

Статистическое моделирование в задачах исследования умных материалов

Репина С.П.; Орлов Д.А.; Мартинович А.В.; Капошко В.П.; Цепцура В.С.; Еремеев М.Д.;

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, наблюдений и испытаний является постоянной задачей всякого прикладного научного исследования. Однако в ходе решения таких задач зачастую возникает проблема дефицита доступных данных наблюдений или экспериментов для проведения полноценного анализа с использованием общепринятых статистических и математических инструментов (например, гармонического или Фурье-анализа, вейвлет-преобразований и иных). Такая ситуация может возникнуть вследствие ограниченности наблюдательной или экспериментальной базы, дороговизны расходных материалов, технической или организационной сложности проведения исследований и ряда других причин.

В рамках настоящего исследования предлагается использовать методы статистического моделирования для обработки результатов малых серий наблюдений и экспериментов. В качестве предмета исследования были выбраны эксперименты с умными материалами: полиамидной электропроводящей мононити AMPERETEX.

Целью исследования является применение методов статистического моделирования в задачах исследования умных материалов. Для её достижения были решены следующие задачи:

1. Проведение измерений физических и механических параметров мононитей;
2. Перевод результатов измерений в цифровой формат в соответствии с общепринятыми стандартами;
3. Использование средств статистического моделирования для получения нормального распределения результатов измерений;
4. Анализ выполненного исследования, 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 34ТМ-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 $24 \pm 2^\circ\text{C}$; 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 $24 \pm 2^\circ\text{C}$; 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 $24 \pm 2^\circ\text{C}$; давление 765 мм рт. ст.
4. Измерение механической стойкости нити на истирание тераомметром. Угол истирания 90° , скорость 50 об/мин, нагрузка 20г, температура $24 \pm 2^\circ\text{C}$; 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

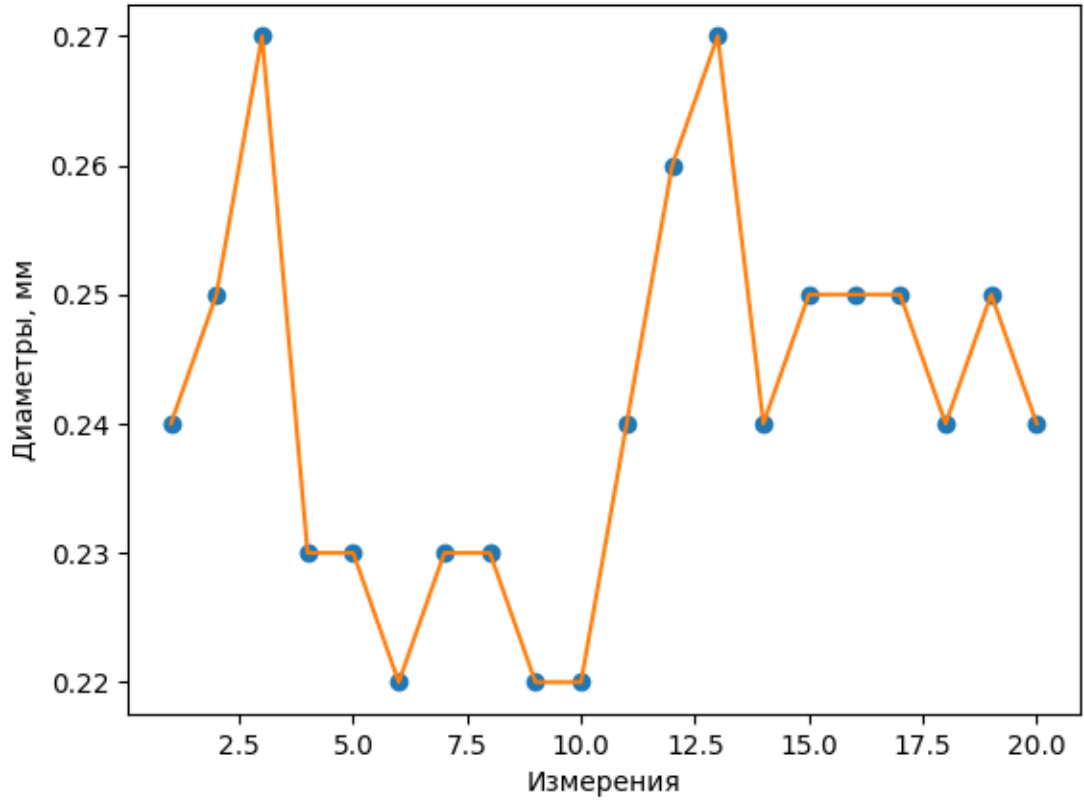


Рисунок 2. Сила разрыва нити

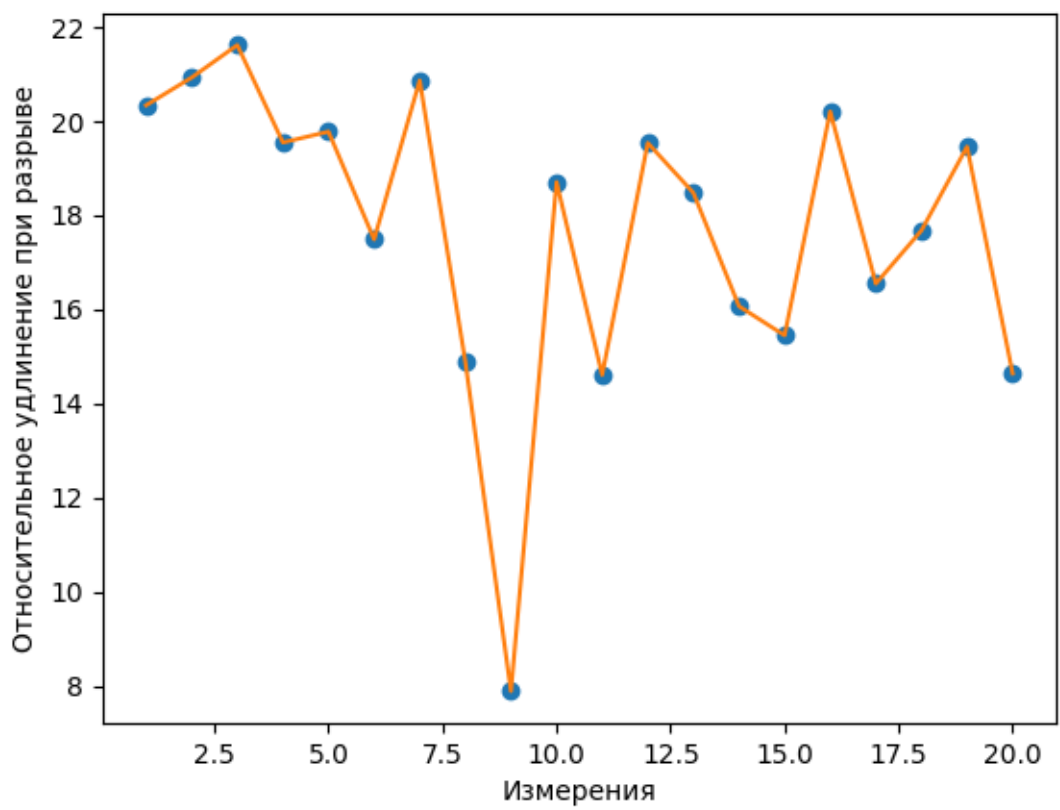


Рисунок 3. Деформация нити, %

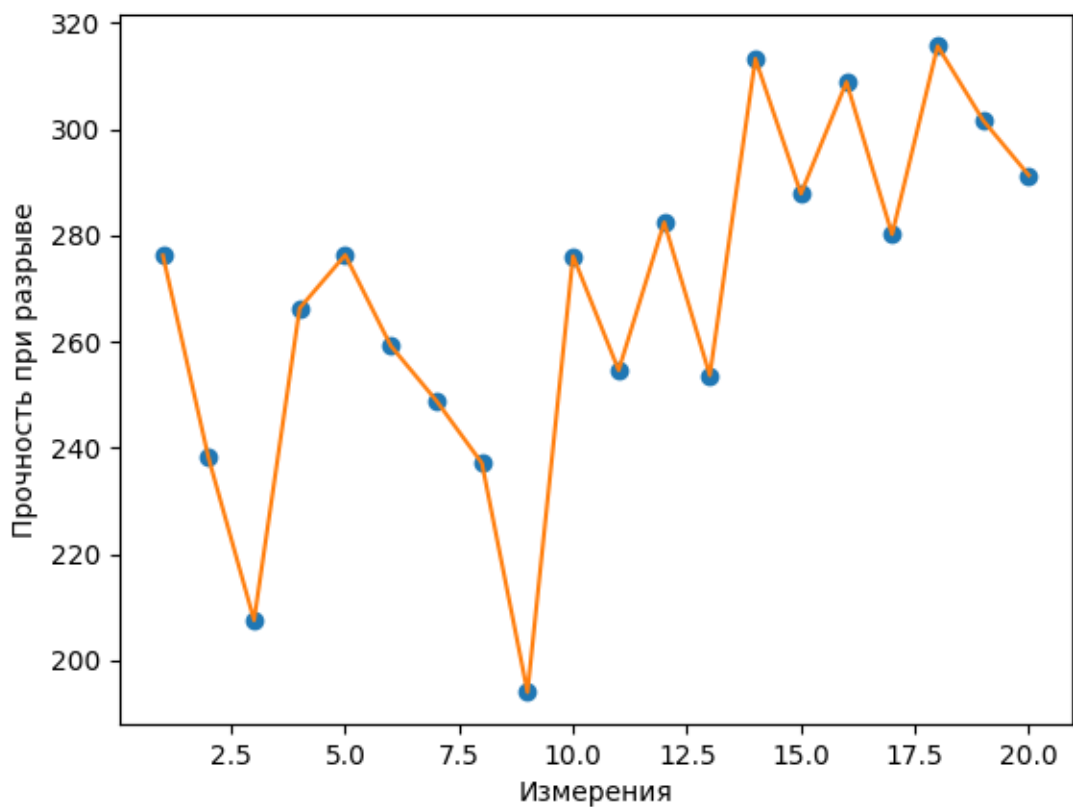
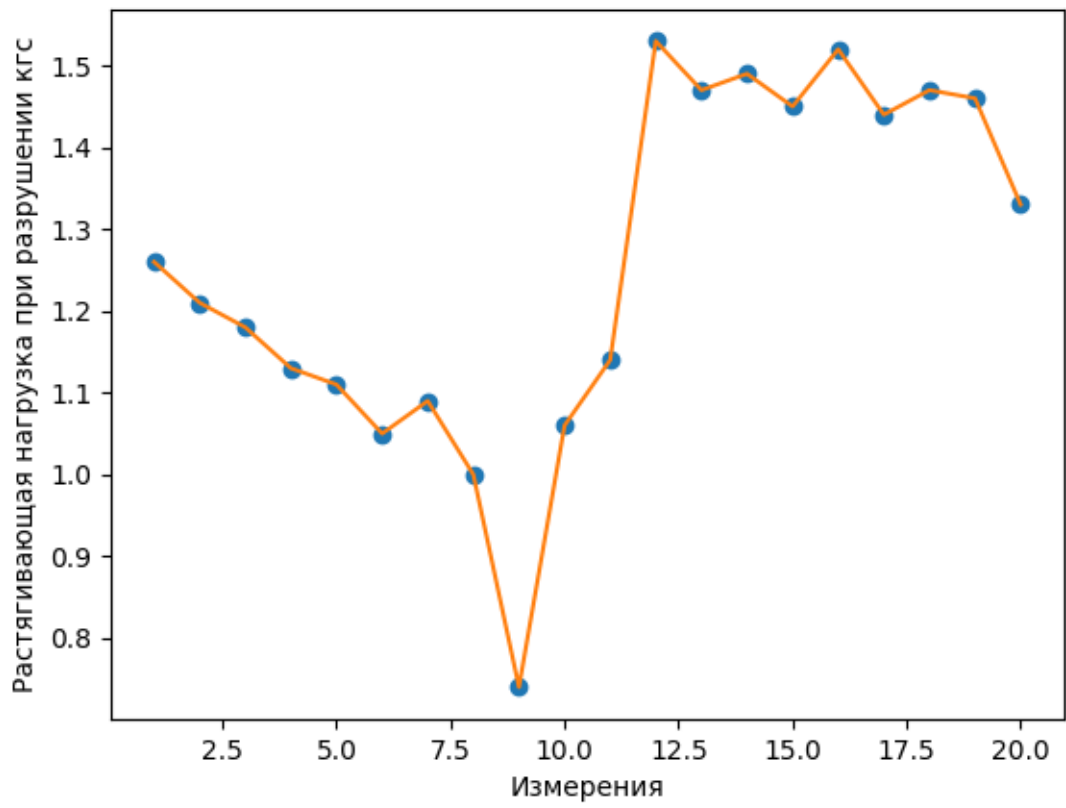


Рисунок 4. Растягивающее напряжение, МПа



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

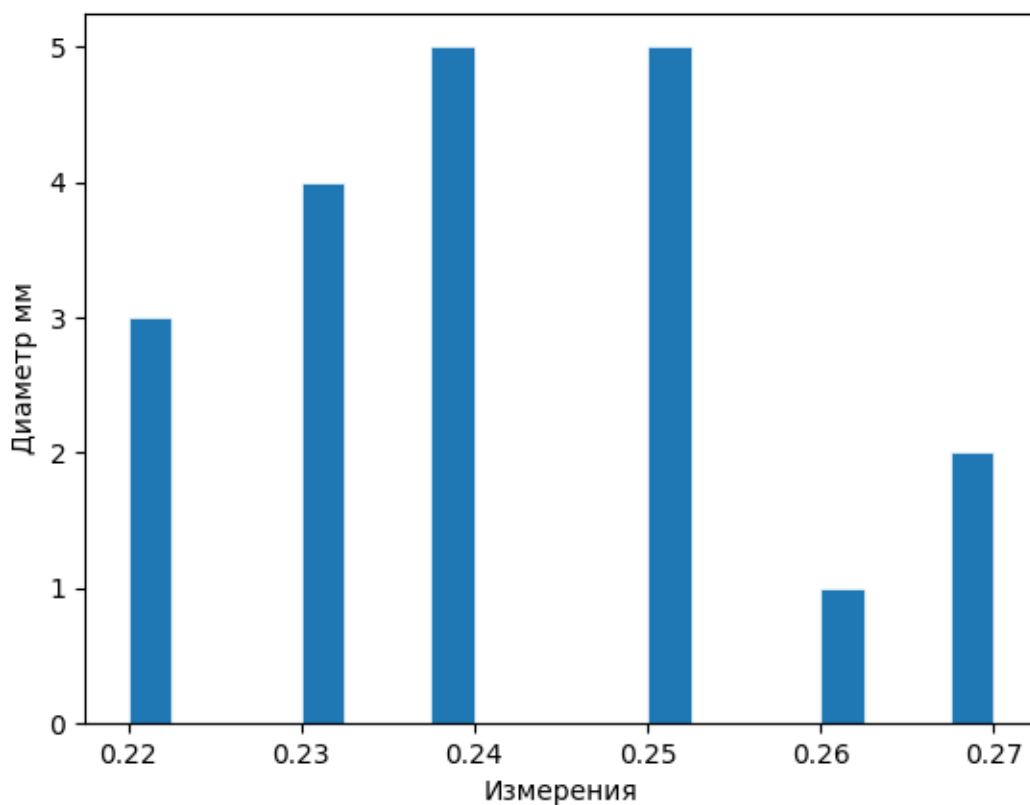


Рисунок 6. Распределение результатов измерения силы разрыва нити

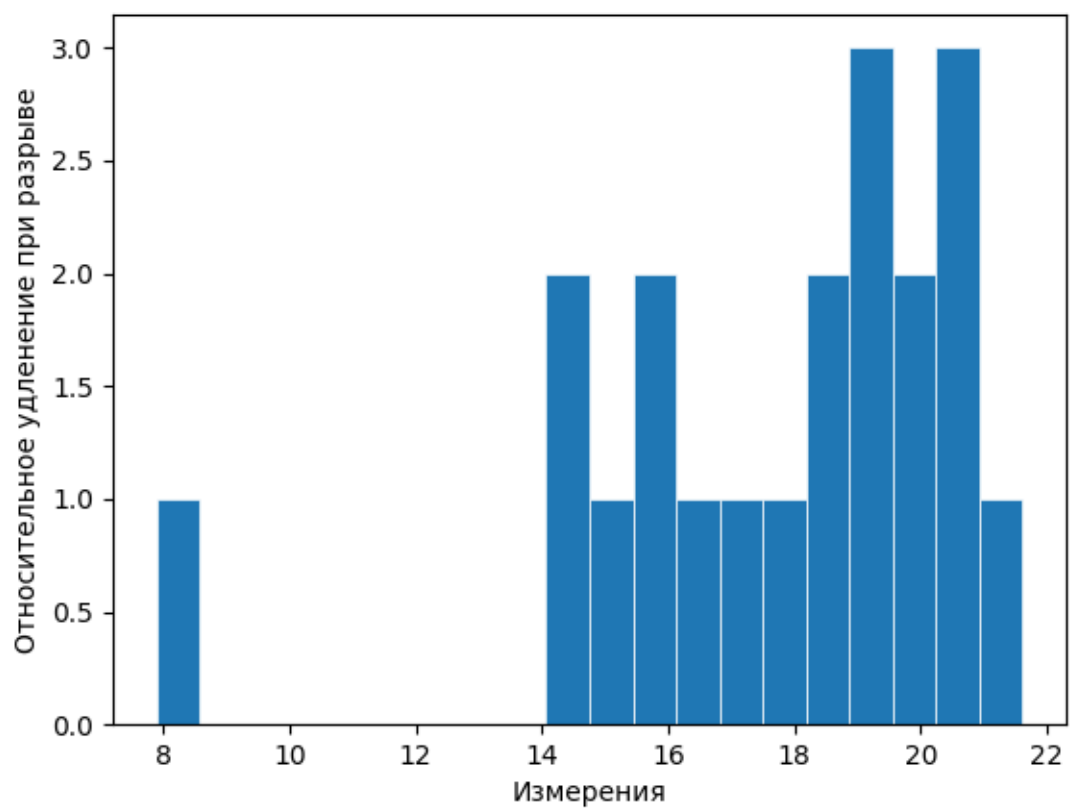


Рисунок 7. Распределение результатов измерения деформации

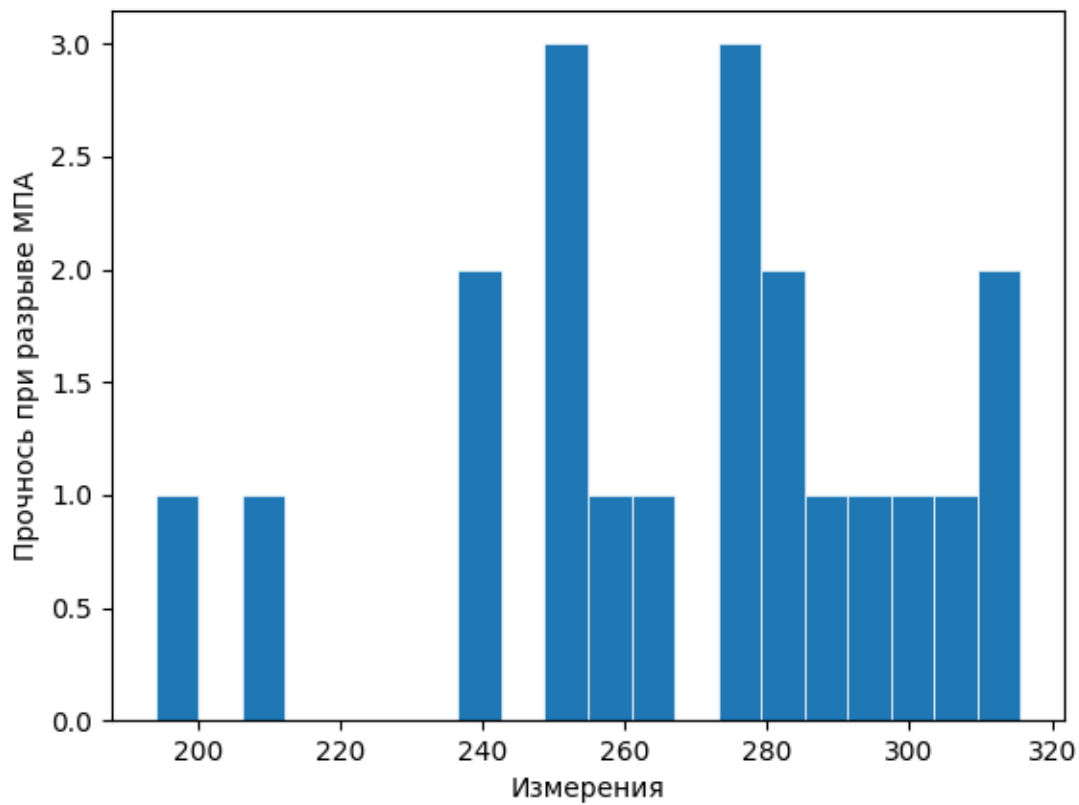
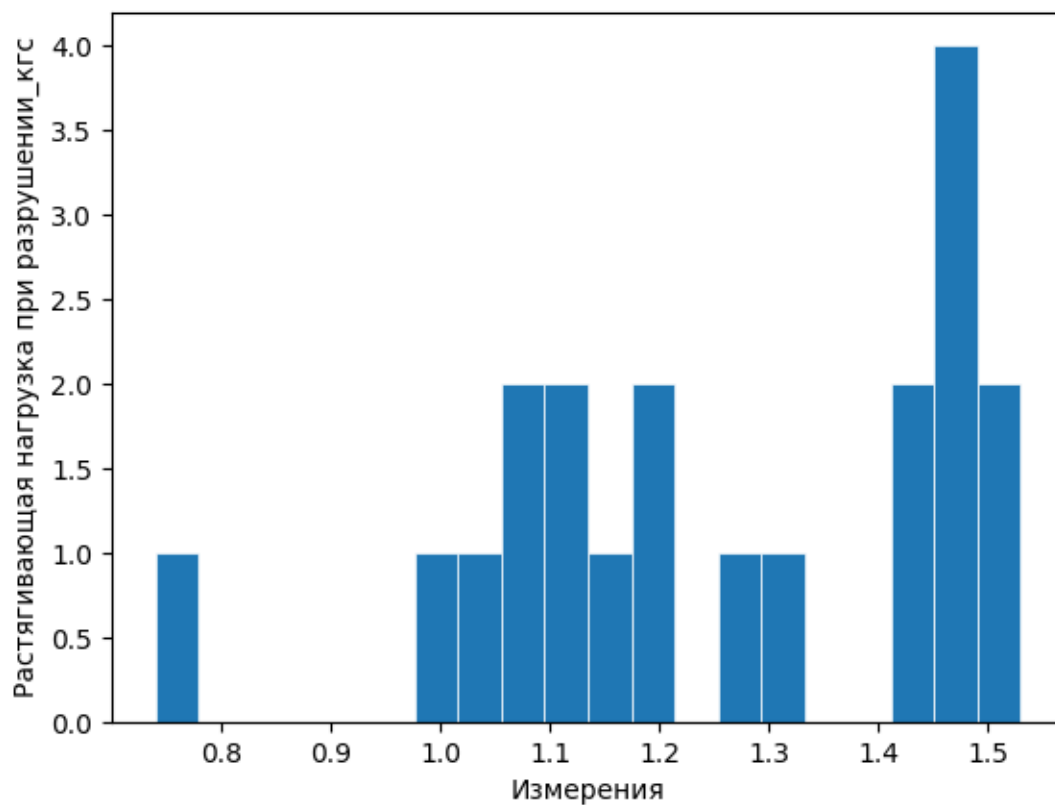


Рисунок 8. Распределение результатов измерения растягивающего напряжения



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:

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

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 монокристалла (рис. 9-12):

Рисунок 9. Нормальное распределение результатов измерения диаметра нити

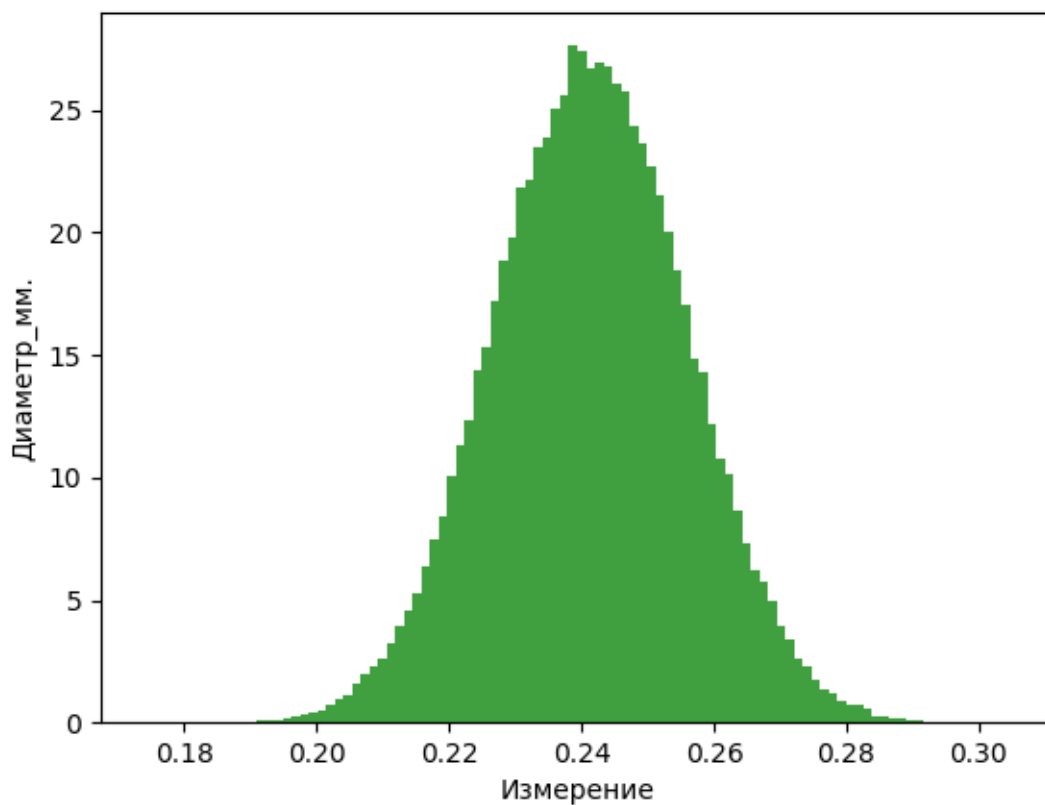


Рисунок 10. Нормальное распределение результатов измерения силы разрыва

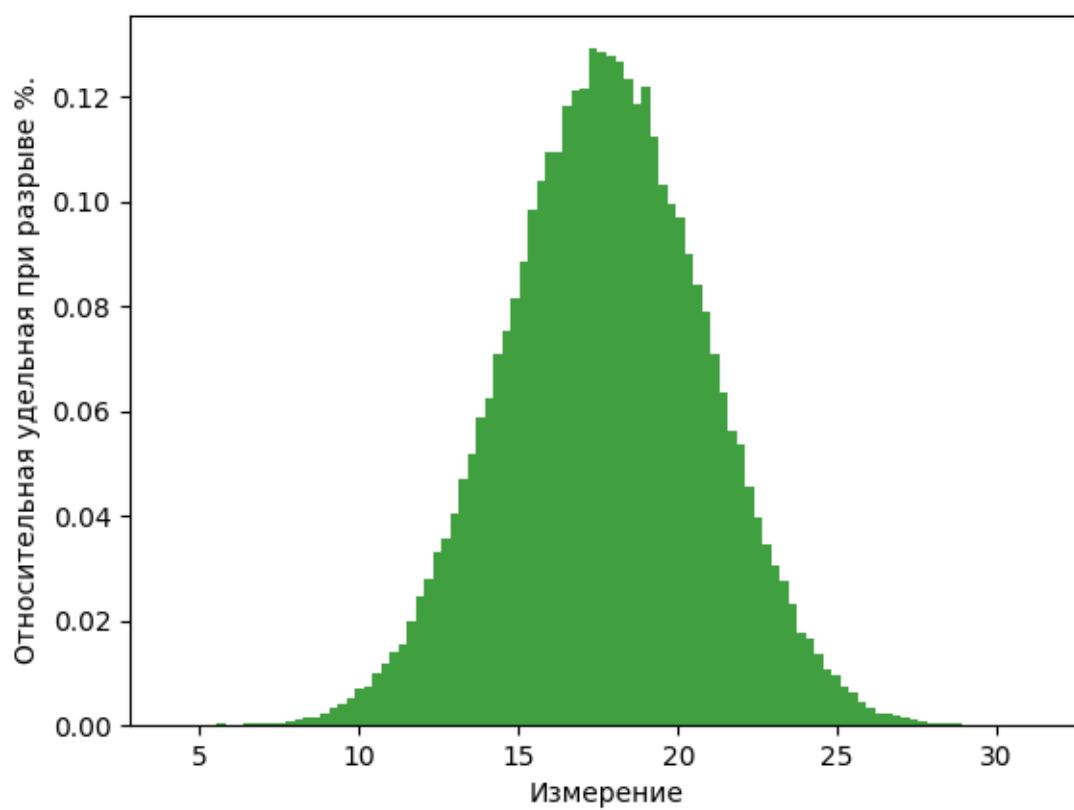


Рисунок 11. Нормальное распределение результатов измерения деформации нити

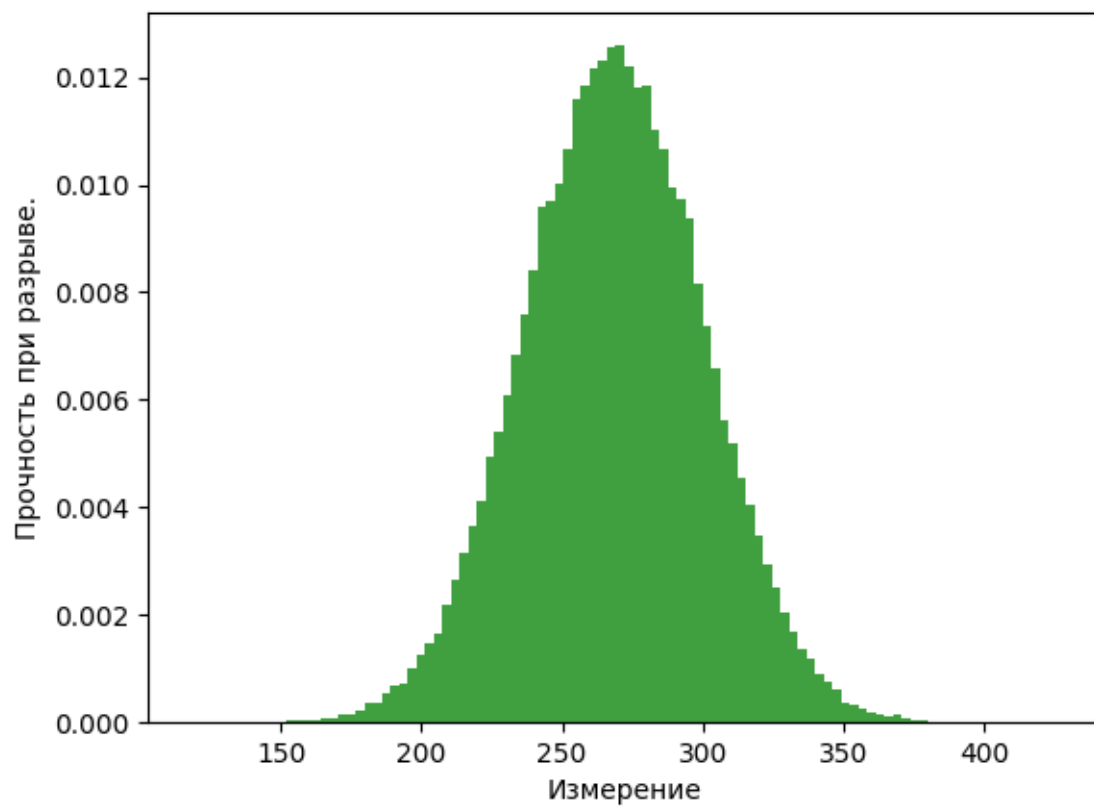
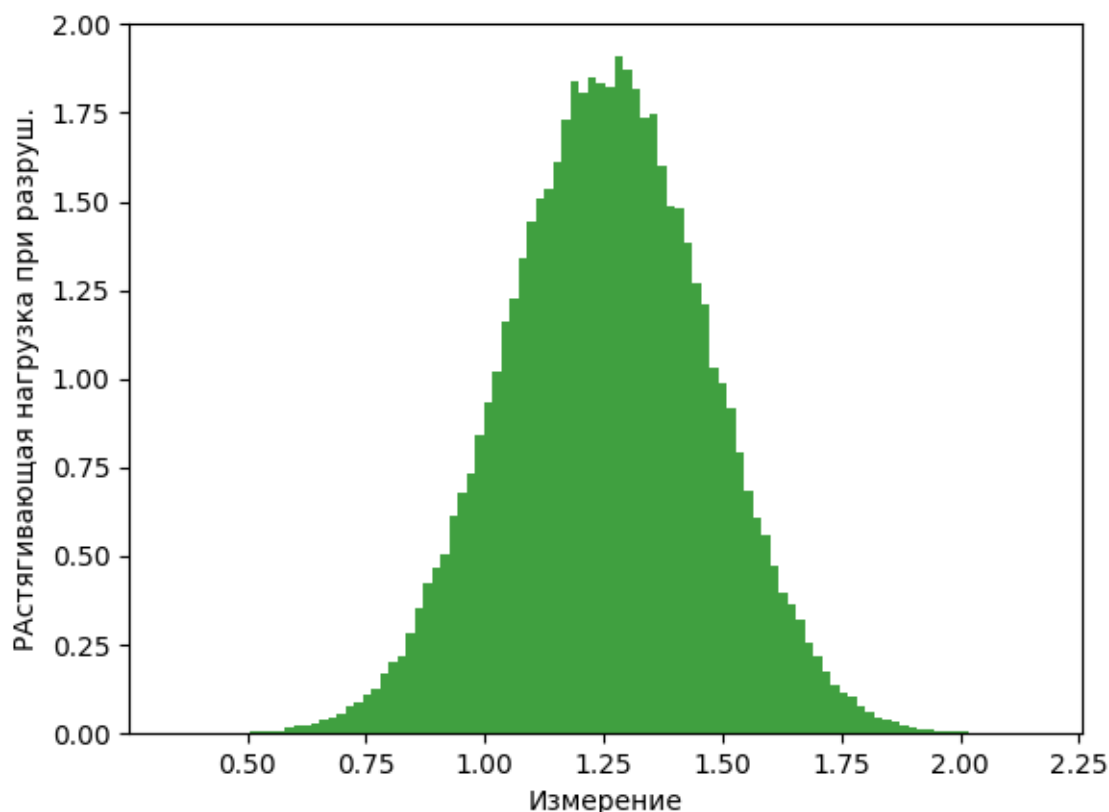


Рисунок 12. Нормальное распределение результатов измерения растягивающего напряжения



Заключение

Полученные результаты однозначно демонстрируют возможность эффективного использования методов статистического моделирования для получения нормального распределения произвольной измеряемой величины на основании ограниченного количества результатов прямых или косвенных измерений. Полученные результаты могут в дальнейшем использоваться для применения к ним существующих методов статистического анализа, а также представления результатов исследования в общепринятом формате.

В ходе выполнения исследования было показано, что методы статистического моделирования могут применяться к результатам измерения физических и механических параметров полиамидной электропроводящей мононити AMPERETEX. Получены нормальные распределения результатов измерения диаметра нити, силы разрыва нити, деформации нити и растягивающего напряжения. В дальнейшем эти же методы могут быть применены к измерению иных параметров мононитей, а также использоваться для анализа результатов измерений других типов умных материалов.

Возможным расширением настоящего исследования является его обобщение на случай многомерного нормального распределения, которое может использоваться для построения распределений параметров, определённых на плоскости или в объёме.