

Статистическое моделирование в задачах исследования умных материалов

Шевкин Д. П. Тлумач П. Д. Энкин Б. С. Панферов А. С.

Научный руководитель: Скуратович Е. Э.

Аннотация

Работа посвящена применению статистических методов для решения задач анализа результатов различных типов испытаний, наблюдений и экспериментов над умными материалами. В статье приводится описание методики и полученные результаты прямых измерений, обосновывается применение к ним статистических методов для получения нормальных распределений, после чего приводятся результаты выполненных расчётов. Анализируется применимость использованных методов для решения задач обработки данных экспериментов, делается вывод о перспективах использования предлагаемого метода в задачах такого типа.

Введение

Анализ результатов экспериментов и наблюдений — обычная задача прикладных научных исследований. Однако частой проблемой при решении таких задач является отсутствие доступных наблюдательных или экспериментальных данных для комплексного анализа с использованием традиционных статистических и математических инструментов (например, гармонического или Фурье-анализа, вейвлет-преобразований и других). Такая ситуация может возникнуть из-за ограниченности наблюдательных или экспериментальных ресурсов, стоимости расходных материалов, технических или организационных сложностей при проведении исследований и ряда других причин.

В данном исследовании предлагается использовать методы статистического моделирования для обработки результатов небольших серий наблюдений и экспериментов. Исследование сосредоточено на экспериментах с интеллектуальными материалами, в частности с полиамидной электропроводящей мононитью AMPERETEX. Целью исследования является применение методов статистического моделирования для исследования умных материалов.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Проведение измерений физико-механических параметров мононити.
2. Преобразование результатов измерений в цифровой формат в соответствии с принятыми стандартами.

3. Использование методов статистического моделирования для получения нормального распределения результатов измерений.

4. Анализ проведенного исследования и формулирование выводов по его результатам.

Постановка задачи

В рамках выполнения настоящей исследовательской работы были использованы несколько лабораторных образцов полиамидной электропроводящей мононити AMPERETEX. Образцы были разделены на отрезки равной длины, в исследовании использовалось десять таких отрезков. Параметры каждого из них были измерены по единой методологии, соответствующей инструкциям и руководствам к следующему оборудованию:

1. Электронный штангенциркуль, нержавеющая сталь, ЗУБР ШЦЦ-I-100-0,01 100мм 34463-100, с пределом допускаемой погрешности 0,01 мм
2. Универсальная разрывная машина Instron 34TM-10, пневматические захваты бокового действия
3. ИШН-10, тераомметр Е6-13А

Испытания и измерения выполнялись в следующих условиях:

1. Измерения диаметра 1 метра нити электронным штангенциркулем с шагом 10 см; температура воздуха 24 ± 2 °С; атмосферное давление 765 мм рт. ст.
2. Измерение механической стойкости нити на разрыв универсальной разрывной машиной. Базовая длина 500 мм; скорость 200 мм/мин; предварительная нагрузка – 0,91Н (из расчета 0,5 сН/текс), температура 24 ± 2 °С; давление 776 мм рт. ст.
3. Измерение механической стойкости нити на разрыв универсальной разрывной машиной. Базовая длина 200 мм; скорость 200 мм/мин; предварительная нагрузка рассчитывалась 0.5 сН/текс; температура 24 ± 2 °С; давление 765 мм рт. ст.
4. Измерение механической стойкости нити на истирание тераомметром. Угол истирания 90°, скорость 50 об/мин, нагрузка 20г, температура 24 ± 2 °С; атм. давл. 765 мм рт. ст., расстояние между электродами 30 мм (место истирания)

Результаты измерений

Каждый тип измерения проводился серией из 10 измерений, результаты которых записывались в файлы формата JSON, который является общепринятым для современных научных исследований в различных областях. Полученные данные были импортированы из файлов в небольшой обработчик, написанный на языке программирования Python. Результаты измерений представлены в виде графиков, отражающих распределение измеряемых величин по номерам измерений в серии (рис. 1-4):

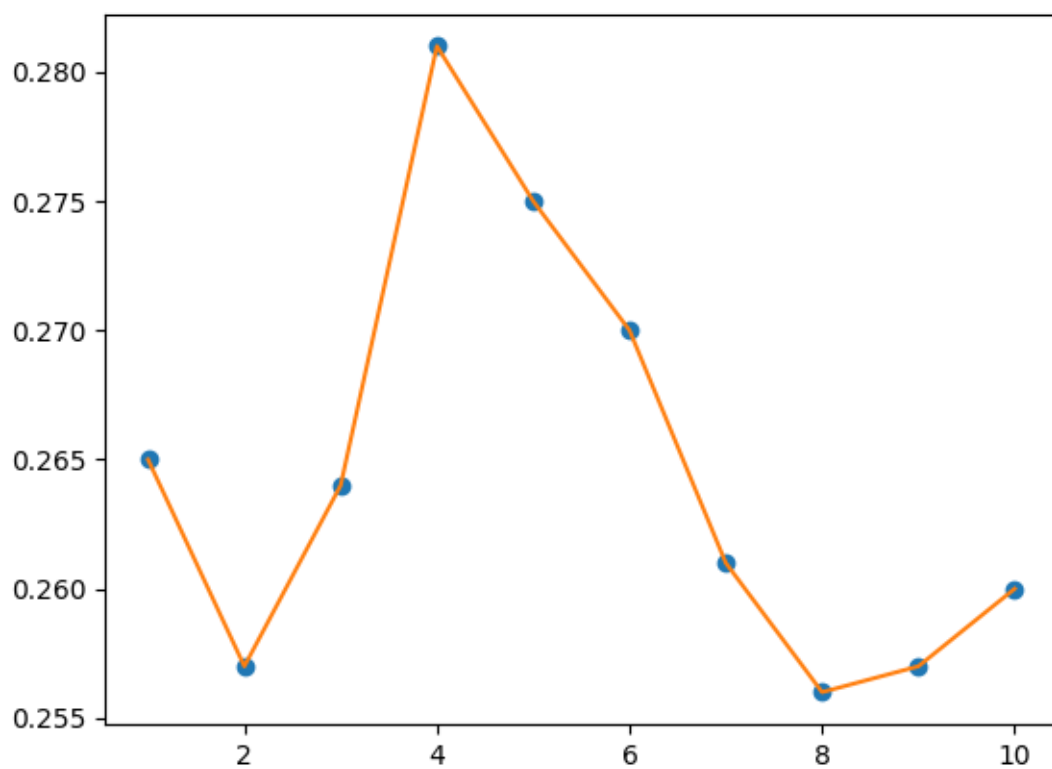


Рисунок 1. Диаметр нити, мм

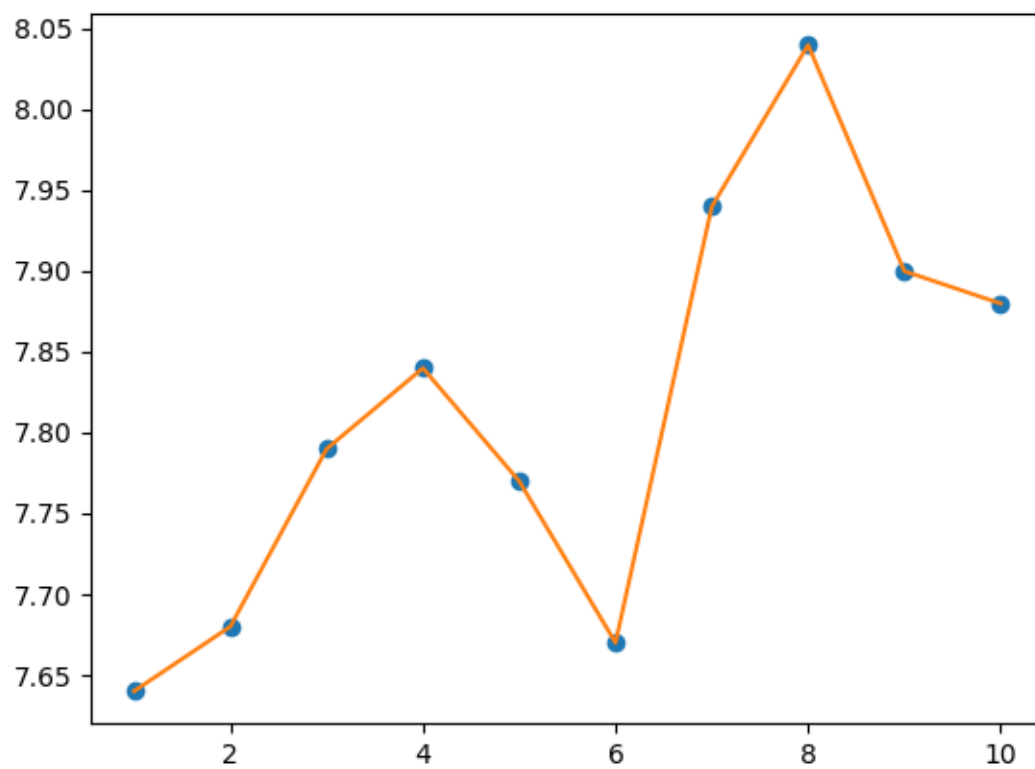


Рисунок 2. Сила разрыва нити, Н

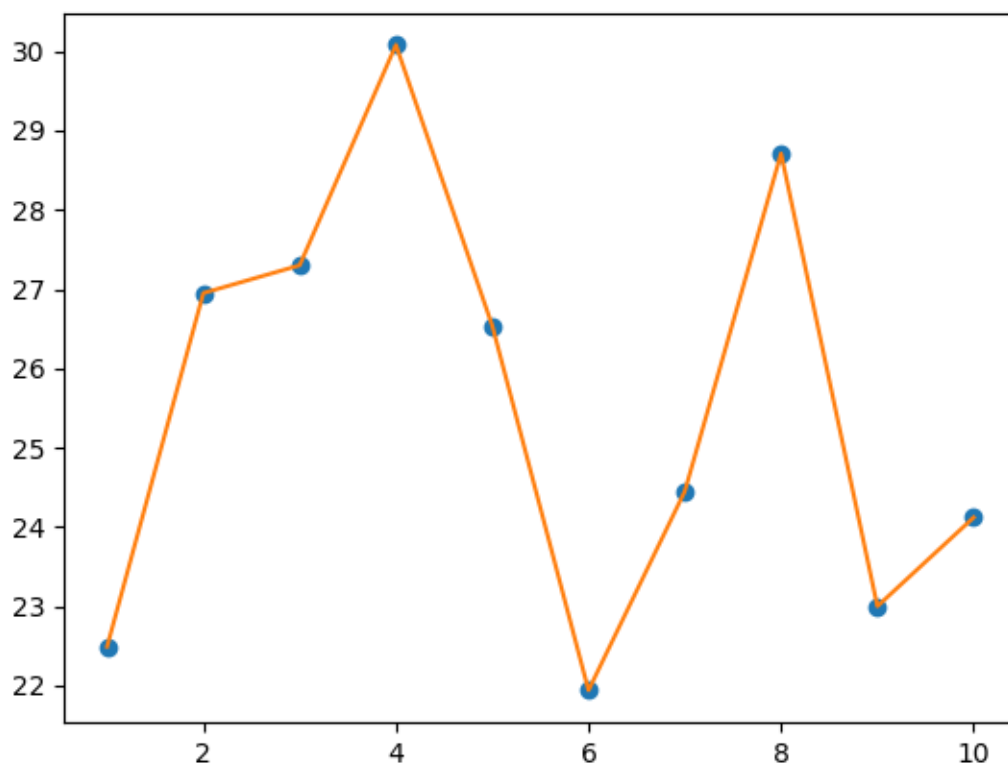


Рисунок 3. Деформация нити, %

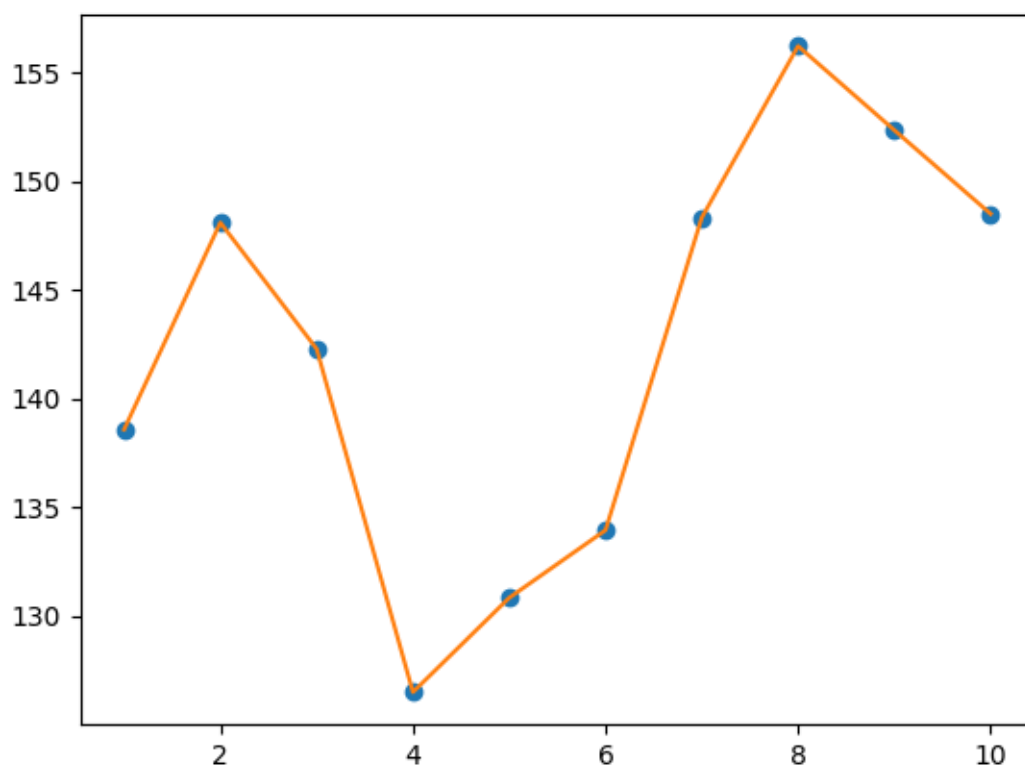


Рисунок 4. Растягивающее напряжение, Мпа

Использование статистических методов

Полученные в результате измерений и экспериментов данные очевидно недостаточны для применения к ним общепринятых методов анализа ввиду недостаточности измерений в имеющихся выборках. Для иллюстрации этого утверждения попробуем построить вероятностное распределение полученных результатов в наглядном виде с помощью диаграмм (рис. 5-8):

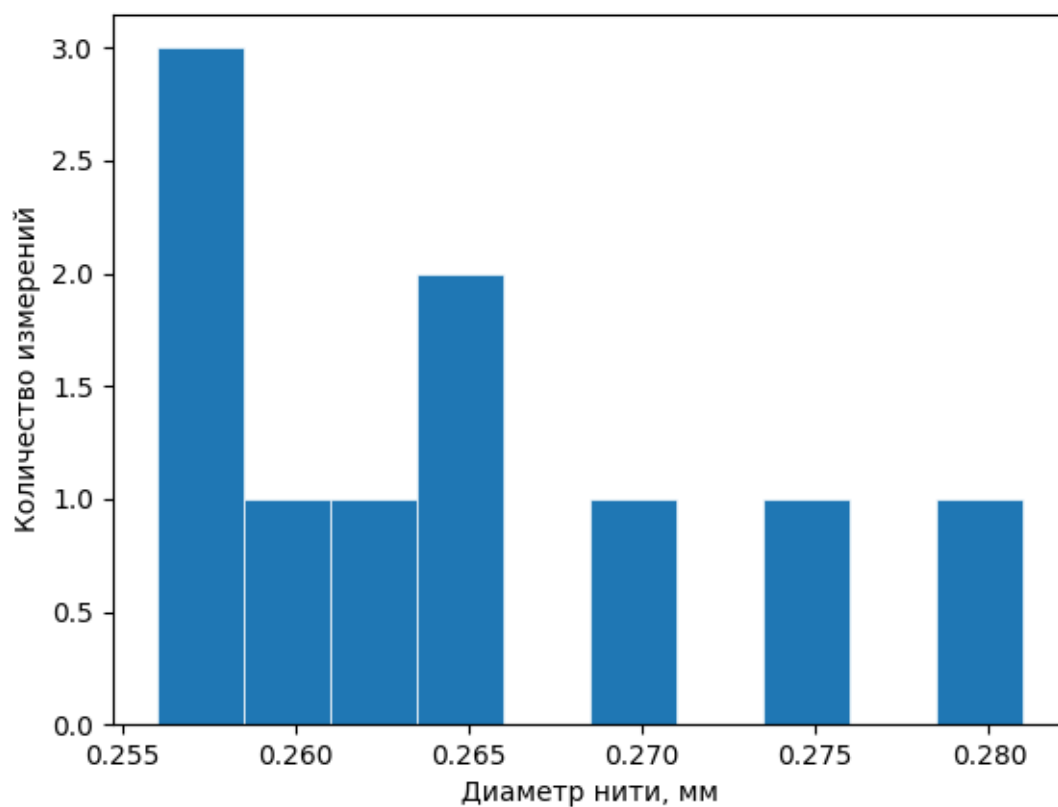


Рисунок 5. Распределение результатов измерения диаметра нити

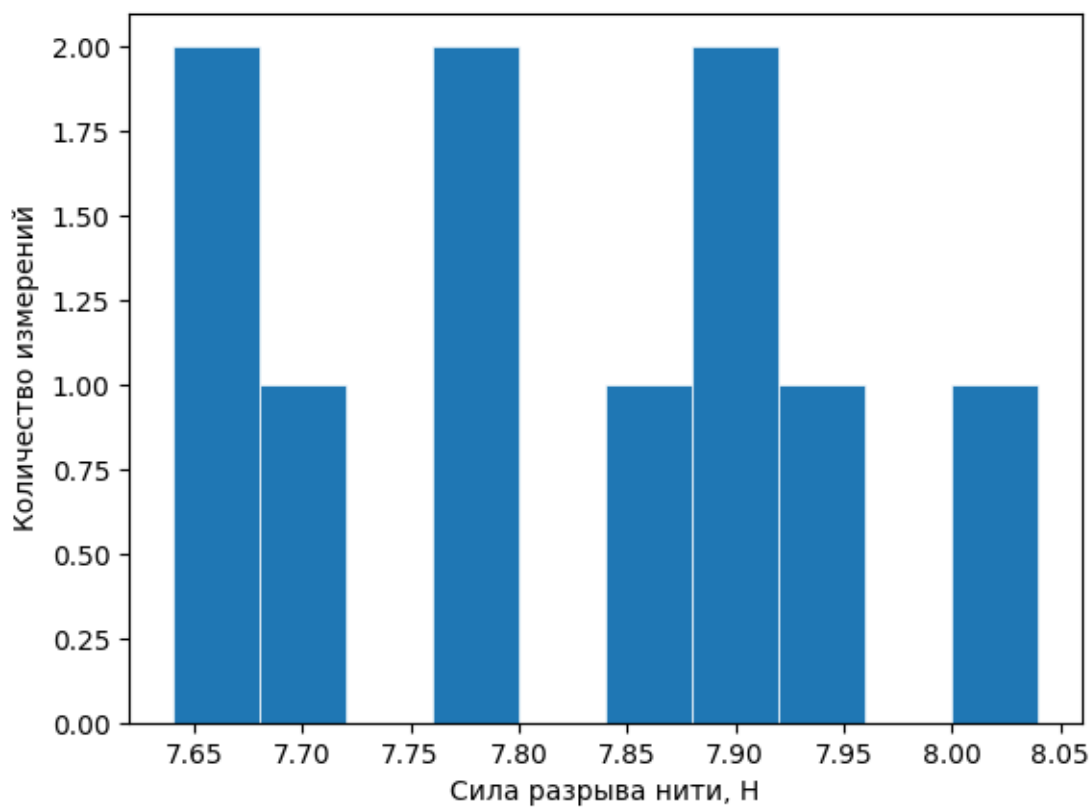


Рисунок 6. Распределение результатов измерения силы разрыва нити

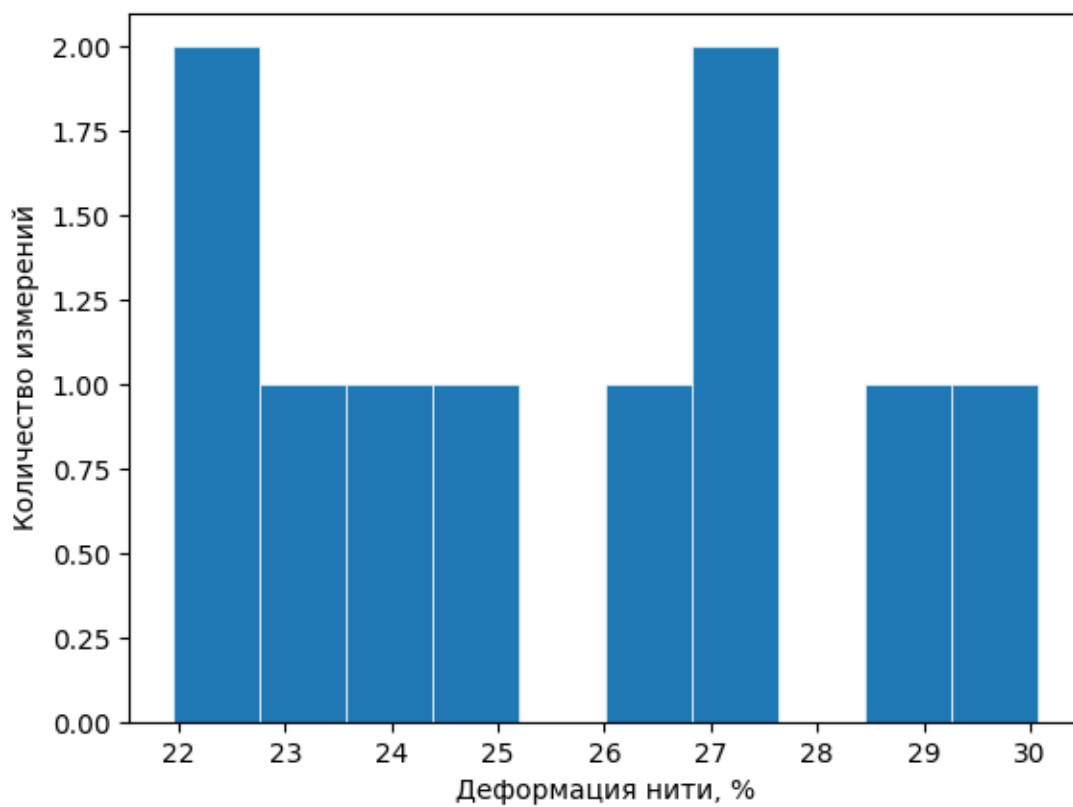


Рисунок 7. Распределение результатов измерения деформации нити

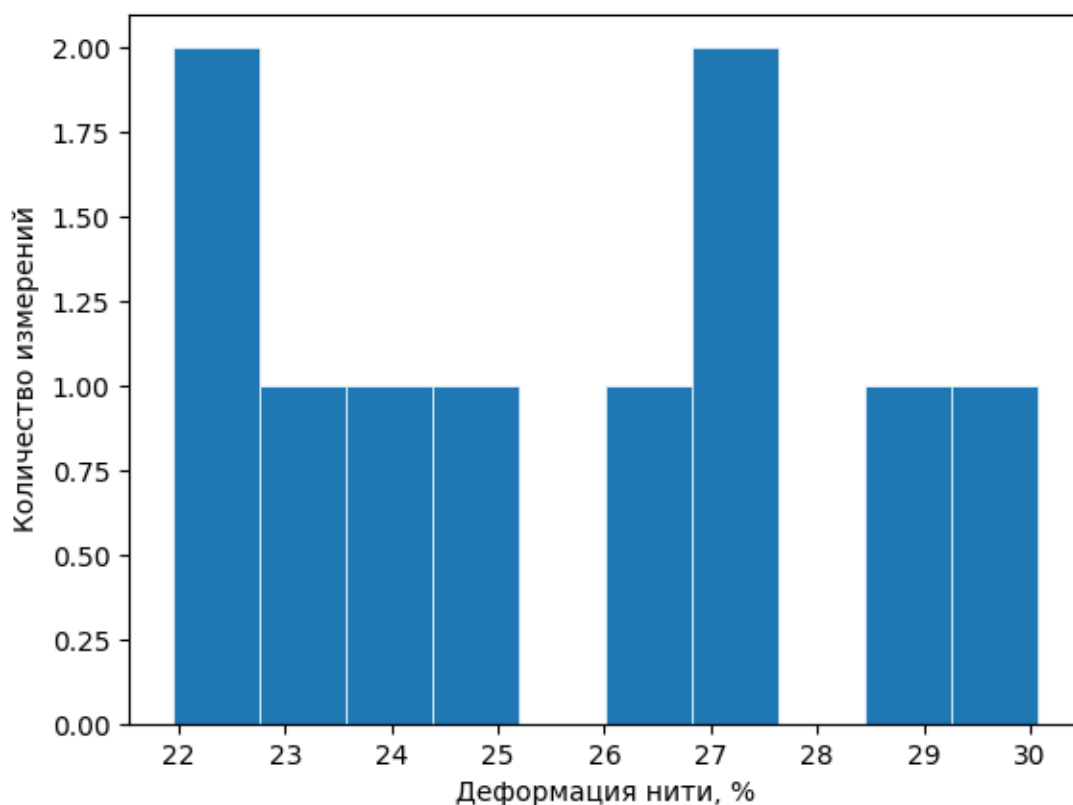


Рисунок 8. Распределение результатов измерения растягивающего напряжения

Приведённые диаграммы наглядно иллюстрируют несоответствие полученных результатов требованиям статистического анализа. Для исправления этой ситуации было использовано статистическое моделирование с целью получения нормального распределения измеряемой величины, которое можно будет использовать для дальнейшего анализа. На основании полученных данных измерений были определены следующие параметры для каждой из серий измерений:

1. Математическое ожидание μ ;
2. Среднеквадратичное отклонение σ ;
3. Дисперсия распределения σ^2 ;

Вышеперечисленные параметры позволили определить нормальное распределение для каждой из серий измерений с помощью следующей формулы:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right]$$

С помощью средств языка программирования Python, включая библиотеки `numpy` и `matplotlib`, значения распределения $f(x)$ могут быть получены с заданной частотой дискретизации, заведомо достаточной для проведения дальнейшего их анализа. Так, в рамках настоящей работы были получены следующие графики нормального распределения измеренных

параметров мононити (рис. 9-12):

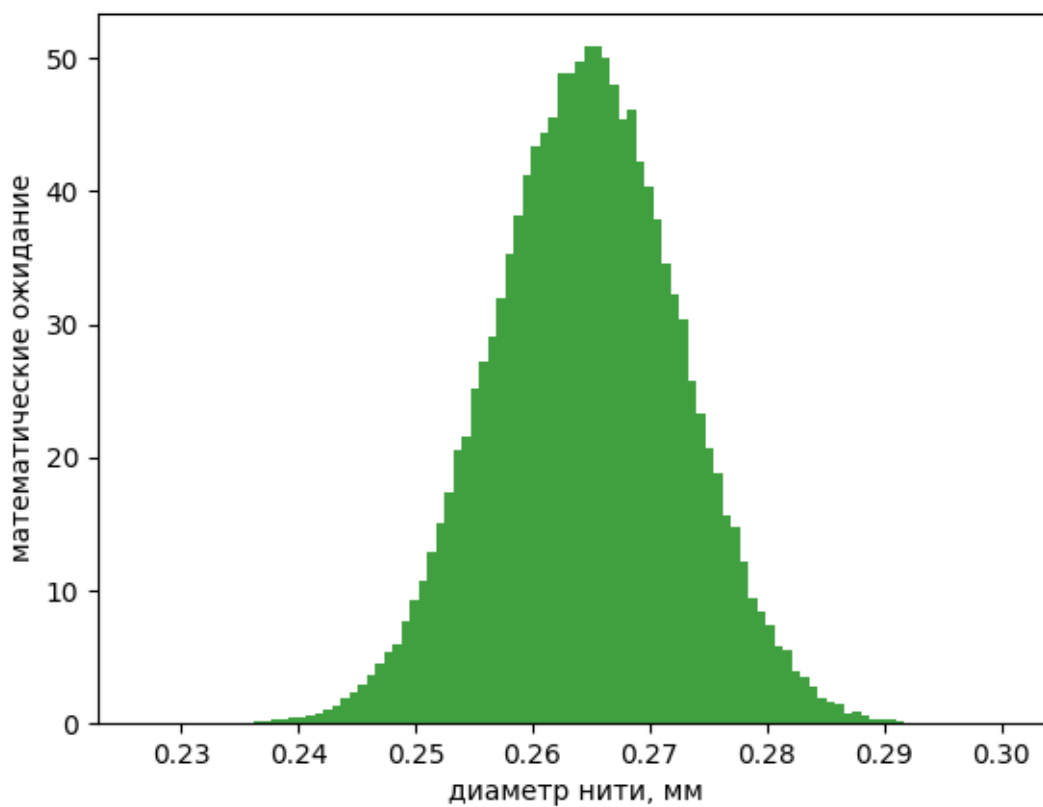


Рисунок 9. Нормальное распределение результатов измерения диаметра нити

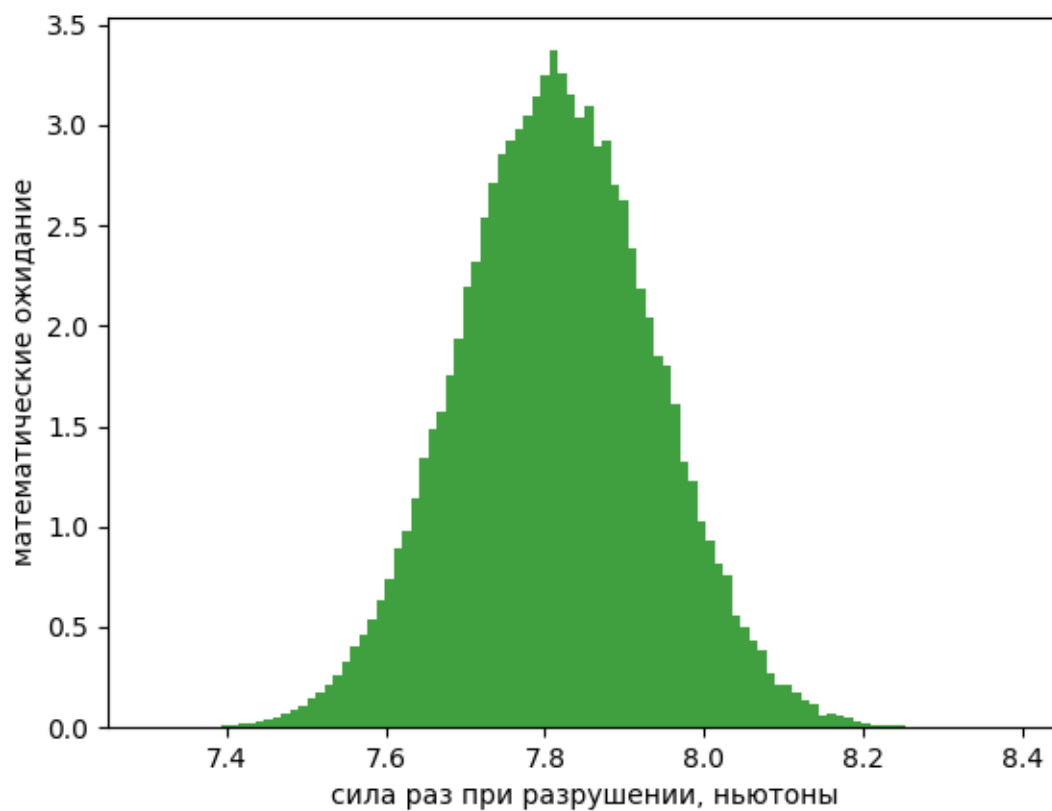


Рисунок 10. Нормальное распределение результатов измерения силы разрыва нити

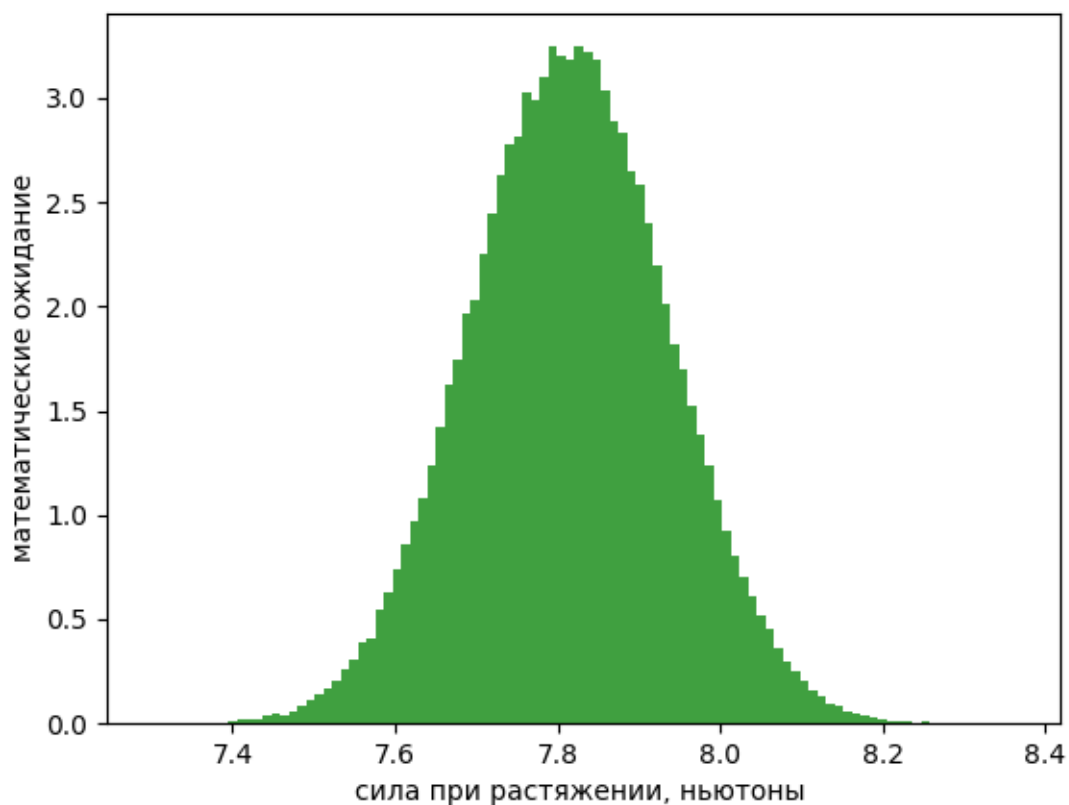


Рисунок 11. Нормальное распределение результатов измерения деформации нити

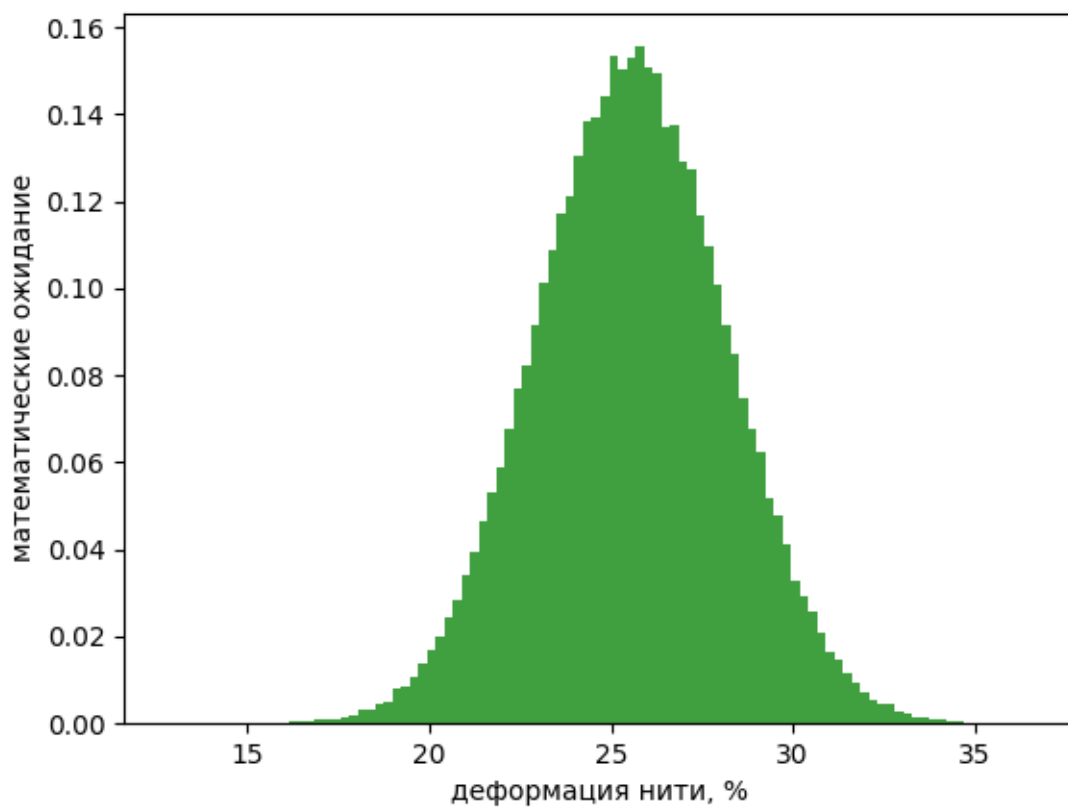


Рисунок 12. Нормальное распределение результатов измерения растягивающего напряжения

Заключение

Полученные результаты наглядно демонстрируют эффективное использование методов статистического моделирования для установления нормального распределения любой измеряемой величины на основе ограниченного числа прямых или косвенных измерений. Эти результаты могут быть в дальнейшем использованы для применения существующих методов статистического анализа и представления результатов исследований в общепринятом формате. Исследование показало, что методы статистического моделирования могут быть применены для измерения физико-механических параметров полиамидного электропроводящего моноволокна AMPERETEX. Были получены нормальные распределения диаметра резьбы, прочности на разрыв, деформации резьбы и растягивающего напряжения. Эти методы можно расширить для измерения других параметров мононити и использовать для анализа результатов измерений других типов интеллектуальных материалов. Расширение этого исследования может включать его обобщение на случай многомерного нормального распределения, которое можно использовать для создания распределений параметров, определенных на плоскости или в трехмерном пространстве.