

# Статистическое моделирование в задачах исследования умных материалов

А.А. Новикова А.Д. Куликова В.О. Беляев

## Аннотация

Работа посвящена применению статистических методов для решения задач анализа результатов различных типов испытаний, наблюдений и экспериментов над умными материалами. В одном из корпусов БФУ имени Канта мы проводили эксперимент, в котором на специальном оборудовании проверяли давление, при котором полиамидная электропроводящая мононить AMPERETEX порвется.

## 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 различных инструментов. 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 моно-нити 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 монопнитей;
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 моно-нити 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 300 мм нити электронным штангенциркулем с шагом 10 см;
2. Измерение механической стойкости нити на разрыв универсальной разрывной машиной. Базовая длина 300 мм; скорость 200 мм/мин; предварительная нагрузка – 0,91Н (из расчета 0,5 сН/текс);

### 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):

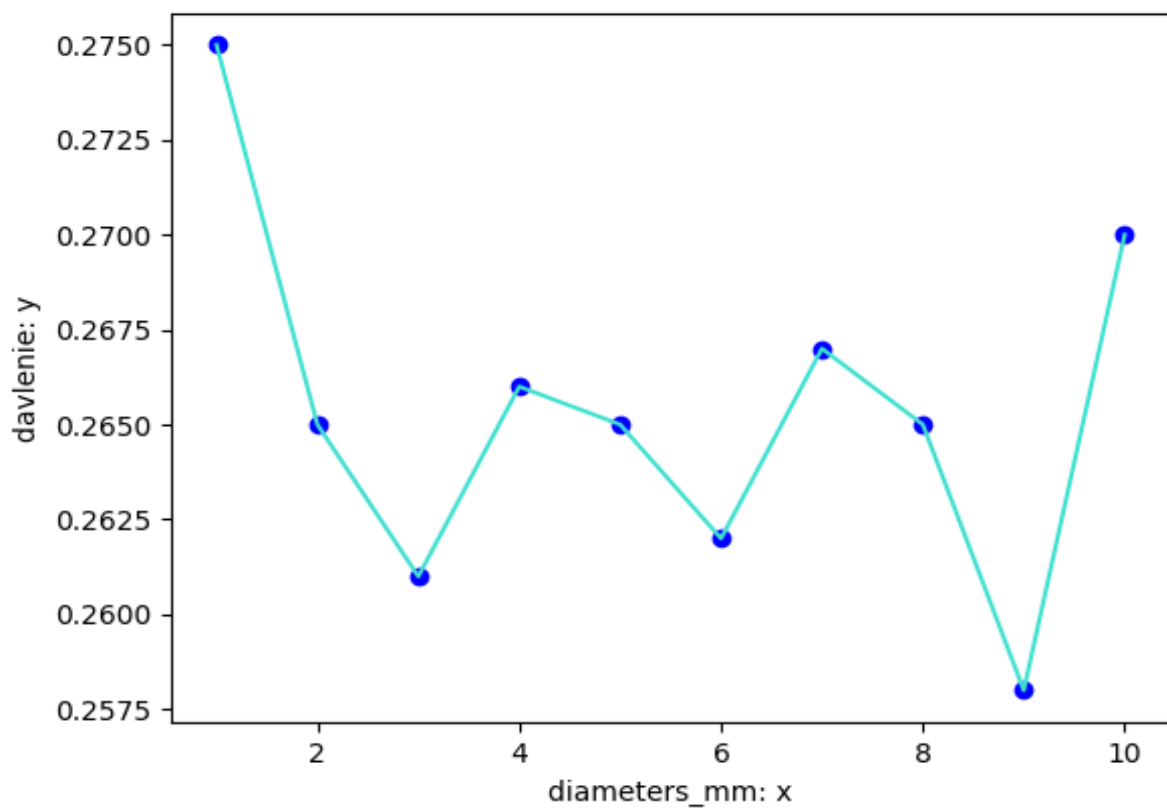


Рисунок 1. Диаметр нити, мм

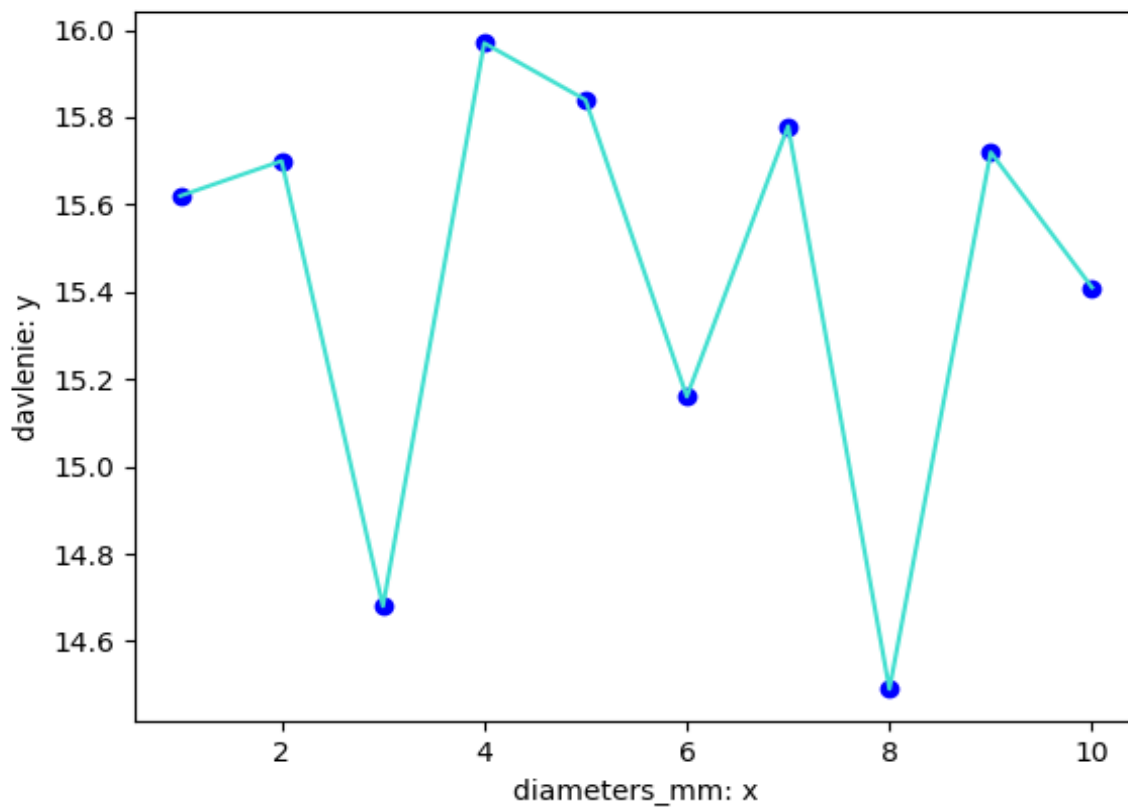


Рисунок 2. Сила разрыва нити, Н

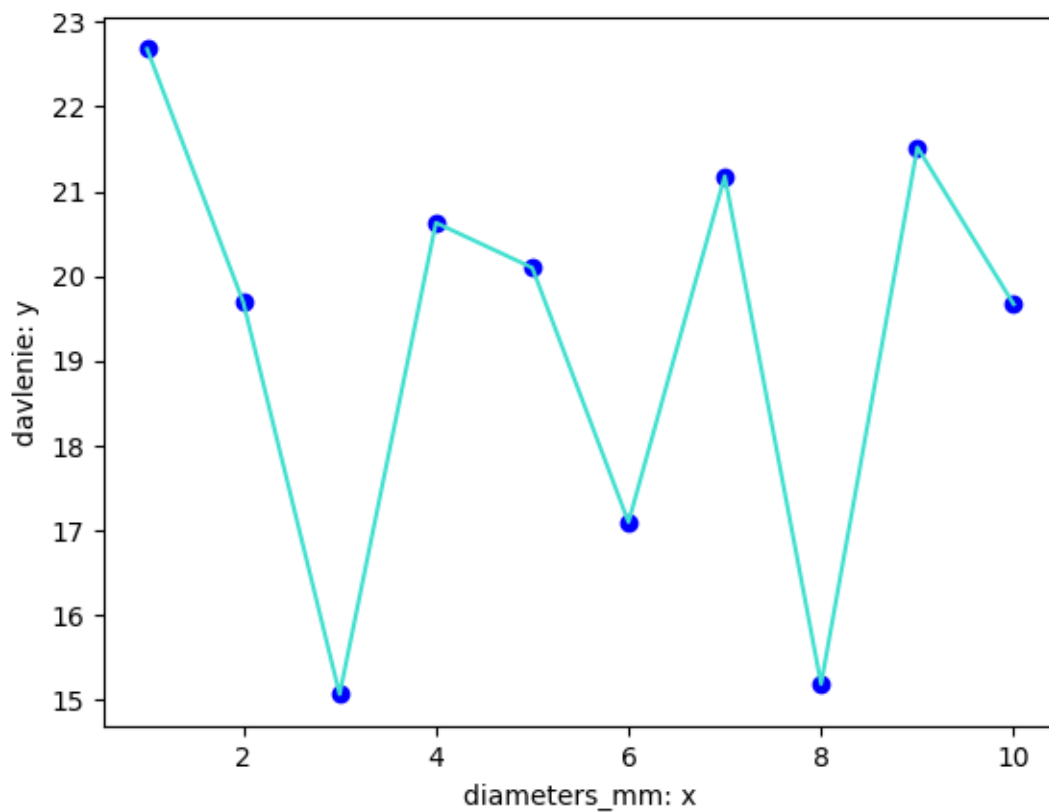


Рисунок 3. Деформация нити, %

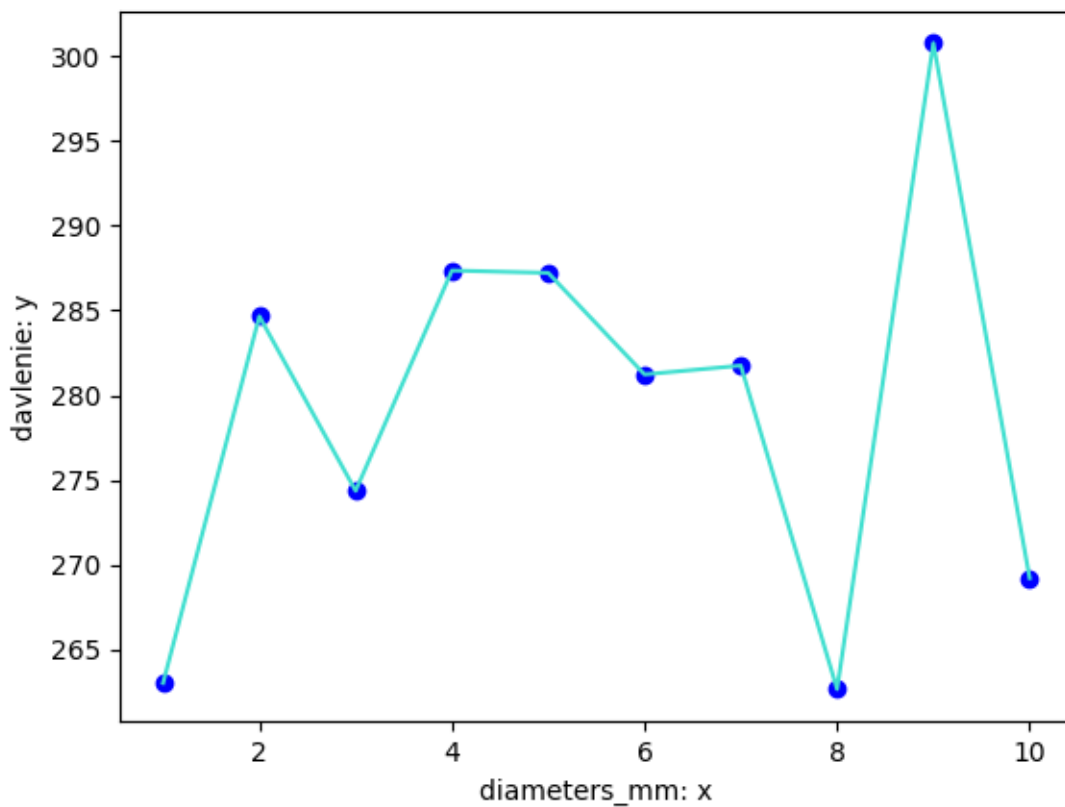


Рисунок 4. Растягивающее напряжение, Мпа

## 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. 5-7):

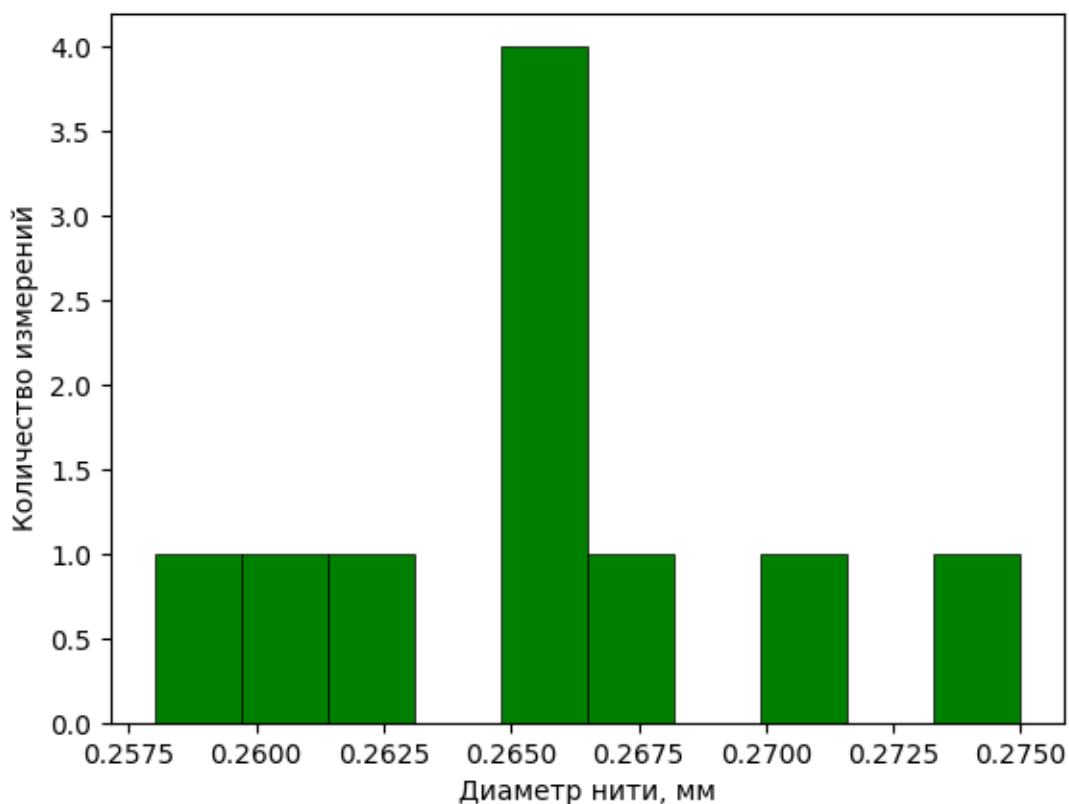


Рисунок 5. Распределение результатов измерения диаметра нити

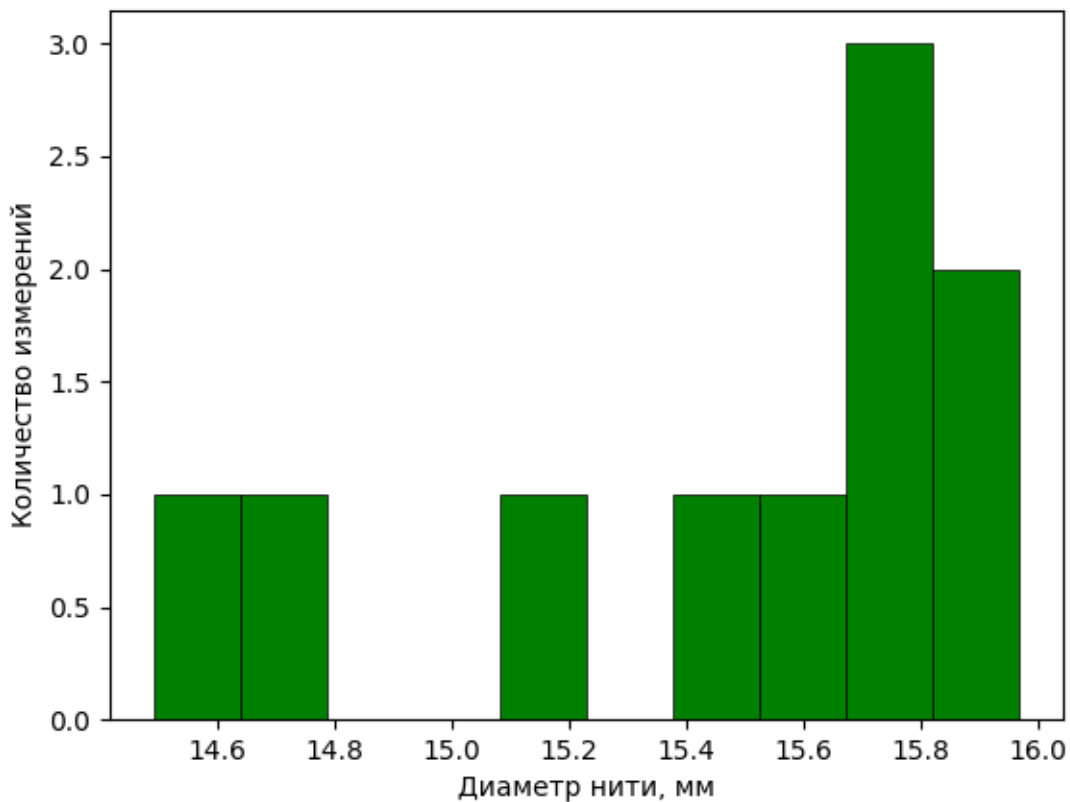


Рисунок 6. Распределение результатов измерения силы разрыва нити

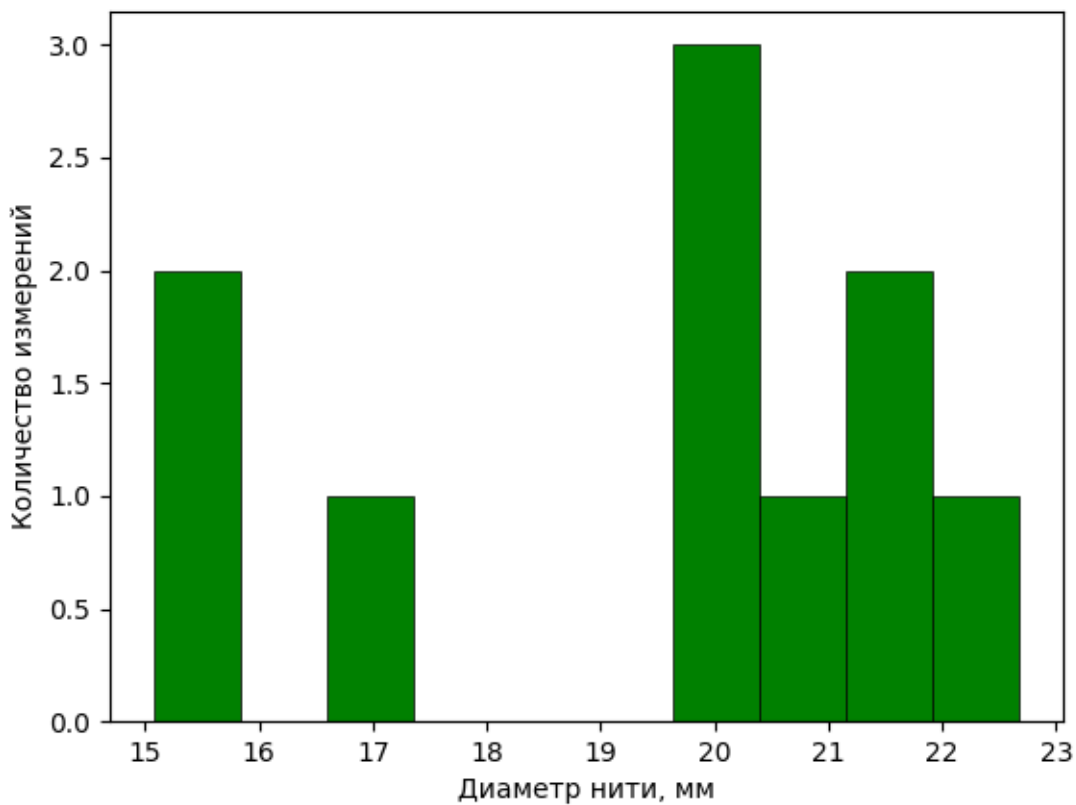


Рисунок 7. Распределение результатов измерения деформации нити

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  $\mu$ ;
2. Среднеквадратичное отклонение  $\sigma$ ;
3. Дисперсия распределения  $\sigma^2$ ;

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 монокриси (рис. 8-11):

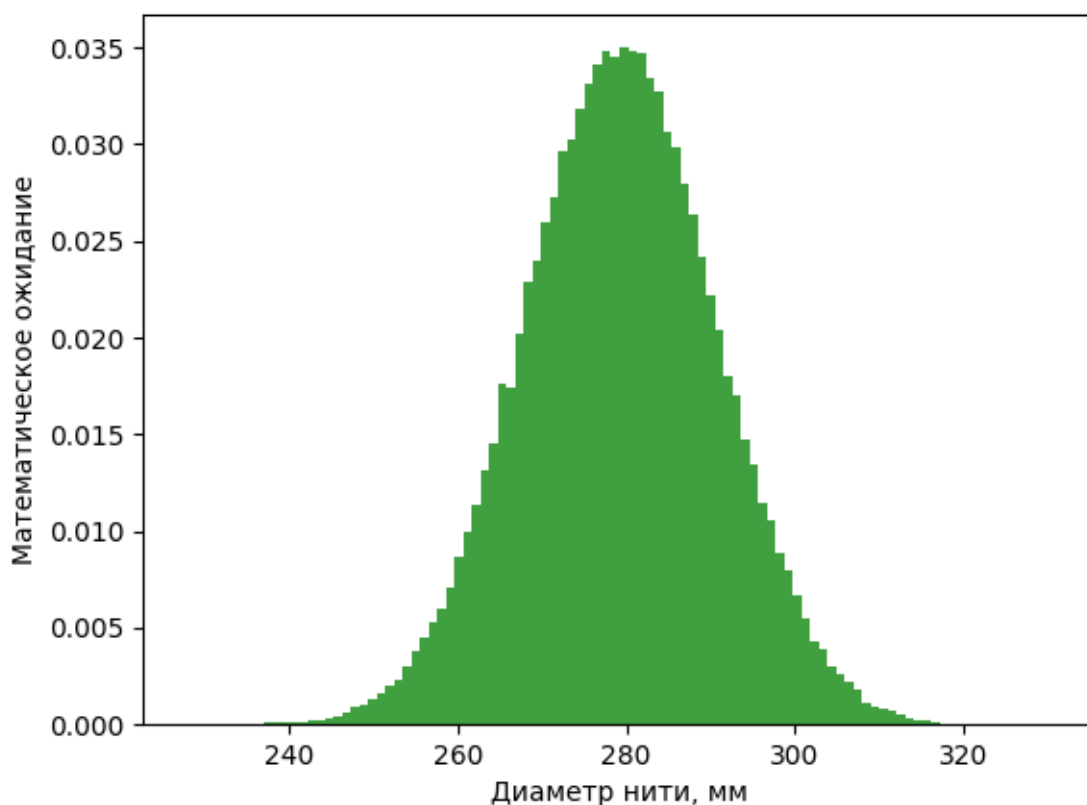


Рисунок 8. Нормальное распределение результатов измерения диаметра нити

## 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 моно-нити 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 моно-нитей, а также использоваться для анализа результатов измерений других типов умных материалов. Возможным расширением настоящего исследование является его обобщение на случай многомерного нормального распределения, которое может использоваться для построения распределений параметров, определённых на плоскости или в объёме.