

МЕТОДИКА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛЕСОКУЛЬТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ППП МАТНСАД

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент **С.Н. Кружилин**

преподаватель первой категории, доцент **Е.В. Барышникова**

аспирант **М.П. Мишенина**

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова –

филиал ФГБОУ ВО «Донской государственной аграрный университет»

г. Новочеркасск, Российская Федерация

Одним из показателей добротности научных исследований является наличие статистической обработки результатов исследований, полученных в результате закладки пробных площадей в лесокультурном производстве, а первостепенной задачей для исследователя (инженера лесного хозяйства) является доказательство факта достоверности полученных результатов. Большие возможности статистических расчётов для исследователей открываются при помощи пакета прикладных программ MathCAD (ППП MathCAD). Цель работы – детальное описание и представление математико-статистической обработки данных инвентаризации, полученных в результате закладки пробной площади и проведённого подеревного обмера деревьев клёна остролистного (*Acer platanoides* L.) вдоль автомобильной трассы Шахтинского шоссе, трасса 60Н-248. Методология исследования состоит в том, что с использованием ППП MathCAD на конкретных примерах пошагово представлены действия и расчёты для получения основных статистических показателей, был обработан таксационный показатель диаметра на высоте 1,3 м деревьев клёна остролистного (*Acer platanoides* L.). Главные результаты исследования: выборочная средняя диаметра 27,1 см; изменчивость диаметра характеризуется такими показателями, как среднеквадратическое отклонение 9,6 см и коэффициент вариации 35,3 %, которые говорят о значительной изменчивости изучаемого признака, оценка достоверности приводит к выводу о надёжности выборочной средней, среднего квадратического отклонения, коэффициента вариации, асимметрии на 5 %-м уровне значимости. Главные выводы исследования состоят в том, что ППП MathCAD позволяет оперировать большим числом данных, быстро и с достаточной точностью обрабатывать и сравнивать результаты измерений, полученных при подеревной инвентаризации в лесном хозяйстве.

Ключевые слова: математико-статистическая обработка, лесокультурные исследования, статистическая обработка данных, достоверность результатов исследований, пакет прикладных программ MathCAD (ППП MathCAD).

METHODOLOGY FOR STATISTICAL PROCESSING OF THE SYLVICULTURAL RESEARCH RESULTS USING MATHCAD APPLICATION PACKAGE

PhD (Agriculture), Associate Professor **S.N. Kruzhilin**

Lecturer of the first category, associate professor **E.V. Baryshnikova**

Post-graduate student **M.P. Mishenina**

Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A.K. Kortunova – a branch of

Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

Abstract

One of the quality indicators of scientific research is the availability of statistical processing of research results obtained as a result of laying test plots in forestry production. The primary task for a researcher (forestry engineer) is to prove the reliability of the results. Great opportunities for statistical calculations for researchers are opened using the MathCAD application package (MathCAD AP). The purpose of the work is a detailed description and presentation of the mathematical and statistical processing of inventory data obtained as a result of laying the test plot and measuring trees of the Norway maple (*Acer platanoides* L.) along the Shakhtinsky highway, highway 60N-248. The research me-

thodology consists in the fact that, using the MathCAD AP, specific examples provide step-by-step actions and calculations to obtain the main statistical indicators. A taxation indicator of the diameter at a height of 1.3 m of the maple trees (*Acer platanoides* L.) has been processed. The main results of the study are: a sample average diameter is 27.1 cm; the variability of the diameter is characterized by such indicators as a standard deviation of 9.6 cm and a coefficient of variation of 35.3 %. They indicate significant variability of the studied trait. The reliability assessment leads to the conclusion that the reliability of the sample average, standard deviation, coefficient of variation, and asymmetry keeps at 5 % level of significance. The main findings of the study show that the MathCAD AP enables to operate with a large number of data, to process them quickly and with sufficient accuracy, and compare the results of the obtained measurements during complete enumeration in forestry.

Keywords: mathematical and statistical processing, silvicultural research, statistical data processing, reliability of research results, MathCAD application package (MathCAD AP)

Введение

Основные области исследований в соответствии с паспортом специальности 06.03.01 «Лесные культуры, селекция, семеноводство» – это изучение плодоношения, лесоводственно-таксационная оценка чистых и смешанных искусственных насаждений (закладка пробных площадей, на которых определяются основные параметры, например, высота и диаметры деревьев, освещенность под пологом насаждения, текущие приросты), применение удобрений в питомниках и на лесокультурных площадях, а также другие вопросы [3, 13].

Одним из показателей добротности научных исследований является наличие статистической обработки данных (результатов исследований), полученных в результате закладки пробных площадей, а первостепенной задачей для исследователя является доказательство факта достоверности полученных результатов. Зачастую исследователи, проводя эксперимент, видят показатели, которые на первый взгляд предвещают значимые выводы [10, 19]. Например, С.Н. Кружилин при проведении статистической обработки заметил, что высота дуба черешчатого в лесных культурах Нижнего Дона, созданных с применением разных типов смещения, в условиях сухих дубрав разнотравно-злаковой степи является недостоверной, хотя на первый взгляд она заметно больше чем у дуба, произрастающего в сухой степи [10].

В книге «Энциклопедия археологии» (Дебора М. Пирсолл, 2008) описываются способы, позволяющие избежать неправильного толкования статистических данных, включающие в себя использо-

вание надлежащей схемы и исключение предвзятости при проведении исследований [17].

Неправильное использование статистических данных может быть как случайным, так и преднамеренным, Д.Хафф (1954) в своей книге «Как лгать при помощи статистики» излагает ряд соображений по поводу использования и неправильного применения статистических данных. В статье «Статистические методы, используемые в журналах по высшему образованию с 2006 по 2010 годы» (Р. Варн, М. Лазо, Т. Рамос и Н. Риттер, 2012) [18] анализу подлежат статьи из различных журналов, проводится обзор статистических методов, используемых в определённых областях науки, в итоге авторы приходят к выводу, что статистические данные должны быть достоверны, а не выглядеть идеально.

Основными авторами, доступно охарактеризовавшими методики математико-статистической обработки материалов применительно к лесохозяйственным исследованиям, являются: Митропольский А.К., 1971 [12]; Зайцев Г.Н., 1984 [5]; Доспехов Б.А. [3]; Ивонин В.М., Пеньковский Н.Д., 2003 [6], Колмогоров А.Н., 2005 («Избранные труды. В 6 т. Т. 2. Теория вероятностей и математическая статистика»); Барышникова Е.В., 2010 [1]; Танюкевич В.В., 2004, 2011 [14]; Хуснутдинов Р.Ш., 2014 («Сборник задач по теории вероятности и математической статистике. Учебное пособие»), Гмурман В.Е., 2003, 2017 [2]. Например, Б.А. Доспеховым даны основы статистической обработки результатов исследований и техника математической обработки данных наблюдений, однофакторных и многофакторных полевых и вегетационных опытов [3].

В.М. Ивониным и Н.Д. Пеньковским показано вычисление основных параметров статистического ряда [6]. В.Е. Гмурман большое внимание уделил статистическим методам обработки экспериментальных данных [2].

К сожалению, авторы не дают конкретных рекомендаций по программному обеспечению, способному с максимальной точностью обработать результаты лесокультурных исследований, поэтому остаются нераскрытыми вопросы, в какой программе всё-таки рассчитать и сравнить результаты, полученные при полевой инвентаризации. Нами сделана попытка с помощью пакета прикладных программ MathCAD (далее по тексту – ППП MathCAD) на конкретных примерах пошагово представить действия и расчёты для получения основных статистических показателей применительно к лесокультурным исследованиям, в чём и состоит научная новизна представленной работы.

Материалы и методы исследования

Во многих диссертационных работах в разделе «Методика проведения исследований» встречаются записи: результаты полученных измерений подвергались математической обработке на персональном компьютере с использованием пакетов прикладных программ «Statgraphics», «Biostat», «Microsoft Excel» [11]; математико-статистическая обработка материалов производилась с помощью программ STATGRAPHICS и Excel для среды MS Windows [8]; для оценки достаточности количества наблюдений и достоверности полученных результатов проводилась математическая обработка, рассчитывали: $M \pm m_m$, коэффициент вариации ($\pm C$, %), точность опыта ($\pm P$, %) [10]. Такие общие характеристики на фоне детализации других специализированных методик говорят о том, что у исследователей не возникает проблем с математико-статистической обработкой материалов, что статистика выполнена «общепринятыми в математике методами». Важным моментом для исследователя является понимание полученных параметров статистических показателей, умение пользоваться ими и анализировать их. Главными недостатками, которые представляются очевидными, при обработке полевых исследований являются: анализ большого объёма обрабатываемой информации, который требует

значительных временных затрат; также при обработке данных с помощью математических методов возрастает вероятность возникновения ошибки, на устранение которой потребуется дополнительное время. Все вышеуказанные трудности имеют место при обработке данных, полученных в результате закладки пробной площади и полевой инвентаризации, и в этой связи представляется необходимой автоматизация процесса. Отсюда и применение специализированных программ и интернет-сайтов, в которых гораздо проще провести расчёт статистики. Большие возможности статистических расчётов для исследователей открываются при помощи пакета прикладных программ MathCAD (ППП MathCAD). MathCAD – это уникальный математический пакет для работы с уравнениями, числами, текстом и графиками [9]. При этом важно отметить, что все вычисления в ППП MathCAD производятся автоматически, т.е. изменив исходные данные, мы мгновенно получаем вычисленные показатели для введённой выборки. Формулы в ППП MathCAD, в отличие от, например, программы для работы с электронными таблицами Microsoft Excel, выглядят так же, как и в учебнике по статистической обработке, что позволяет вставлять фрагменты формул, графиков и вычислений (расчётов), созданных в ППП MathCAD, в текстовый редактор Microsoft Word.

В данной работе использованы методики: полевой инвентаризации, пробные площади заложены с учётом ОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесоустроительные. Методы закладки»; ГОСТ 16483.6-80 (СТ СЭВ 1141-78) [3], а также различные статистические методы (аналитических группировок, индексный и структурный анализы) [5].

Целью представленной работы является детальное описание и представление математико-статистической обработки данных, полученных в результате закладки пробной площади и полевой инвентаризации в г. Новочеркасске, с использованием ППП MathCAD [1, 9], применительно к таксационному показателю – диаметр на высоте 1,3 м ($d_{1,3}$, см).

Для выполнения поставленной цели работы нам необходимо было выполнить следующие задачи с использованием ППП MathCAD:

а) записать данные, полученные в результате полевого обследования деревьев в ППП MathCAD;

б) провести первичную обработку данных наблюдения (диаметра) и построить статистическое распределение выборки с помощью встроенных функций ППП MathCAD;

в) построить полигон и гистограмму теоретической кривой нормального распределения диаметра клёна остролистного (*Acer platanoides* L.) на высоте 1,3 м. Выдвинуть гипотезу о законе распределения исследуемой случайной величины по виду гистограммы (или полигона);

г) вычислить основные статистические показатели, такие как выборочная средняя, выборочная дисперсия, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации, асимметрия и эксцесс с помощью ППП MathCAD;

д) найти ошибки полученных показателей и относительную ошибку выборочной средней. Пользуясь критерием Стьюдента, определить достоверность статистических показателей для 5%-го уровня значимости;

е) при уровне значимости $\alpha = 0,05$ проверить по критерию Пирсона гипотезу о нормальном распределении генеральной совокупности;

ж) вычислить доверительные интервалы для генерального среднего, для коэффициента вариации и среднего квадратического отклонения в генеральной совокупности;

з) провести анализ результатов полученных данных с использованием ППП MathCAD математико-статистической обработки результатов лесокультурных исследований.

В соответствии с методикой исследования [3] полевой обмер деревьев был проведён 9 и 10 октября 2017 года. Объектом исследований являлись деревья тополя пирамидального (*Populus pyramidalis* L.) [16] и клёна остролистного (*Acer platanoides* L.) [16], произрастающие по обеим сторонам Шахтинского шоссе, трасса 60Н-248. Исследуемая территория ограничена северным выездом из г. Новочеркасск и южным въездом п. Персиановский Октябрьского района Ростовской области, протяжённость участка составляет 1,54 км.

Рядовая посадка тополя с примесью деревьев клёна располагается в западной части от автомагистрали, а посадка клёна – на противоположной стороне от автомагистрали, в восточной части (рис. 1).

На рис. 2 показаны тополь пирамидальный и клён остролистный на объекте исследований, произрастающие деревья выполняют функцию придорожных насаждений. Насаждения, которые формируют придорожную полосу, имеют возраст 60-65 лет.

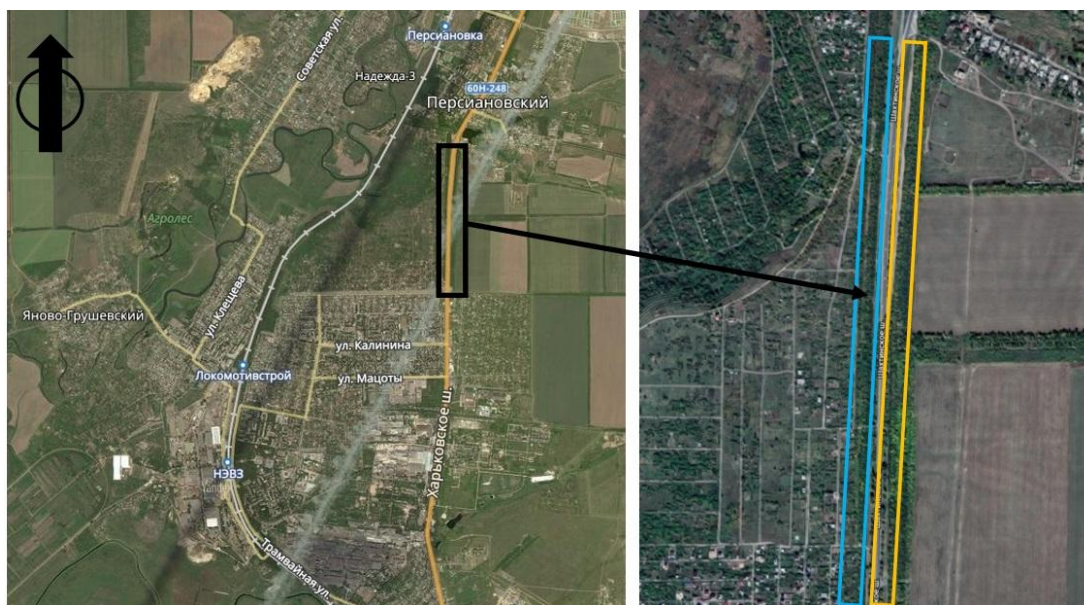
На пробной площади при подеревной инвентаризации были проведены измерения высоты деревьев (h , м), диаметра на высоте 1,3 м ($d_{1,3}$, см); присвоение категории состояния каждому дереву. Полученные данные записывали в инвентаризационную ведомость [3].

Все этапы математико-статистической обработки результатов, полученных при инвентаризации, расчёт основных статистических показателей и их оценка проведены с использованием ППП MathCAD [1, 3] применительно к таксационному показателю (диаметр на высоте 1,3 м) деревьев клёна остролистного.

Необходимые для расчётов в ППП MathCAD данные отражены в табл. 1.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализируя табл. 1, видим, что выборочная совокупность является большой выборкой, так как содержит результаты 100 наблюдений (измерений), среди значений также встречаются повторяющиеся варианты. Полученные экспериментальные данные необходимо обработать интервальным методом.



- придорожная рядовая посадка тополя пирамидального;
- придорожная рядовая посадка клёна остролистного

Рис. 1. Ситуационная схема месторасположения объекта исследований [6]



А) тополь пирамидальный

Б) клён остролистный

Рис. 2. Исследуемые рядовые посадки насаждений вдоль Шахтинского шоссе

Таблица 1

Данные измерения диаметра клёна остролистного (*Acer platanoides* L.) на высоте 1,3 м ($d_{1,3}$, см)

51,8	39,0	30,4	43,9	27,1	22,9	23,9	26,8	17,2	11,1
22,8	22,3	34,4	16,2	43,0	19,1	22,6	21,7	26,1	16,6
39,5	29,6	39,5	32,8	30,9	43,0	17,8	22,0	13,1	20,4
36,9	19,4	45,5	32,5	32,5	15,9	17,8	20,4	8,9	22,6
41,2	25,8	37,3	43,6	22,0	14,6	21,0	22,0	15,6	21,0
39,2	26,4	47,8	23,2	33,8	13,7	42,4	22,3	31,1	10,2
28,0	35,7	29,6	35,7	34,2	24,5	44,9	15,3	12,1	22,9
21,3	34,1	24,2	41,7	22,3	30,3	32,5	17,2	36,3	26,4
21,3	32,5	28,7	32,5	27,1	34,7	20,4	32,5	21,0	18,8
43,6	23,6	23,9	16,9	27,4	22,3	23,2	22,5	15,0	13,1

а) Все данные по диаметру надо разбить на k интервалов одинаковой длины, это необходимо для выполнения сводки данных наблюдения за измерением деревьев по диаметру. По приближенной формуле Стерджесса определяем число интервалов

$$k \approx 1 + 3.322 \cdot \lg n, \quad (1)$$

где n – объём выборки. Число интервалов округляем до целого числа.

$$k \approx 1 + 3.322 \cdot \lg 100 \approx 8$$

Длина интервала

$$\Delta = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{k}, \quad (2)$$

где x_{\max} – наибольший элемент выборки;

x_{\min} – наименьший элемент выборки.

Вычислим длину интервала

$$x_{\max} = 51,8, \quad x_{\min} = 8,9 \text{ (см).}$$

$$\Delta = \frac{51,8 - 8,9}{8} = 4,89 \approx 5,4 \text{ (см)}$$

Границы интервалов можно рассчитать по следующей формуле:

$$x_{i+1} = x_i + \Delta, \quad (i = 0, 1, 2, \dots, k-1), \quad x_0 = x_{\min}. \quad (3)$$

б) Сводку данных наблюдений выполняем с помощью ППП MathCAD. Интервальный ряд распределения частот, полученный по сводке данных наблюдения, представлен в виде табл. 2. Ряд распределения (статистический ряд распределения частот), содержащий значения вариант, представляющих собой величины середин каждого интервала, и соответствующих им частот представлен в табл. 3 и в табл. 4 – ряд распределения относительных частот.

в) Для построения гистограммы относительных частот необходимо знать длины интервалов $\Delta x_i = \Delta$ (основания прямоугольников) и высоты $h_i = \frac{P_i^*}{\Delta}$ (плотность относительной частоты), ряд распределения плотности относительной частоты представлен в табл. 5. На рис. 3 представлена гистограмма относительных частот.

Таблица 2

Интервальный ряд распределения частот

Интервалы	8,9–14,3	14,3–19,7	19,7–25,1	25,1–30,5	30,5–35,9	35,9–41,3	41,3–46,7	46,7–52,1
Частота	7	15	29	14	16	8	9	2

Таблица 3

Статистический ряд распределения частот

Значение \tilde{x}_i	11.6	17	22.4	27.8	33.2	38.6	44	49.4
Частота n_i	7	15	29	14	16	8	9	2

Таблица 4

Ряд распределения относительных частот

Значение \tilde{x}_i	11.6	17	22.4	27.8	33.2	38.6	44	49.4
Относительная частота $P_i^* = \frac{n_i}{n}$	0.07	0.15	0.29	0.14	0.16	0.08	0.09	0.02

Таблица 5

Ряд распределения плотности относительной частоты

Значение \tilde{x}_i	11.6	17	22.4	27.8	33.2	38.6	44	49.4
Плотность $h_i = \frac{P_i^*}{\Delta}$	0.013	0.028	0.054	0.026	0.03	0.015	0.017	0.0037

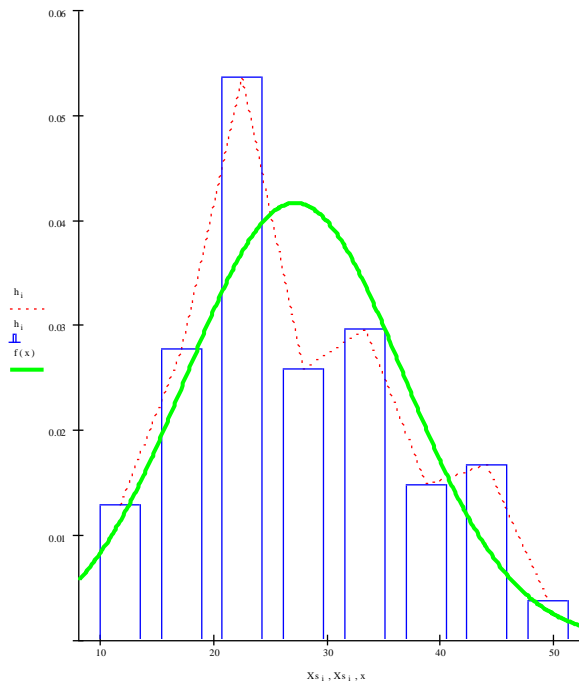


Рис. 3. Полигон и гистограмма относительных частот. Теоретическая кривая нормального распределения диаметров клёна остролистного (*Acer platanoides* L.) на высоте 1,3 м

Соединяя середины верхних сторон прямоугольников отрезками прямых линий, получаем полигон относительных частот (ломаная линия). По виду гистограммы (полигона) рис. 3 выдвигаем гипотезу о нормальном распределении признака X – измерение диаметров клёна остролистного (*Acer platanoides* L.) на высоте 1,3 м ($d_{1,3}$, см).

г) Основные статистические показатели вычислим с помощью ППП MathCAD.

а) выборочная средняя:

$$X_b = \frac{\sum_{i=1}^k X_{s_i} \cdot N_i}{n} \quad X_b = 27.098$$

б) выборочная дисперсия:

$$D_b = \frac{\sum_{i=1}^k (X_{s_i} - X_b)^2 \cdot N_i}{n - 1} \quad D_b = 91.695$$

в) среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma = \sqrt{D_b} \quad \sigma = 9.576$$

г) коэффициент вариации в %:

$$V = \left(\frac{\sigma}{X_b} \right) \cdot 100 \quad V = 35.337$$

д) асимметрия:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^k (X_{s_i} - X_b)^3 \cdot N_i}{n \cdot \sigma^3} \quad A = 0.421$$

е) эксцесс:

$$E = \left[\frac{\sum_{i=1}^k (X_{s_i} - X_b)^4 \cdot N_i}{n \cdot \sigma^4} \right] - 3 \quad E = -0.662$$

Так как $V = 35,3\% > 20\%$, следовательно, изменчивость данного признака (диаметра клёна) является значительной. Так как $A > 0$, то асимметрия

левосторонняя, потому что вершина полигона сдвинута влево относительно вершины кривой нормального распределения (пунктирная линия на рис. 3). Эксцесс $E < 0$, это говорит о том, что линия распределения вариант данного ряда проходит ниже кривой нормального распределения.

д) Далее вычислим ошибки среднего выборочного значения, среднего квадратичного отклонения, коэффициентов вариации (%), асимметрии и эксцесса:

$$m\sigma = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad m\sigma = 0.958$$

$$m\sigma = 0.71 \cdot m\sigma \quad m\sigma = 0.68$$

$$mv = \left(\frac{v}{\sqrt{h}} \right) \cdot \sqrt{0.5 + \left(\frac{v}{100} \right)^2} \quad mv = 2.793$$

$$ma = \sqrt{\frac{6}{n}} \quad ma = 0.245$$

$$me = 2 \cdot ma \quad me = 0.49$$

Путём вычисления отношения величины рассматриваемого показателя к его ошибке рассчитывается оценка достоверности показателей:

$$t = \frac{X_b}{m\sigma} \quad t = 28.299$$

$$t = \frac{\sigma}{m\sigma} \quad t = 14.085$$

$$t = \frac{v}{mv} \quad t = 12.65$$

$$t = \frac{A}{ma} \quad t = 1.718$$

$$t = \frac{E}{me} \quad t = -1.352$$

Полученные показатели достоверности сравниваем со стандартной величиной критерия Стьюдента $t(k, \alpha)$, при числе степеней свободы $k = n - 1 = 100 - 1 = 99 (n = 100)$ и уровне значимости $\alpha = 0,05$, $t(99; 0,05) = 1,66$. Если значения показателей достоверности для выборочной средней, среднего квадратичного отклонения, коэффициента вариации и асимметрии больше, чем $t(99; 0,05) = 1,66$, то перечисленные статистические показатели достоверны на 5 %-м уровне зна-

чимости. Если значение показателя достоверности для эксцесса меньше, чем $t(99; 0,05) = 1,66$, следовательно, эксцесс недостоверен на 5 %-м уровне значимости, что видно и на рис. 3.

е) По критерию Пирсона (при заданном уровне значимости $\alpha = 0,05$) проверим гипотезу о нормальном распределении генеральной совокупности. Для этого необходимо найти теоретические частоты n_i' с помощью формулы плотности нормального распределения

$$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}}, \quad (4)$$

где \bar{x}_g – выборочное среднее, σ – среднее квадратическое отклонение.

Тогда

$$n_i' = n \cdot \Delta \cdot f(x). \quad (5)$$

Затем с помощью критерия Пирсона сравним эмпирические (n_i) и теоретические (n_i') частоты:

$$\chi_r = \sum_{i=1}^k \frac{(N_i - M_i)^2}{M_i} \quad \chi_r = 12.862$$

По таблице критических точек распределения χ^2 с заданным уровнем значимости $\alpha = 0,05$ и числом степеней свободы $k = s - 3 = 8 - 3 = 5$ находим критическую точку правосторонней критической области $\chi_{кр}^2(0,05; 5) = 11,07$. Так как $\chi_{факт}^2 > \chi_{кр}^2$, то гипотезу о нормальном распределении генеральной совокупности отвергаем.

Аналогично с помощью данной программы можно провести статистическую обработку и других данных с пробной площади из инвентаризационной ведомости (высоты деревьев (h , м), диаметра на высоте 1,3 м ($d_{1,3}$, см); категории состояния) и сравнить, например, коэффициенты вариации, характеризующие изменчивость диаметров и высоты клёна остролистного и тополя пирамидального.

Проведённые исследования (расчёты) с использованием ППП MathCAD позволяют вывести следующие результаты, дать практические рекомендации и выводы.

Результаты анализа данной выборки диаметров клёна остролистного (*Acer platanoides* L.) на высоте 1,3 м:

$$\overline{X_e} \pm m_{\overline{X_e}} = 27,1 \pm 0,96$$

$$\overline{\sigma} \pm m_{\overline{\sigma}} = 9,6 \pm 0,68$$

$$V \pm m_V = 35,3 \pm 2,8\%$$

$$A \pm m_A = 0,42 \pm 0,25$$

$$E \pm m_E = -0,66 \pm 0,49$$

– выборочная средняя измерений деревьев по диаметру составляет 27,1 см;

– изменчивость диаметра клёна остролистного характеризуется средним квадратическим отклонением, которое для выборочной совокупности составляет $\overline{\sigma} = 9,6$ см, коэффициент вариации равен 35,3 %, что говорит о значительной изменчивости деревьев по диаметру и подтверждается опытными данными. Проанализировав интервальный ряд распределения выборки, видим, что для улучшения полученных результатов можно отбросить нехарактерные данные, т.е. последний интервал (табл. 2) объединить с предпоследними, что позволит уменьшить среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации. Диаметр у деревьев клёна, посаженных в один вегетационный период, сильно варьируется, возможно, это связано с климатическими условиями, приживаемостью деревьев и другими факторами, которые влияют на рост и развитие насаждений;

– оценка достоверности основных статистических показателей приводит к выводу о надёжности выборочной средней, среднего квадратического отклонения, коэффициента вариации и асим-

метрии на 5 %-м уровне значимости. В то же время такой показатель, как эксцесс, характеризующий крутость эмпирической кривой, недостоверен, что позволяет считать его практически отсутствующим;

– на основании проверки критерия согласия Пирсона мы приходим к выводу о том, что измерения деревьев по диаметру нельзя считать распределёнными по нормальному закону. Это можно объяснить недостаточным объёмом выборки и наличием нехарактерных показателей.

Главные выводы проделанной работы с использованием ППП MathCAD состоят в том, что были показаны последовательные и подробные этапы математической обработки результатов лесокультурных исследований, расчёт основных статистических показателей (выборочная средняя измерений деревьев по диаметру, выборочная дисперсия, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации и асимметрии на 5 %-м уровне значимости) и их оценка (оценка достоверности основных статистических показателей). ППП MathCAD позволяет оперировать большим числом данных, быстро и с достаточной точностью обрабатывать и сравнивать результаты измерений, полученных при подеревной инвентаризации в лесном хозяйстве, поэтому данную программу можно внедрять в производство, в работе на конкретных примерах пошагово представили действия и расчёты для получения основных статистических показателей применительно к лесокультурным исследованиям.

Библиографический список

1. Барышникова, Е. В. Математика. Математическая статистика : метод. указания к выполнению расчётно-графической работы для студентов всех специальностей / Е. В. Барышникова. – Новочеркасск, 2010. – 61 с.
2. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учеб. пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – 9-е изд., стер. – Москва : Высш. шк., 2003. – 479 с.
3. ГОСТ 16483.6-80 (СТ СЭВ 1141-78). Древесина. Метод отбора модельных деревьев и краёв для определения физико-механических свойств древесины насаждений : издание официальное : дата введения 1981.01.01. – Москва : Стандартиформ, 2005. – 6 с.
4. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 5-е изд., доп. и перераб. – Москва : Агропромиздат, 1985. – 351 с.

5. Зайцев, Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике / Г. Н. Зайцев. – Москва : Наука, 1984. – 424 с.
6. Ивонин, В. М. Лесомелиорация ландшафтов. Научные исследования / В. М. Ивонин, Н. Д. Пеньковский. – Ростов-на-Дону, 2003. – 152 с.
7. Карта г. Новочеркаска (Шахтинское шоссе). – URL: <https://www.google.com/maps/@47.5039335,40.1025466,1514m/data=!3m1!1e3?hl=ru-RU> (дата обращения: 05.09.2019).
8. Кох, Е. В. Вертикальная структура фитомассы в сосняках искусственного происхождения : специальность 06.03.02 «Лесоведение, лесоводство, лесоустройство и лесная таксация» : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Кох Елена Викторовна. – Екатеринбург, 2013. – 24 с.
9. Кочегурова, Е. А. Основы работы и программирования в системе MathCAD : учеб. пособие / Е. А. Кочегурова. – Томск, 2012. – 25 с.
10. Кружилин, С. Н. Рост дуба черешчатого в лесных культурах, созданных с применением разных типов смешения в условиях Нижнего Дона : специальность 06.03.01 «Лесные культуры, селекция, семеноводство» : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Кружилин Сергей Николаевич. – Брянск, 2008. – 25 с.
11. Медведева, Е. Ю. Биолого-экологические особенности роста и размножения гибридных тополей в городе Екатеринбурге : специальность 06.03.03 «Агрлесомелиорация и защитное лесоразведение, озеленение населенных пунктов, лесные пожары и борьба с ними» : дис. ... канд. с.-х. наук: защищена 07.10.2015 / Медведева Елена Юрьевна. – Екатеринбург, 2015. – 210 с. – Библиогр.: с. 166-187.
12. Митропольский, А. К. Техника статистических вычислений / А. К. Митропольский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Наука, 1971. – 576 с. – (Физико-математическая библиотека инженера)
13. Приказ Министерства образования и науки Российской Федерации № 1027 от 23 октября 2017 года (ред. от 23.03.2018) «Об утверждении номенклатуры специальностей, по которым присуждаются ученые степени» // Информационно-правовой портал ГАРАНТ.РУ. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71714408/>.
14. Танюкевич, В. В. Эколого-мелиоративное состояние осокорников в условиях загрязнения Доно-Аксайской поймы : специальность 03.00.16 «Экология» : дис. ... канд. с.-х. наук: защищена 10.12.2004 / Танюкевич Вадим Викторович. – Новочеркасск, 2004. – 225 с. – Библиогр.: с. 182-201.
15. Knibbeler, V. Higher-Dimensional Automorphic Lie Algebras Lombardo / V. Knibbeler, S. Lombardo, Jan A. Sanders // The Journal of the Society for the Foundations of Computational Mathematics. – 2017. – Vol. 17. – No 4. – P. 987–1035. DOI 10.1007/s10208-016-9312-1.
16. McNeill, J. Major changes to the Code of Nomenclature – Melbourne, July 2011 / J. McNeill, N. J. Turland // Taxon. – 2011. – Vol. 60. – No. 4 – P. 1495-1497.
17. Pearsall, D. M. Encyclopedia of Archaeology / D. M. Pearsall. – San Diego, Calif. : Elsevier Academic Press, 2008. – 2382 p.
18. Statistical Methods Used in Gifted Education Journals, 2006-2010 / R. Warne, M. Lazo, T. Ramos, N. Ritter // Gifted Child Quarterly. – 2012. – Vol. 56. – No 3. – P. 134-149. doi: 10.1177/0016986212444122.
19. White, C. Unkind cuts at statisticians / C. White // The American Statistician. – 1964. – Vol. 18. – No. 5. – P. 15–17.

References

1. Baryshnikova E. V. *Matematika. Matematicheskaya statistika* [Mathematics. Mathematical statistics]. Novocherkassk: Novocherkasskaya gos. melior. akad., 2010, 61 p. (in Russian).
2. Gmurman V. E. *Teoriya veroyatnostej I matematicheskaya statistika: ucheb. Posobie dlya vuzov* [Probability theory and mathematical statistics: studies textbook for universities]. Moscow, 2003. 479 p. (in Russian).

3. GOST 16483.6-80 (ST SEV 1141-78). *Drevesina. Metod otbora model'nyh derev'ev I kryazhej dlya opredeleniya fiziko-mekhanicheskikh svojstv drevesiny nasazhdenij* [State Standard 16483.6-80. Wood. Method of selection of model trees and logs for determination of physical and mechanical properties of wood plantations]. – Moscow, Standartinform Publ., 2005. 6 p.
4. Dospekhov B. A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij)* [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow, 1985. 351 p. (in Russian).
5. Zaytsev G. N. *Matematicheskaya statistika v eksperimental'noy botanike* [Mathematical statistics in experimental botany]. Moscow, 1984. 424 p. (in Russian).
6. Ivonin V. M., Pen'kovskij N. D. *Lesomelioratsiya landshaftov. Nauchnye issledovaniya* [Forest reclamation of landscapes. Scientific research]. Rostov-na-Donu, SKNC VSHPubl., 2003. 150 p. (in Russian).
7. Karta g. Novoчеркасска (Shakhtinskoe shosse). URL: <https://www.google.com/maps/@47.5039335,40.1025466,1514m/data=!3m1!1e3?hl=ru-RU> (accessed 22 May 2019).
8. Kokh E. V. *Vertikal'naya struktura fitomassy v sosnyakakh iskusstvennogo proiskhozhdeniya. Avtoreferat* kand. s.-kh. nauk [Vertical structure of phytomass in pine forests of artificial origin. Cand. of Agri. Sci. Abstract]. Ekaterinburg, 2013. 24 p. (in Russian).
9. Kochegurova E. A. *Osnovy raboty I programmirovaniya v sisteme Mathcad* [Basics of work and programming in the Mathcad system]. Tomsk, 2012. 25 p. (in Russian).
10. Kruzhilin S. N. *Rost duba chereshchatogo v lesnykh kul'turakh, sozdannykh s primeneniem raznykh tipov smesheniya v usloviyakh Nizhnego Dona* Avtoreferat kand. s.-kh. nauk [Growth of pedunculate oak in forest cultures, created using different types of mixing in the conditions of the Lower Don. Cand. of Agri. Sci. Abstract]. Bryansk, 2008, 25 p. (in Russian).
11. Medvedeva E. Yu. *Biologo-ekologicheskie osobennosti rosta I razmnozheniya gibridnykh topoley v gorode Ekaterinburge*. Diss. kand. s.-kh. nauk [Biological and ecological features of growth and reproduction of hybrid poplars in Yekaterinburg. Cand. of Agri. Sci. diss]. Ekaterinburg, 2015. 210 p. (in Russian).
12. Mitropol'skiy A. K. *Tekhnika statisticheskikh vychisleniy* [Statistical computing technique]. Moscow, Nauka Publ., 1971. 576 p. (in Russian).
13. *Prikaz Ministerstva obrazovaniya I nauki Rossiyskoy Federatsii № 1027 ot 23 oktyabrya 2017 goda (red. ot 23.03.2018) Ob utverzhdenii nomenklatury spetsial'nostey, po kotorym prisuzhdayutsya uchenye stepeni* [Order of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation No. 1027 of October 23, 2017 (as amended on March 23, 2018) «On approval of the nomenclature of specialties for which scientific degrees are awarded»] URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71714408/> (accessed 22 May 2019).
14. Tanyukevich V. V. *Ekologo-meliorativnoe sostoyanie osokornikov v usloviyakh zagryazneniya Dono-Aksajsko jpojmy*. Diss. kand. s.-kh. nauk [Ecological-reclamation state of Sokolnikov in pollution Dono-Aksay floodplain. Cand. of Agri. Sci. diss]. Novoчеркасска, 2004. 225 p. (in Russian).
15. Knibbeler V., Lombardo S., Sanders Jan A. Higher-Dimensional Automorphic Lie Algebras. The Journal of the Society for the Foundations of Computational Mathematics, 2017, Vol. 17, no. 4, pp. 987–1035. DOI 10.1007/s10208-016-9312-1.
16. McNeill J., Turland N. J. Major changes to the Code of Nomenclature – Melbourne, July 2011. *Taxon*. 2011, Vol. 60, no. 4, pp. 1495–1497.
17. Pearsall D. M. *Encyclopedia of Archaeology* / San Diego, Calif. : Elsevier Academic Press, 2008. 2382 p.
18. Warne R., Lazo M., Ramos T., Ritter N. Statistical Methods Used in Gifted Education Journals, 2006-2010. *Gifted Child Quarterly*. 2012, Vol. 56, no 3. pp. 134–149. doi: 10.1177/0016986212444122.
19. White, C. Unkind cuts at statisticians. *The American Statistician*. 1964, Vol. 18, no. 5. pp. 15–17.

Сведения об авторах

Кружилин Сергей Николаевич – декан лесохозяйственного факультета, доцент кафедры лесных культур и лесопаркового хозяйства Новочеркасского инженерно-мелиоративного института имени А.К. Кортунова – филиала ФГБОУ ВО «Донской государственной аграрной университет», кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, г. Новочеркасск, Российская Федерация; e-mail: ser8915@yandex.ru.

Барышникова Елена Вячеславовна – преподаватель первой категории и доцент кафедры водоснабжения и использования водных ресурсов Новочеркасского инженерно-мелиоративного института имени А.К. Кортунова – филиала ФГБОУ ВО «Донской государственной аграрной университет», доцент, г. Новочеркасск, Российская Федерация; e-mail: barsoft@mail.ru.

Мишенина Марина Петровна – аспирант Новочеркасского инженерно-мелиоративного института имени А.К. Кортунова – филиала ФГБОУ ВО «Донской государственной аграрной университет»; ведущий специалист отдела планировки и застройки Управления архитектуры и градостроительства администрации города Новочеркаска, г. Новочеркасск, Российская Федерация; e-mail: mishenina.marina93@mail.ru.

Information about authors

Kruzhilin Sergey Nikolaevich – Dean of the Faculty of Forestry, Associate Professor Department of Forest Cultures and Forestry Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A. K. Kortunov – a branch of FSBEI HE «The Don State Agrarian University», PhD (Agriculture), Associate Professor, Novocherkassk, Russian Federation, e-mail: ser8915@yandex.ru.

Baryshnikova Elena Vyacheslavovna – Teacher of the Highest Category, Associate Professor Department of Water Supply and Uses of Water Resources Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A.K. Kortunov – a branch of FSBEI HE «The Don State Agrarian University», Associate Professor, Novocherkassk, Russian Federation, e-mail: barsoft@mail.ru.

Mishenina Marina Petrovna – postgraduate student, Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A.K. Kortunov – a branch of FSBEI HE «The Don State Agrarian University», leading specialist of the planning and building Department of the Department of architecture and urban planning of the Novocherkassk city administration, Novocherkassk, Russian Federation, e-mail: mishenina.marina93@mail.ru.