный ряд сгруппировать в классы с классовым промежутком  $\lambda$ .

Величину классового промежутка определяем по формуле [13]:

$$\lambda = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{k}, \quad (6)$$

где  $X_{\max}$  – максимальное значение ряда;

$X_{\min}$  – минимальное значение ряда.

В нашем случае  $\lambda = 14$  кг/м<sup>3</sup>.

Сводим результаты измерений в классы с классовым промежутком  $\lambda = 14 \text{ кг/м}^3$ .

Таблица 1 – Частоты распределения по классам

Граница классов	80	94	108	122	136	150	164	178
Количество измерений в классе, $n$ ( $\sum n = 50$ )	1	6	11	12	10	8	2	
Частота, $P_i$ ( $\sum P_i = 1$ )	0,02	0,12	0,22	0,24	0,2	0,16	0,04	
$\frac{P_i}{\lambda} (P(X_i))$	0,001	0,009	0,016	0,017	0,014	0,011	0,003	

В таблице 1 значения частоты  $P_i$  определяется по формуле [13]:

$$P_i = \frac{n}{N}, \quad (7)$$

где  $n$  – количество измерений в классе.

Строим полигон частот заданного ряда. Для исключения влияния классового промежутка на характер гистограммы по оси ординат откладываем

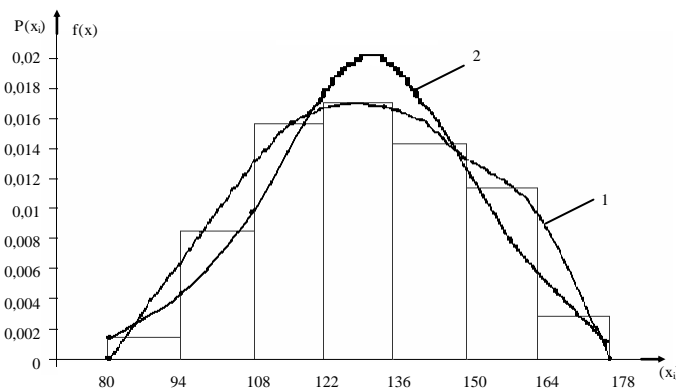


Рисунок 3 – Полигон частот и плотность распределения значений данного ряда

1 – экспериментальная кривая

2 – теоретическая кривая

величину  $\frac{P_i}{\lambda}$ , то есть частоту, приходящуюся на единицу классового промежутка.

Для построения экспериментальной кривой плотности распределения случайной величины соединяем плавной кривой точки, находящиеся в середине класса (интервала) (рис. 3).

Для построения теоретической кривой плотности распределения наиболее часто

применяется закон нормального распределения [13].

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \times e^{-\frac{(\bar{x}-x_i)^2}{2\sigma^2}}. \quad (8)$$

Подставляя в данную формулу числовые значения, сведем результаты вычислений в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты вычислений экспоненты

Граница классов	80	94	108	122	136	150	164	178
$f(x_i)$	0,0011	0,0046	0,011	0,02	0,02	0,011	0,0046	0,0011

Откладываем по оси ординат  $f(x_i)$  и соединяем точки плавной кривой, которая является теоретической кривой нормального распределения плотности очесанного вороха пшеницы.

Для проверки адекватности нормального закона распределения экспериментальным данным применим критерий Пирсона [13].

$$\chi^2_{\text{э}} = \sum_{i=1}^n \frac{[P(x_i) - f(x_i)]^2}{f(x_i)}, \quad (9)$$

$P(x_i)$  – частота экспериментального ряда, приходящаяся на классовой промежуток (табл. 1);

$f(x_i)$  – точки кривой теоретической плотности распределения.

После подстановки данных в формулу (9), получили, что расчетное значение  $\chi^2_{\text{э}} = 0,013$ .

Табличное значение  $\chi^2_{\text{т}}$  зависит от параметра  $r$ , называемого числом степеней свободы. Число «степеней свободы»  $r$  равно числу классов.

В нашем случае  $r = 5$ .

Используя таблицы [14] находим значение  $\chi^2_{\text{т}} = 1,145$ .

Таким образом  $\chi^2_{\text{э}} < \chi^2_{\text{т}}$  ( $0,013 < 1,145$ ), адекватность полученной статистической модели плотности очесанного вороха пшеницы удовлетворяется.

Статистическая модель плотности очесанного вороха пшеницы имеет вид:

$$f(x) = \frac{1}{20,6\sqrt{2\pi}} \times e^{-\frac{(129-x)^2}{8,98}}. \quad (10)$$

*Выводы.*

1. Установлено, что среднее значение плотности очесанного вороха пшеницы составляет  $\bar{X} = 129 \text{ кг/м}^3$ , при этом среднеквадратическое отклонение равняется  $\sigma = 20,6 \text{ кг/м}^3$ .

2. Проверка точности опытов показала, что опыты проведены с достаточной точностью,  $W = 2,6\%$ , т.е. полученные статистические характеристики достоверны.

3. Выявлено, что значения плотности очесанного вороха подчиняются нормальному закону распределения, проверка адекватности экспериментальных данных по критерию Пирсона, указала на адекватность полученной модели.

#### Список литературы

1. Кушнарев А. С. Энергосберегающая технология уборки зерновых культур для фермерских и крестьянских хозяйств / А. С. Кушнарев, А. Н. Леженкин // Перспективные технологии уборки зерновых культур, риса и семян трав: сб. докл. междунар. науч.-техн. конф. / ТГАТА. – Мелитополь, 2003. – С. 17 – 21.
2. 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.
3. А. с. 898989 СССР, МКИ А 01 D 41/08. Устройство для обмолота растений на корню / Н. Н. Данченко, П. А. Шабанов, Ю. Н. Ярмашев. – №2929576/30-15; заявл. 22.05.80; опубл. 23.01.82.
4. А. с. 1165278 А СССР, МКИ А 01 D 41/08. Устройство для обмолота сельскохозяйственных культур на корню / И. К. Голубев, Б. И. Гончаров, В. Н. Цыбульник [и др.]. – №3633051/30-

- 15; заявл. 24.05.83; опубл. 07.07.85; Бюл. №25.
5. Шабанов П. А. Механико-технологические основы обмолота зерновых культур на корню: дис... д-ра техн. наук / П. А. Шабанов; МИМСХ. – Мелитополь, 1988. – 336 с.
  6. Данченко Н. Н. Обоснование параметров щеточного устройства для очесывания метелок риса на корню: автореф. дис... канд. техн. наук / Н. Н. Данченко. – Челябинск, 1983. – 15 с.
  7. Повиляй В. М. Исследование процесса уборки селекционных посевов риса методом очесывания метелок на корню и обоснование параметров очесывающего устройства: дис... канд. техн. наук / В. М. Повиляй. – Краснодар, 1980. – 165 с.
  8. Бичаров Б. И. Исследование рабочего процесса очесывающего устройства для обмолота риса на корню с целью уменьшения потерь зерна: дис... канд. техн. наук / Б. И. Гончаров. – М., 1982. – 217 с.
  9. Голубев И. К. Обоснование основных параметров и режимов работы двухбарабанного устройства для очеса риса на корню: дис... канд. техн. наук / И. К. Голубев; ВСХИЗО. – М., 1989. – 201 с.
  10. Данченко Н. Н. Особенности физико-механических свойств очесанного вороха риса и технологические требования на его доработку / Н. Н. Данченко, В. Н. Шкиндер // Совершенствование технологических процессов и рабочих органов сельскохозяйственных машин; УСХА. – К., 1989. – С. 63 – 70.
  11. 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.
  12. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. – 564 с.
  13. Боровков А. А. Математическая статистика / А. А. Боровков. – М.: Наука, 1984. – 472 с.
  14. Бронштейн И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М.: Наука, 1981. – 720 с.

*I. Леженкін*

### **Статистична модель щільності обчисаного вороху озимі пшениці**

У статті наводиться розрахунок основних статистичних характеристик щільності обчесаного вороху зернових, а також розглядається методика побудови статистичної моделі у вигляді закону розподілення ймовірностей.

*I. Lezhenkin*

### **Statistical model density ochesannogo pile of winter wheat**

This article provides an account of the main statistical characteristics of the density ochesannogo heap of grain, as well as the technique of constructing a statistical model in the form of probability distribution.