

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ОДНОФАКТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ.  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ СЕМЯН  
ПРАКТИКУМ

Ростов-на-Дону  
2021

Составители: Е.М. Зубрилина, В.П. Димитров, И.А. Маркво

УДК 001.891

Однофакторный эксперимент. Определение коэффициента трения семян: практикум / Сост. Е.М. Зубрилина, В.П. Димитров, И.А. Маркво ; Донской гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону: ООО «ДГТУ-Принт», 2021. – 23 с.

В данном разделе практикума приводится методика проведения однофакторного эксперимента на примере определения коэффициента трения семян пропашных культур о поверхности разного вида. Представлен пример выполнения эксперимента по данному виду плана.

Практикум предназначен для проведения практических работ со студентами, изучающими дисциплину «Основы научных исследований», «Основы научных исследований в отрасли», «Основы научных исследований в АПК».

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Донского государственного технического университета

Научный редактор  
кандидат физико-математических наук,  
доцент И.Н. Нурутдинова

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ** – приобретение компетенций студентами по планированию, организации и проведению однофакторного эксперимента на примере определения коэффициента трения семян пропашных культур о поверхности разных видов, с последующей статистической обработкой полученных экспериментальных данных.

### 1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Если исследуется влияние одного фактора на изучаемый объект (одна независимая переменная), то такой эксперимент называется *однофакторным*.

Методику планирования, организации и проведения однофакторного эксперимента рассмотрим на примере определения фрикционных свойств семян пропашных культур (в частности, семян кукурузы).

В результате исследования определяется коэффициент статического трения  $f_{ст}$  семян (семян нескольких видов пропашных культур: кукурузы, гороха, подсолнечника и т.д.) по поверхностям разных видов (сталь, дерево, полимер).

За основу данного исследования взята стандартная методика определения коэффициента трения покоя на установке «наклонная плоскость» [1]: семя помещают на базовую поверхность, установленную горизонтально, затем плавно перемещают базовую поверхность вверх, изменяя угол наклона плоскости до момента начала движения семени. Угол наклона базовой поверхности фиксируется с помощью угломера (рис. 1) наклона.

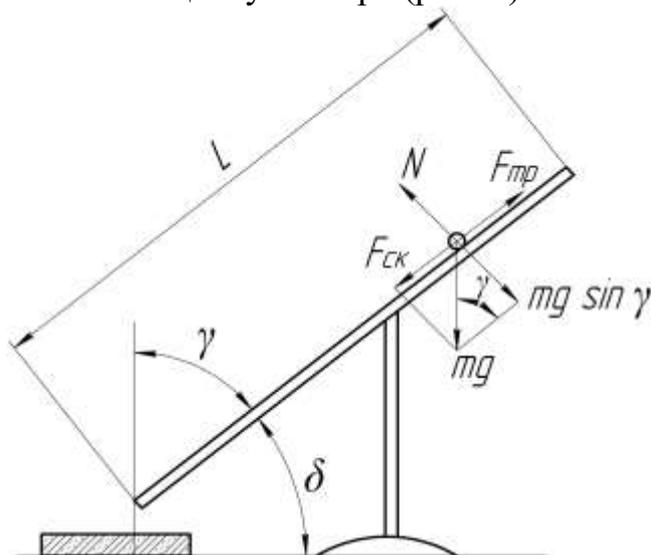


Рис. 1. Схема для определения коэффициента трения покоя семян

Согласно рис. 1 [2], угол трения покоя семени, при котором семя

начинает двигаться по наклонной плоскости, определяется по формуле

$$\delta = 90 - \gamma > \delta_{mp} . \quad (1)$$

Угол трения  $\delta_{mp}$  определялся из условия

$$F_{ск} = F_{mp} , \quad (2)$$

т.е.

$$mg \cdot \cos \gamma = N \cdot f_{cm} = f_{cm} \cdot mg \cdot \sin \gamma ; \quad (3)$$

$$f_{cm} = \operatorname{ctg} \gamma , \quad (4)$$

или

$$f_{cm} = \operatorname{tg} \delta . \quad (5)$$

Тогда *статический коэффициент трения* определяется по формуле

$$f_{cm} = \operatorname{tg} \delta = \operatorname{ctg} \gamma , \quad (6)$$

где  $\delta$  - угол наклона базовой поверхности, град.;

$\gamma$  - угол между вертикалью и направлением вектора скорости в момент падения семян (угол падения семян), град.

*Динамический коэффициент трения* составляет [2]:

$$f_{\delta} = 0,6 \dots 0,7 f_{cm} . \quad (7)$$

**ПРИМЕР.** В качестве посевного материала использовались семена кукурузы среднеспелого гибрида Краснодарский 382МВ. Экспериментальным путем в лабораторных условиях (рис. 2) определялось одно из фрикционных свойств кукурузы - коэффициент трения семян по рабочей поверхности  $f_{cm}$  [2].

В эксперименте в качестве рабочей поверхности применялся семяпровод (трубка круглого сечения) из металлопластикового материала (труба ГОСТ Р 52134-2003), коэффициент трения о который для кукурузы отсутствует в литературных источниках.

Последовательность определения коэффициента трения следующая:

- семя помещают на внутреннюю поверхность телескопической трубки 6, установленную горизонтально;
- плавно перемещают базовую поверхность 5 вверх, изменяя угол наклона плоскости до момента начала движения семени;
- с помощью угломера 3 (см. рис. 2) фиксируется угол  $\delta$  (см. рис. 1) наклона базовой поверхности.

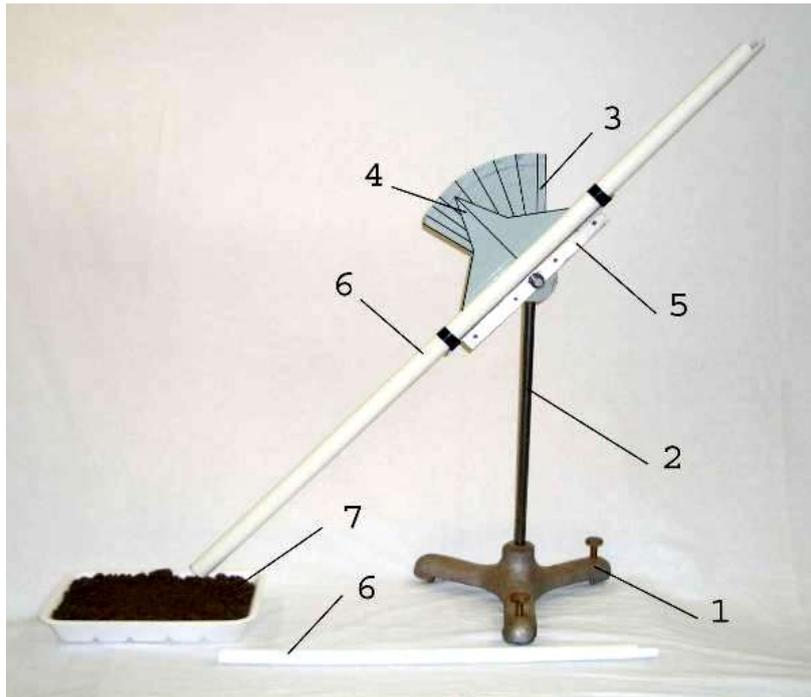


Рис. 2. Устройство для определения коэффициента трения покоя семян [2]:  
 1- опора с регулировочным винтом; 2 – штатив; 3 – неподвижный сектор угломера;  
 4 – указатель угломера; 5 – базовая поверхность;  
 6 – телескопическая трубка; 7 – емкость с почвой

Данный вид эксперимента после снятия показаний с устройства требует пересчета для определения искомой величины коэффициента трения покоя.

Коэффициент трения покоя определялся на основании серии опытов ( $n=50$  шт.) с трехкратной повторностью.

Результаты полученных экспериментальным путём данных представлены в виде статистического ряда (табл. 1).

Таблица 1

Числовые характеристики угла трения семян кукурузы о семяпровод

Интервал, град.	19,65- 20,45	20,45- 21,25	21,25- 22,05	22,05- 22,85	22,85- 23,65	23,65- 24,45	24,45- 25,25
Середина интервала, град.	20,05	20,85	21,65	22,45	23,25	24,05	24,85
Частота, шт.	16	20	28	39	26	12	9
Опытная вероятность	0,107	0,133	0,187	0,260	0,173	0,080	0,060

Далее определялись числовые характеристики статистического ряда:

- среднее значение угла трения ( $\bar{\delta} = 22,24$  град.);
- среднее квадратическое отклонение ( $\sigma = 1,3$  град.);
- коэффициент вариации ( $V = 0,5$ ).

Далее выбрали теоретический закон распределения угла трения семени кукурузы о дно семяпровода. Установлено, что распределение угла трения семени кукурузы о дно семяпровода подчиняется закону нормального распределения (ЗНР).

Расчислили верхний и нижний уровни варьирования среднего значения ( $\bar{\delta}_\alpha^H = 21,88$ ;  $\bar{\delta}_\alpha^6 = 22,6$ ) с учетом критерия Стьюдента при доверительной вероятности  $\alpha = 0,95$ , табличное значение которого при  $\alpha = 0,95$  составляет  $t = 1,956$ .

В результате обработки экспериментальных данных установлено, что средний угол трения семян кукурузы по семяпроводу составляет  $\bar{\delta} = 22^{\circ}14' \pm 21'$ .

Построена гистограмма, дифференциальная и интегральная кривые распределения значений угла трения семян кукурузы о дно семяпровода (рисунок 3).

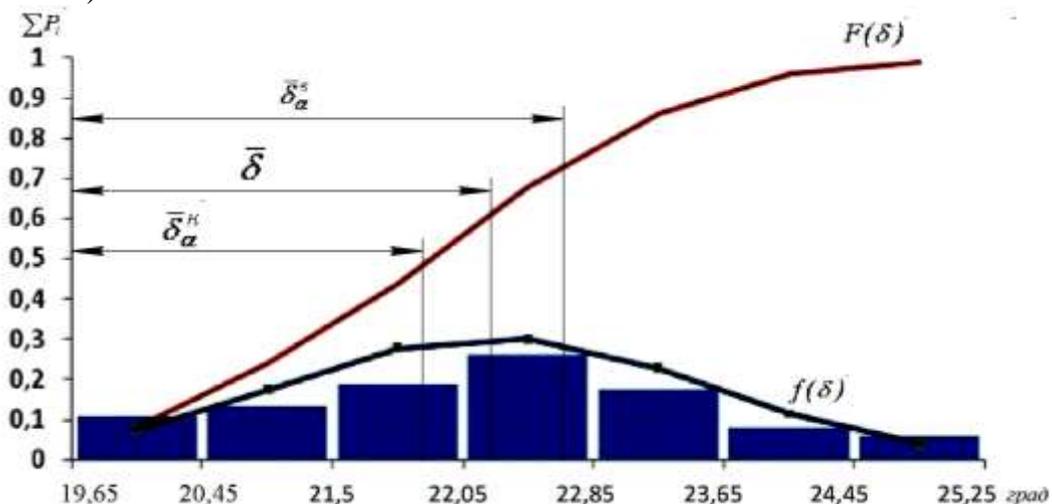


Рис. 3. Гистограмма, дифференциальная и интегральная кривые распределения значений угла трения семян кукурузы о дно семяпровода

На основании полученного среднего значения угла трения ( $\bar{\delta} = 22^{\circ}14' \pm 21'$ ) определили статический коэффициент трения семени о семяпровод по формуле (6), который составил  $f_{cm} = 0,36$ . Динамический коэффициент трения движения семян о поверхность семяпровода определили по формуле (7), что составило  $f_{\delta} = 0,25$ .

## 2. МЕТОДИКА ОДНОФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ СЕМЯН

**Цель эксперимента** – определение коэффициентов трения семян пропашных культур (статического и динамического) о поверхности разных видов, с последующей статистической обработкой полученных экспериментальных данных.

### 2.1 Оборудование и приборы для проведения исследований

Принцип работы представленного на рис. 2 устройства заключается в установке семени на исследуемую поверхность с последующим изменением угла наклона плоскости до момента начала движения семени. Угол наклона рабочего стола фиксируется с помощью угломера. К недостаткам данного устройства относится человеческий фактор, в частности обеспечение плавности изменения угла наклона базовой поверхности и снятие показаний непосредственно с измерительного прибора.

На рис. 4 представлена функциональная схема устройства, исключающего вышеуказанные недостатки и автоматически определяющего угол наклона рабочей поверхности и коэффициент трения семян о рабочую поверхность.

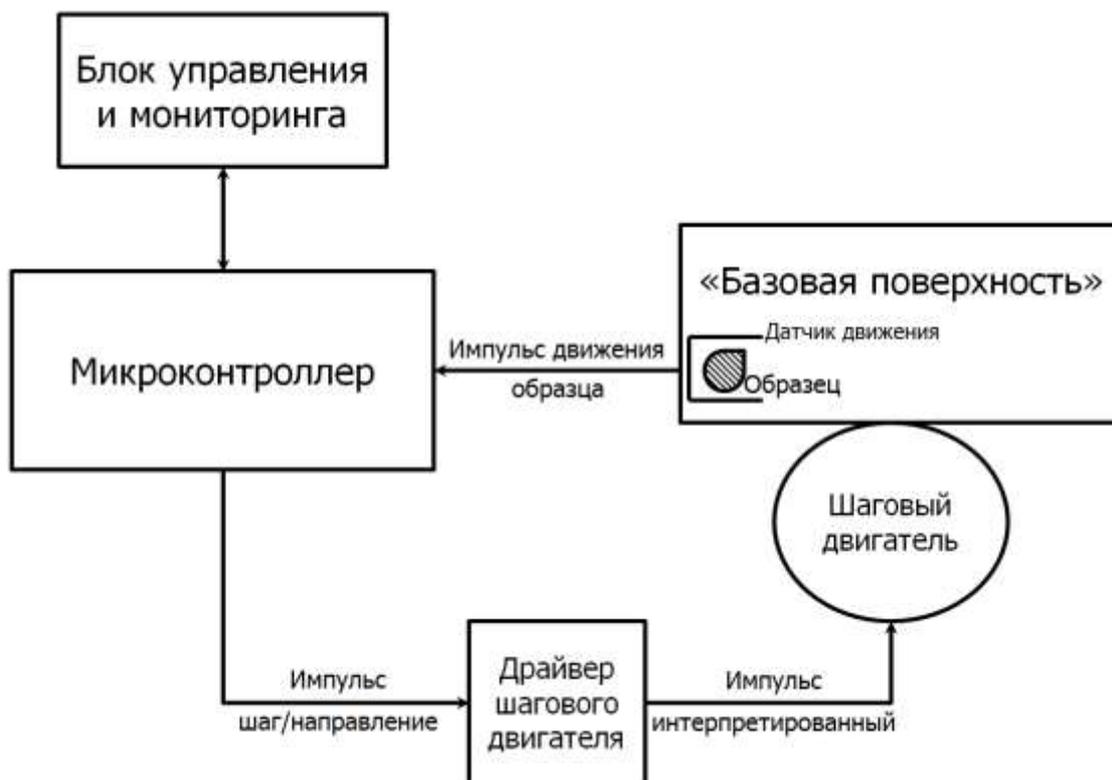


Рис. 4. Функциональная схема устройства, определяющего коэффициент трения семян о рабочую поверхность

Устройство для автоматизированного определения коэффициентов трения семян (рис. 5) с шаговым двигателем и поворотным механизмом (на рисунке не показаны) позволяет проводить исследования в различных вариантах путем смены рабочих поверхностей разных видов (металл и 3 вида полимерных соединений) и различных типов семенного материала (семена кукурузы, подсолнечника, сорго и гороха).

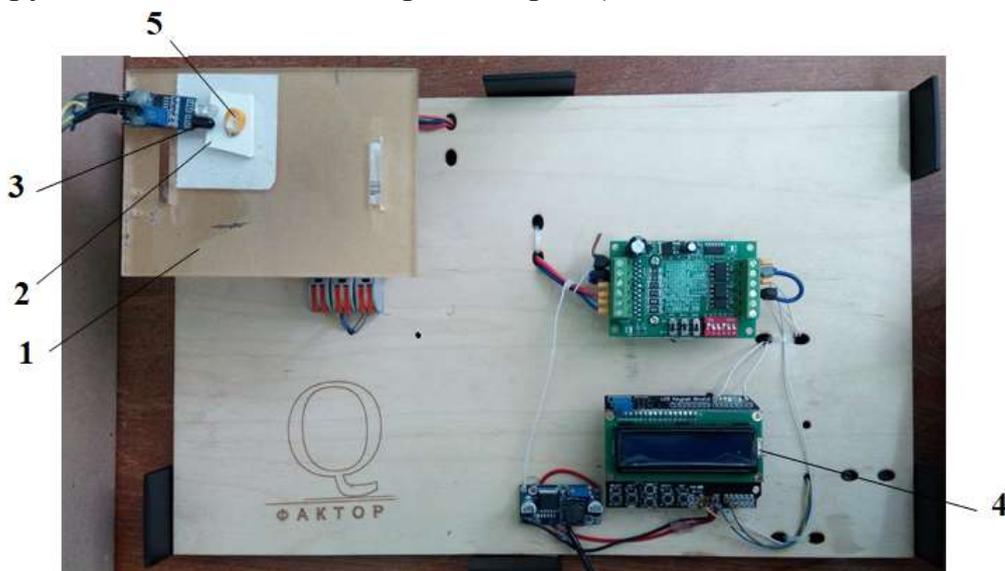


Рис. 5. Устройство для автоматизированного определения коэффициентов трения семян: 1 – рабочий стол; 2 – исследуемая поверхность; 3 – датчик движения; 4 – блок управления и мониторинга с индикационной панелью; 5 – семя исследуемой пропашной культуры

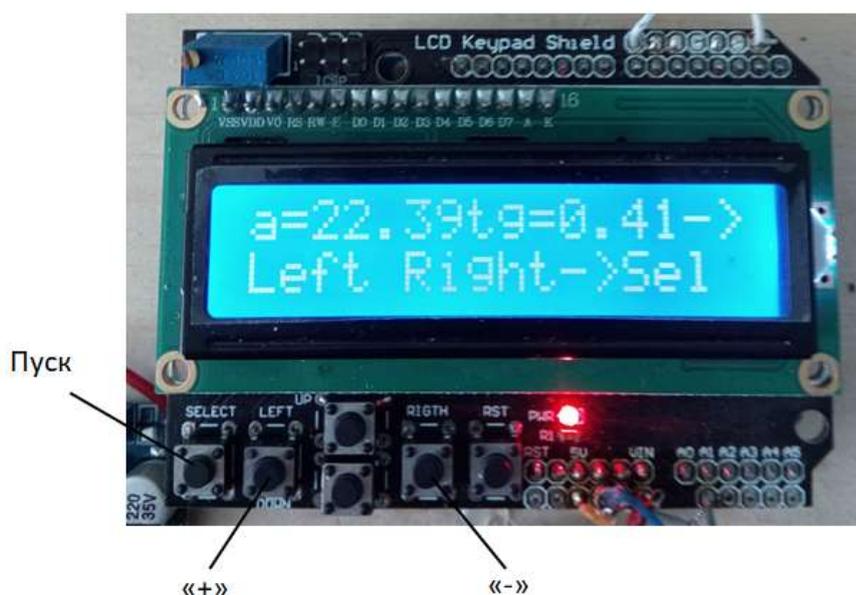


Рис. 6. Блок управления и мониторинга с индикационной панелью  
Для установки рабочей поверхности стола 1 устройства на «0» (т.е. в горизонтальное положение) используется карманный уровень (рис. 7).

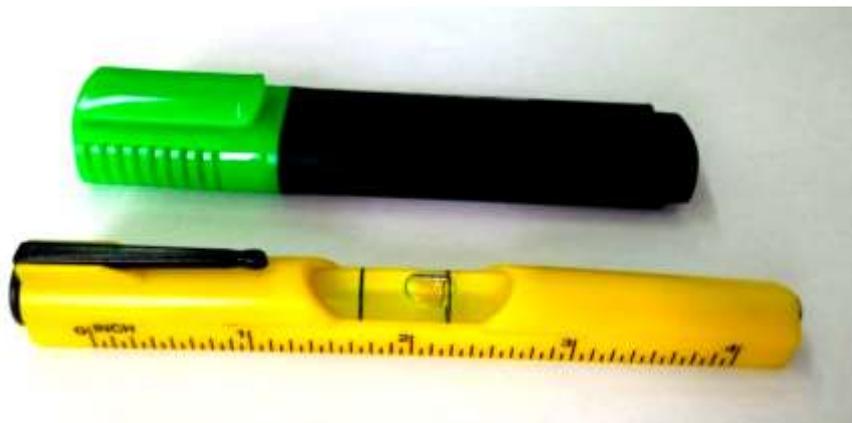


Рис. 7. Карманный уровень

## 2.2. Методика проведения эксперимента

Методика проведения эксперимента по определению угла трения семян:

1) выставить рабочий стол 1 (рис. 5) параллельно основанию при помощи уровня (рис. 6), для этого уровень положить на рабочий стол и кнопками «+» или «-» выставить положение на «0»;

2) закрепить исследуемую поверхность 2 на рабочем столе 1 (рис. 5);

3) установить на поверхность 2 исследуемый материал 5 (рис. 5);

4) включить устройство для автоматизированного определения коэффициентов трения семян в сеть 220 В;

5) исследуемый материал 5 (семя пропашной культуры) поместить непосредственно перед датчиком 3 и убедиться в том, что датчик зафиксировал семя (должны «гореть» 2 зелёных светодиода). Если индикация отсутствует, то отрегулировать чувствительность поворотом винта на датчике движения 3 (см. рис. 6);

6) нажать кнопку «Пуск» на блоке управления и мониторинга («Select» на рис. 6);

7) считать показания с индикационной панели (рис. 6): угол поворота  $a$ , при котором исследуемое семя начало движение ( $a=22,39$  – пример на рис. 6); статический коэффициент трения (коэффициент трения покоя), равный тангенсу угла поворота, – на дисплее обозначен  $tg=0,41$ , т.е. 0,41 – это и есть значение  $f_{cm}$ .

По приведенной выше методике провести серию экспериментов по определению коэффициента трения покоя по 50 значений с трехкратной повторностью ( $m=3$ ). Все 150 значений записать в таблицу результатов проведенных экспериментов (табл. 2). Для простоты расчетов обозначим  $f_{cm}$  через  $x_i$ .

Таблица 2

## Экспериментальные данные

Тип поверхности	Тип семени	Значения коэффициентов трения покоя семян о рабочую поверхность по сериям экспериментов ( $f_{cm}$ )			Среднее значение коэффициентов трения покоя семян о рабочую поверхность, $\bar{x}_i$
		$m=1$	$m=2$	$m=3$	
1	2	3	4	5	6
		$x_1$	$x_1$	$x_1$	$\bar{x}_1$
		$x_i$	$x_i$	$x_i$	$\bar{x}_i$
		.....	.....	.....	
		.....	.....	.....	
		$x_{50}$	$x_{50}$	$x_{50}$	$\bar{x}_{50}$

Среднее значение коэффициентов трения покоя семян о рабочую поверхность определяется по формуле

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{i=1}^m x_i}{m}. \quad (8)$$

### 2.3. Обработка экспериментальных данных.

#### Построение статистического ряда

Среднее значение коэффициентов трения покоя семян о рабочую поверхность (50 значений из табл. 2, столбец 6) проранжировать и составить вариационный ряд экспериментальных средних значений коэффициентов трения покоя семян о рабочую поверхность (табл. 3) [4].

Таблица 3

Сводная ведомость (вариационный ряд) средних значений коэффициентов трения покоя семян о рабочую поверхность

$\bar{x}_1 = \bar{x}_{min}$	.....	.....	.....	.....
	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....
$\bar{x}_{10}$	.....	.....	.....	$\bar{x}_{50} = \bar{x}_{max}$

Количество интервалов определяем по формуле

$$n = \sqrt{N}, \quad (8)$$

где  $n = \sqrt{50} = 7,1$ , принимаем 8 интервалов.

Протяжённость каждого интервала определяем по формуле:

$$A = \frac{\bar{x}_{max} - \bar{x}_{min}}{n}, \quad (9)$$

где  $\bar{x}_{max}$  и  $\bar{x}_{min}$  – соответственно наибольшее и наименьшее значения параметра (см. табл. 3).

Строим статистический ряд в виде таблицы с 5-ю строками и 9-ю столбцами (табл. 4).

Начало первого интервала, или начало рассеивания определяем по формуле

$$C = \bar{x}_1 - 0,5A, \quad (10)$$

где  $\bar{x}_1$  – значение параметра в первой точке информации (наименьшее значение в табл. 3).

Таблица 4

Статистический ряд [4]

Интервал $\bar{x}_i$	$C$ ; $C + A$	$C + A$ ; $C + 2A$	$C + 2A$ ; .....	.....	.....	.....	.....; $C + 7A$
Середина интервала $\bar{x}_{cp,i}$							
Частота $m_i$							
Опытная вероятность $P_i$							
Накопленная опытная вероятность $\sum_{i=1}^n P_i$							

Вторая строка статистического ряда представляет собой середину каждого интервала.

Третья строка показывает частоту  $m_i$ , то есть сколько значений вариационного ряда попадает в каждый интервал (табл. 3).

Если окажется, что последнее одно или несколько значений износа (точек информации) выходят за пределы последнего интервала, то нужно либо добавить еще один интервал, либо увеличить протяженность интервала ( $A$ ).

Значение опытных вероятностей (или частот) в каждом интервале (четвертая строка статистического ряда) определяют по формуле

$$P_i = \frac{m_i}{N}, \quad (11)$$

где  $m_i$  – опытная частота в  $i$ -м интервале;  $N$  – количество информации ( $N=50$ ).

Значения накопленных опытных вероятностей (последняя строка ряда) определяются суммированием вероятностей по интервалам:

$$\sum_{i=1}^n P_i = \sum_{i=1}^n \frac{m_i}{N} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{N}. \quad (12)$$

Сумма частот  $\sum m_i$  по всем интервалам должна быть равна  $N$ , а сумма накопленных опытных вероятностей  $\sum P_i = 1.0$ .

#### 2.4. Определение математических характеристик статистического ряда

Среднее значение коэффициента трения семян о рабочую поверхность определяем по формуле:

$$\bar{X} = \sum_I^n \bar{x}_{cpi} \cdot P_i, \quad (13)$$

где  $\bar{x}_{cpi}$  – значение коэффициента трения в середине  $i$ -го интервала (середина  $i$ -го интервала);

$P_i$  – опытная вероятность в  $i$ -м интервале.

Среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\sum_I^n (\bar{x}_{cpi} - \bar{X})^2 \cdot P_i}. \quad (14)$$

Коэффициент вариации:

$$V = \frac{\sigma}{\bar{X} - C}. \quad (15)$$

## 2.5. Проверка информации на наличие выпадающих точек

Информация о значениях коэффициентов трения семян о рабочую поверхность, полученная в процессе экспериментов, может содержать ошибочные точки, не соответствующие закону распределения случайной величины.

Проверку информации на наличие выпадающих точек осуществляют по формуле

$$\lambda_{оп} = \frac{\bar{x}_i - \bar{x}_{i-1}}{\sigma}, \quad (16)$$

где  $\bar{x}_i$  и  $\bar{x}_{i-1}$  – смежные (соседние) точки в сводной ведомости информации.

$\lambda_{оп}$  определяется для наименьшего значения коэффициентов и для наибольшего значения коэффициентов трения семян (см. табл. 3).

Полученные значения  $\lambda_{оп}$ , сравнивают с табличными значениями критерия Ирвина (табл.1 приложения).

Если  $\lambda_{оп} < \lambda_{т}$ , то информация достоверна, если же  $\lambda_{оп} > \lambda_{т}$ , то такие точки “ выпадают”, то есть должны быть исключены из информации как недостоверные и пересчитаны с начала по тому же алгоритму, но с учетом скорректированного количества информации.

## 2.6. Выбор теоретического закона распределения износов

Замена опытного закона распределения теоретически называется сглаживанием или выравниванием статистической информации. Теоретический закон применим как к полной совокупности, так и к любой частной совокупности семян данного вида и данного типа рабочих поверхностей.

В основном в качестве теоретического используют закон нормального распределения (ЗНР) и закон распределения Вейбулла (ЗРВ).

Предварительный выбор теоретического закона распределения износов осуществляется по величине коэффициента вариации  $V$ . Если  $V < 0,3$ , то распределение подчиняется закону нормального распределения (ЗНР), если  $V > 0,5$ , то закону распределения Вейбулла (ЗРВ). Если  $V$  лежит в интервале от 0,3 до 0,5, то выбирается тот закон, который лучше совпадает с опытной информацией. Точность совпадения оценивается по критерию согласия.

Значение интегральной функции  $F(\bar{x}_{ки})$  ЗНР в конце  $i$ -го интервала определяется по формуле

$$F(\bar{x}_{ки}) = F_0\left(\frac{\bar{x}_{ки} - \bar{X}}{\sigma}\right), \quad (17)$$

где  $F_0$  – центрированная интегральная функция (табл. 2 приложения).

Однако при  $F_0(-\bar{X}) = 1 - F(+\bar{X})$ .

Значение интегральной функции  $F(\bar{x}_{ки})$  ЗРВ в конце  $i$ -го интервала определяется по формуле

$$F(\bar{x}_{ki}) = F_T\left(\frac{\bar{x}_{ki} - C}{a}\right), \quad (18)$$

где  $F_T$  – табулированное значение интегральной функции;

$C$  – сдвиг начала рассеивания (определяется по формуле (10));

$a$  – параметр ЗРВ, определяется по формуле

$$a = \frac{\bar{X} - C}{K_B}, \quad (19)$$

где  $K_B$  – коэффициент ЗРВ.

Параметр  $b$  и коэффициент  $K_B$  определяем по табл. 3 приложения в зависимости от коэффициента вариации.

Табулированное значение интегральной функции  $F_T$  принимается по табл. 4 приложения в зависимости от  $\frac{\bar{x}_{ki} - C}{a}$  и параметра  $b$ . Если значения

$b$  и  $\frac{\bar{x}_{ki} - C}{a}$  не точно совпадают с данными таблицы, то  $F_T(\bar{X})$  следует определять интерполированием.

Аналогично определяют  $F(\bar{x}_i)$  для остальных интервалов, а полученные значения записывают в табл. 5.

Таблица 5

Выбор теоретического закона распределения коэффициента трения

Интервал							
Конец интервала $\bar{x}_{k,i}$							
Частота $m_i$							
Опытная вероятность $P_i$							
Накопленная опытная вероятность $\sum_{i=1}^n P_i$							
ЗНР	$\frac{\bar{x}_{ki} - \bar{X}}{\sigma}$						
	$F(\bar{x}_{ki})$						
	$ \sum P_i - F(\bar{x}_{ki}) $						
ЗРВ	$\frac{\bar{x}_{ki} - C}{a}$						
	$F(\bar{x}_{ki})$						
	$ \sum P_i - F(\bar{x}_{ki}) $						

Окончательный выбор теоретического закона распределения коэффициентов трения покоя семян о поверхность выполняют с помощью критерия согласия. Чаще всего используют критерий Пирсона ( $\chi^2$ ) и критерий Кол-

могорова ( $\lambda$ ). По величине критерия согласия можно определить вероятность совпадения опытных и теоретических законов и на этом основании принять или отбросить выбранный теоретический закон распределения и обоснованно выбрать один теоретический закон из двух или нескольких.

Правильность выбора закона распределения определим с помощью критерия согласия Колмогорова.

Критерий согласия Колмогорова определяют по формуле

$$\lambda = D_{max} \sqrt{N} \quad (20)$$

где  $D_{max}$  – максимальная абсолютная разность между накопленной опытной вероятностью и теоретической интегральной функцией, то есть:

$$D_{max} = \max \left| \sum_1^n P_i - F(\bar{x}_{ki}) \right|. \quad (21)$$

Разницу между опытным и теоретическим значениями функций определяют для каждого интервала и заносят в табл. 5.

По табл. 5 приложения находим вероятность совпадения теоретического закона с опытным распределением.

Для ЗНР  $P(\quad) = \quad$ ; для ЗРВ  $P(\quad) = \quad$

Критической вероятностью совпадения принято считать  $P = 0,001$ . Если  $P < 0,001$ , то выбранный для выравнивания опытной вероятности теоретический закон распределения следует считать недействительным.

Следовательно, выбираем теоретический закон распределения, у которого вероятность больше.

## 2.7. Определение доверительных границ рассеивания среднего значения коэффициента трения покоя семян о поверхность

Интервал, в котором при заданной доверительной вероятности  $\alpha$  попадают 100% случаев от  $N$ , называется доверительным интервалом.

Границы, в которых может колебаться среднее значение (или одиночное) показателя, называются нижней и верхней доверительными границами.

Для ЗНР нижняя доверительная граница рассеивания среднего значения коэффициента трения покоя семян о поверхность при доверительной вероятности  $\alpha$ :

$$\bar{X}_\alpha^H = \bar{X} - t_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{N}}, \quad (22)$$

где  $t_\alpha$  – коэффициент Стьюдента, который определяется табл. 6 приложения в зависимости от  $N$  и выбранной доверительной вероятности  $\alpha$ .

Верхняя доверительная граница рассеивания среднего значения коэффициента трения семян о поверхность при доверительной вероятности  $\alpha$ :

$$\bar{X}_\alpha^B = \bar{X} + t_\alpha \frac{\sigma}{\sqrt{N}}. \quad (23)$$

При законе распределения Вейбулла:

- нижняя доверительная граница среднего значения коэффициента трения семян о поверхность:

$$\bar{X}_\alpha^n = (\bar{X} - C) \sqrt[r_3]{\varepsilon} + C; \quad (24)$$

- верхняя доверительная граница среднего значения коэффициента трения семян о поверхность

$$\bar{X}_\alpha^\varepsilon = (\bar{X} - C) \sqrt[r_1]{\varepsilon} + C, \quad (25)$$

где  $r_1, r_3$  – коэффициенты распределения Вейбулла (принимаются по табл. 6 приложения в зависимости от величины доверительной вероятности и числа наблюдений  $N$ ).

Определение относительной ошибки расчёта характеристик износа:

$$\varepsilon_\alpha = \frac{\bar{X}_\alpha^B - \bar{X}}{\bar{X}} \cdot 100\%. \quad (26)$$

Точность расчётов считается вполне достаточной, если  $\varepsilon_\alpha \leq 20\%$ .

## 2.8. Графическое построение опытного распределения коэффициента трения покоя семян о поверхность

Построение гистограммы осуществляется следующим образом (см. рис. 3).

По оси абсцисс откладывают интервалы в соответствии со статистическим рядом, а по оси ординат – опытную вероятность в начале и конце каждого интервала. Соединив в каждом интервале точки, получаем прямоугольник. В результате получается ступенчатый многоугольник – гистограмма. Площадь каждого прямоугольника в процентах от общей площади гистограммы или долях единицы определяет опытную вероятность или количество семян, у которых коэффициент трения покоя о поверхность находится в данном интервале.

Точки кривой накопленных опытных вероятностей образуются пересечением абсциссы, равной концу данного интервала, и ординаты, равной сумме вероятностей предыдущих интервалов (рис. 3).

Гистограмма и полигон являются дифференциальными, а кривая накопленных опытных вероятностей – интегральными статистическими (опытными) законами распределения случайной величины.

## 2.9. Индивидуальное задание

Учебная группа разделяется на четыре подгруппы. Каждая подгруппа получает индивидуальный семенной материал и тип рабочей поверхности и проводит исследование согласно методике проведения эксперимента, представленной в разделе 2.2.

Полученные в ходе экспериментов данные заносятся в табл. 2 с указанием типа семени и типа поверхности. Далее группа осуществляет обработку экспериментальных данных согласно методике, изложенной в разделах 2.3-2.8.

После обработки результатов экспериментов магистранты заполняют итоговую таблицу (табл. 6).

Таблица 6

Итоговая таблица коэффициентов трения различных семян  
о различные виды рабочих поверхностей

Тип семени	Вид рабочей поверхности	Среднее значение коэффициента трения семян о рабочую поверхность. Статический коэффициент трения, $\bar{f}_{cm} = \bar{X}$	Среднее значение коэффициента трения семян о рабочую поверхность. Динамический коэффициент трения, $\bar{f}_d = 0,6 \bar{f}_{cm}$

Полученные в ходе эксперимента значения, приведенные в табл. 6, магистранты анализируют и делают выводы о фрикционных свойствах различных видов пропашных культур о различные виды рабочих поверхностей.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Крагельский, И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. – М. : Машиностроение, 1977. – 526 с.
2. Чикильдин, В.Н. Совершенствование процесса высева семян пропашных культур пневматической сеялкой (на примере кукурузы): дис. ... канд. тех. наук. – Ставрополь, 2011. – 154 с.
3. Зубрилина, Е.М. Устройство для автоматизированного определения коэффициентов трения семян / Е.М. Зубрилина, И.А. Маркво, А.А. Минеев, П.П. Павлов // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: сб. ст.10-й междунар. науч.-практ. конф. в рамках 20-й междунар. агропром. выст. «Интерагромаш-2017». – Ростов-на-Дону, 2017. – С. 155-156.
4. Основы надежности машин / Е.М. Зубрилина, Ю.И. Жевора, А.Т. Лебедев и др. – Ставрополь: АГРУС, 2010. – 120 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

Коэффициент Ирвина  $\lambda_T$

Повторность информации $N$	10	20	30	50	100	400
$\lambda_T$ при $\alpha=0,95$	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9
$\lambda_T$ при $\alpha=0,99$	2,0	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3

Таблица 2

Интегральная функция (функция распределения) закона

нормального распределения  $F_0\left(\frac{I_{ki} - \bar{I}}{\sigma}\right)$

$\frac{I_{ki} - \bar{I}}{\sigma}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,50	50	51	51	52	52	52	53	53	54
0,1	0,54	54	55	55	56	56	56	57	57	58
0,2	0,58	58	59	59	60	60	60	61	61	61
0,3	0,62	62	63	63	63	64	64	64	65	65
0,4	0,66	66	66	67	67	67	68	68	68	69
0,5	0,69	70	70	70	71	71	71	72	72	72
0,6	0,73	73	73	74	74	74	75	75	75	76
0,7	0,76	76	76	77	77	77	78	78	78	79
0,8	0,79	79	79	80	80	80	81	81	81	81
0,9	0,82	82	82	82	83	83	83	83	84	84
1,0	0,84	84	85	85	85	85	86	86	86	86
1,1	0,86	87	87	87	87	88	88	88	88	88
1,2	0,89	89	89	89	89	89	90	90	90	90
1,3	0,90	91	91	91	91	91	91	92	92	92
1,4	0,92	92	92	92	93	93	93	93	93	93
1,5	0,93	93	94	94	94	94	94	94	94	94
1,6	0,95	95	95	95	95	95	95	95	95	96
1,7	0,96	96	96	96	96	96	96	96	96	96
1,8	0,96	97	97	97	97	97	97	97	97	97
1,9	0,97	97	97	97	97	97	98	98	98	98
2,0	0,98	98	98	98	98	98	98	98	98	98
2,1	0,98	98	98	98	98	98	98	99	99	99
2,2	0,99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
2,3	0,99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
2,4	0,99	99	99	99	99	99	99	99	99	99
2,5	0,99	99	99	99	99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Таблица 3

Параметры и коэффициенты распределения Вейбулла (ЗРВ)

$$a = \frac{\bar{I} - C}{K_B}; \quad a = \frac{\sigma}{C_B}; \quad \bar{I} = a \cdot K_B + C$$

V	b	K <sub>B</sub>	C <sub>B</sub>	V	b	K <sub>B</sub>	C <sub>B</sub>	V	b	K <sub>B</sub>	C <sub>B</sub>
1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1,26	0,80	1,13	1,43	0,55	1,90	0,89	0,49	0,36	3,00	0,89	0,33
1,11	0,90	1,07	1,20	0,52	2,00	0,89	0,46	0,35	3,10	0,89	0,32
1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	2,10	0,89	0,44	0,34	3,20	0,90	0,31
0,91	1,10	0,97	0,88	0,48	2,20	0,89	0,43	0,33	3,30	0,90	0,30
0,84	1,20	0,94	0,79	0,46	2,30	0,89	0,41	0,33	3,40	0,90	0,29
0,78	1,30	0,92	0,72	0,44	2,40	0,89	0,39	0,32	3,50	0,90	0,29
0,72	1,40	0,91	0,66	0,43	2,50	0,89	0,38	0,31	3,60	0,90	0,28
0,68	1,50	0,90	0,61	0,41	2,60	0,89	0,37	0,30	3,70	0,90	0,27
0,64	1,60	0,90	0,57	0,40	2,70	0,89	0,35	0,29	3,80	0,90	0,27
0,61	1,70	0,89	0,54	0,390	2,80	0,89	0,34	0,29	3,90	0,91	0,26
0,58	1,80	0,89	0,51	0,38	2,90	0,89	0,34	0,28	4,00	0,91	0,25

Таблица 4

Интегральная функция (функция распределения)  $F_T\left(\frac{I_{ki} - C}{a}\right)$

закона Вейбулла

$\frac{I_{ki} - C}{a}$	b										
	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
0,1	0,12	0,10	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01
0,2	0,21	0,18	0,16	0,14	0,12	0,10	0,09	0,07	0,06	0,05	0,05
0,3	0,29	0,26	0,23	0,21	0,19	0,17	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10
0,4	0,35	0,33	0,31	0,28	0,26	0,24	0,22	0,21	0,19	0,18	0,16
0,5	0,41	0,39	0,37	0,35	0,33	0,32	0,30	0,28	0,27	0,25	0,24
0,6	0,47	0,45	0,43	0,42	0,40	0,39	0,37	0,36	0,34	0,33	0,32
0,7	0,52	0,50	0,49	0,48	0,47	0,46	0,44	0,43	0,43	0,41	0,40
0,8	0,56	0,55	0,54	0,54	0,53	0,52	0,51	0,50	0,50	0,49	0,48
0,9	0,60	0,59	0,59	0,59	0,58	0,58	0,57	0,57	0,57	0,56	0,56
1,0	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,60	0,63	0,63
1,1	0,66	0,67	0,67	0,67	0,68	0,68	0,68	0,69	0,69	0,70	0,70
1,2	0,69	0,70	0,71	0,71	0,72	0,73	0,73	0,74	0,74	0,75	0,76
1,3	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,76	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81
1,4	0,74	0,75	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85
1,5	0,76	0,78	0,79	0,80	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,89
1,6	0,78	0,80	0,81	0,83	0,84	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91
1,7	0,80	0,82	0,83	0,85	0,86	0,88	0,89	0,90	0,92	0,93	0,94
1,8	0,82	0,84	0,85	0,87	0,88	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95
1,9	0,83	0,85	0,87	0,89	0,90	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97
2,0	0,85	0,87	0,88	0,90	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98
2,1	0,86	0,88	0,90	0,91	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98
2,2	0,87	0,89	0,91	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99

2,3	0,88	0,90	0,92	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99
2,4	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	1,00
2,5	0,90	0,92	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00
2,6	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00
2,7	0,91	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00
2,8	0,92	0,94	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00
2,9	0,93	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
3,0	0,93	0,95	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
3,5	0,95	0,96	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
4,0	0,97	0,98	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

$\frac{H_{ki} - C}{a}$	b										
	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	
0,1	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,2	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
0,3	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03
0,4	0,15	0,14	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07	0,07
0,5	0,22	0,21	0,20	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,13
0,6	0,30	0,29	0,28	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20	0,20
0,7	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,30	0,30
0,8	0,47	0,47	0,46	0,45	0,44	0,44	0,43	0,42	0,41	0,41	0,41
0,9	0,56	0,55	0,55	0,54	0,54	0,54	0,53	0,53	0,53	0,52	0,52
1,0	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
1,1	0,70	0,71	0,71	0,71	0,72	0,72	0,72	0,73	0,73	0,73	0,73
1,2	0,76	0,77	0,78	0,78	0,79	0,79	0,80	0,81	0,81	0,81	0,82
1,3	0,82	0,82	0,83	0,84	0,85	0,85	0,86	0,87	0,88	0,88	0,88
1,4	0,86	0,87	0,88	0,89	0,89	0,90	0,91	0,92	0,92	0,92	0,93
1,5	0,90	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,94	0,95	0,96	0,96	0,96
1,6	0,92	0,93	0,94	0,95	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98
1,7	0,94	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99
1,8	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00
1,9	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2,0	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2,1	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2,2	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2,3	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2,4	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

$\frac{H_{ki} - C}{a}$	b										
	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0
0,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,2	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,3	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
0,4	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
0,5	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06
0,6	0,19	0,19	0,18	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12
0,7	0,29	0,28	0,27	0,27	0,26	0,25	0,24	0,23	0,23	0,22	0,21

0,8	0,40	0,39	0,39	0,38	0,37	0,37	0,36	0,35	0,35	0,34	0,34
0,9	0,52	0,51	0,51	0,51	0,50	0,50	0,50	0,49	0,49	0,48	0,48
1,0	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
1,1	0,74	0,74	0,74	0,75	0,75	0,75	0,76	0,76	0,76	0,77	0,77
1,2	0,82	0,83	0,83	0,84	0,84	0,85	0,85	0,86	0,86	0,87	0,87
1,3	0,89	0,90	0,90	0,91	0,91	0,92	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94
1,4	0,94	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98
1,5	0,97	0,97	0,97	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99
1,6	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00
1,7	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,8	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,9	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2,0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Таблица 5

Критерий Колмогорова  $P(\lambda)$

$\lambda$	$P(\lambda)$	$\lambda$	$P(\lambda)$	$\lambda$	$P(\lambda)$
0,0	1,000	0,7	0,711	1,4	0,04
0,1	1,030	0,8	0,544	1,5	0,022
0,2	1,000	0,9	0,393	1,6	0,12
0,3	1,000	1,0	0,270	1,7	0,006
0,4	0,997	1,1	0,178	1,8	0,003
0,5	0,967	1,2	0,112	1,9	0,002
0,6	0,864	1,3	0,068	2,0	0,001

Таблица 6

Коэффициенты  $t_\alpha$ ,  $r_1$  и  $r_3$  для двусторонних доверительных границ

$\alpha$	$\alpha=0,80$			$\alpha=0,90$			$\alpha=0,95$		
	$t_\alpha$	$r_1$	$r_3$	$t_\alpha$	$r_1$	$r_3$	$t_\alpha$	$r_1$	$r_3$
10	1,38	1,61	0,70	1,83	1,83	0,64	2,26	2,09	0,59
15	1,35	1,46	0,74	1,76	1,62	0,68	2,15	1,79	0,64
20	1,33	1,37	0,77	1,73	1,51	0,72	2,09	1,64	0,67
25	1,32	1,33	0,79	1,71	1,44	0,74	2,06	1,55	0,70
30	1,31	1,29	0,80	1,70	1,39	0,76	2,04	1,48	0,72
40	1,30	1,24	0,83	1,68	1,32	0,78	2,02	1,40	0,75
50	1,30	1,21	0,84	1,68	1,28	0,80	2,01	1,35	0,77

Составители: Е.М. Зубрилина, В.П. Димитров, И.А. Маркво

ОДНОФАКТОРНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ.  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ СЕМЯН  
ПРАКТИКУМ

---

Подписано в печать 30.08.2021

Объем 1,4 усл. п.л., Офсет. Формат 60×84/16.

. Бумага тип №3. Заказ № 5/09 Тираж 100 экз. Цена свободная

---

ООО «ДГТУ-ПРИНТ»

Адрес полиграфического предприятия:  
344000, Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1