

Статистическое моделирование в задачах исследования умных материалов

П.Е.Шамина, Э.Г.Купатадзе, Е.А.Черных

Аннотация

Была проведена работа над умными материалами по выявлению их прочности. Делались наблюдения, велись эксперименты. 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.

Введение

Перед нами была поставлена цель по выявлению свойств умных материалов. Дабы их изучить, нами были произведены опыты, результаты которых будут приводиться ниже. В качестве предмета исследования были выбраны эксперименты с умными материалами: полиамидной электропроводящей пленки.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Проведение измерений физических и механических параметров пленок;
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 пленки. 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

Результаты измерений

Каждый тип измерения проводился серией из 10 измерений. Результаты 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 (см. рисунки ниже):

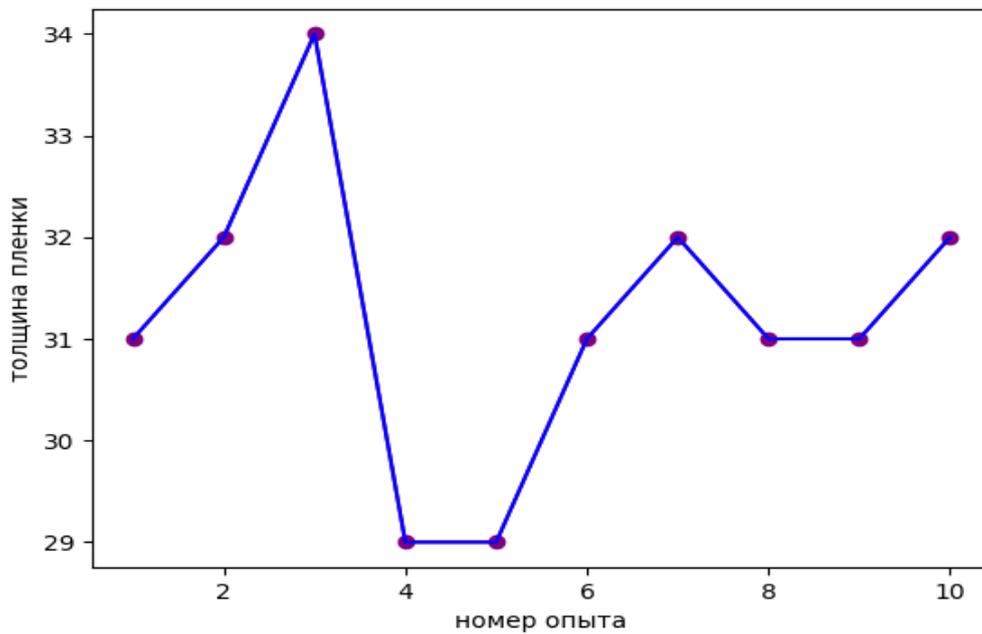


Рисунок 1. Диаметр пленки, мм.

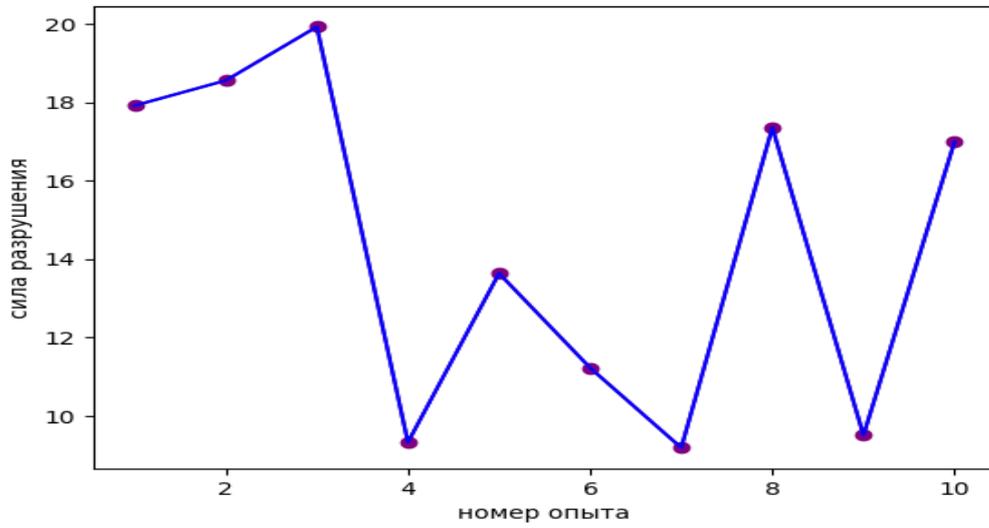


Рисунок 2. Сила разрушения, Н

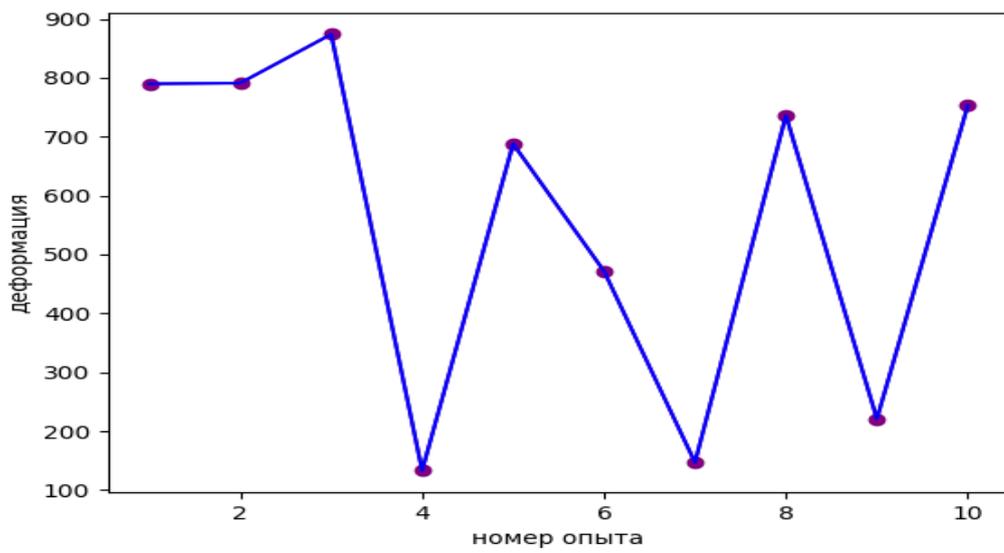


Рисунок 3. Деформация, %

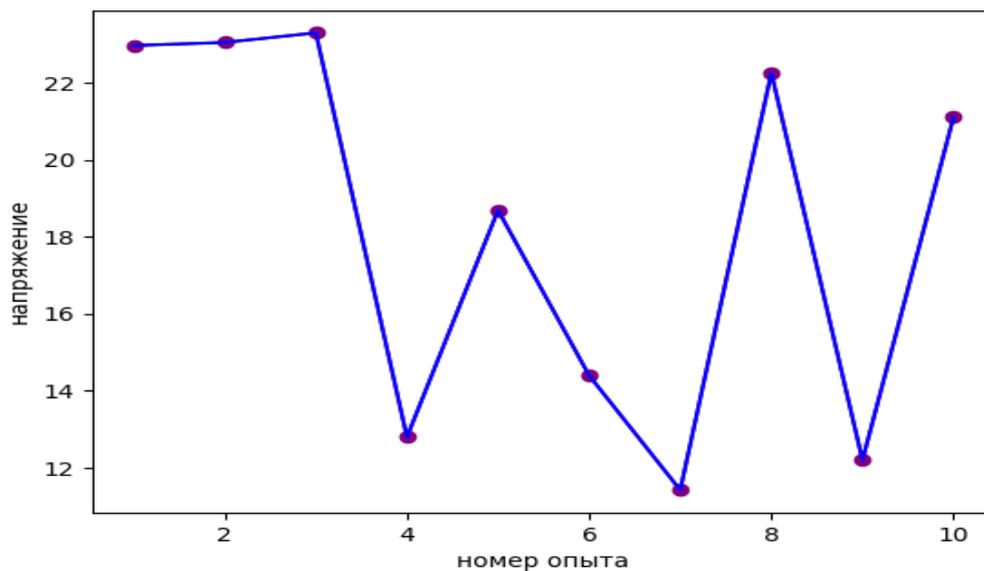


Рисунок 4. Напряжение, МПа

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 (см. рисунки ниже):

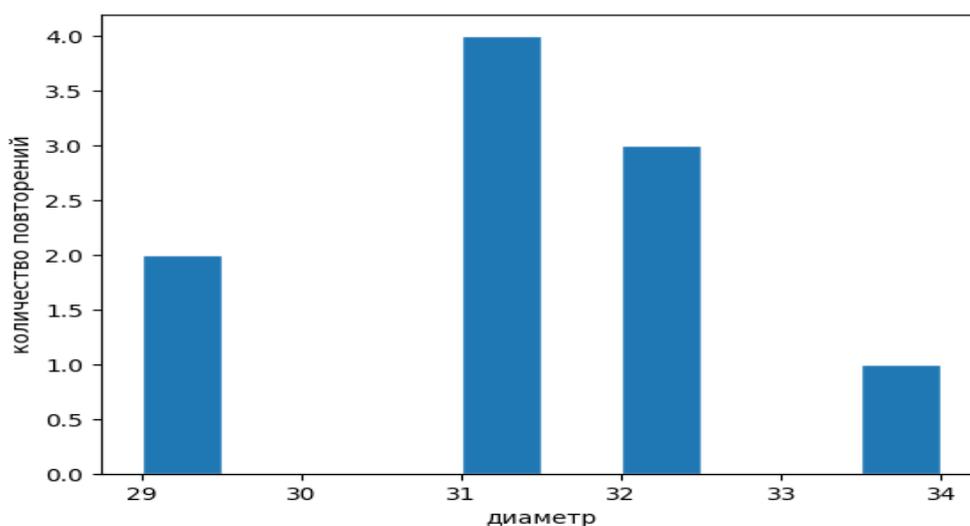


Рисунок 5. Результаты измерения диаметра пленки

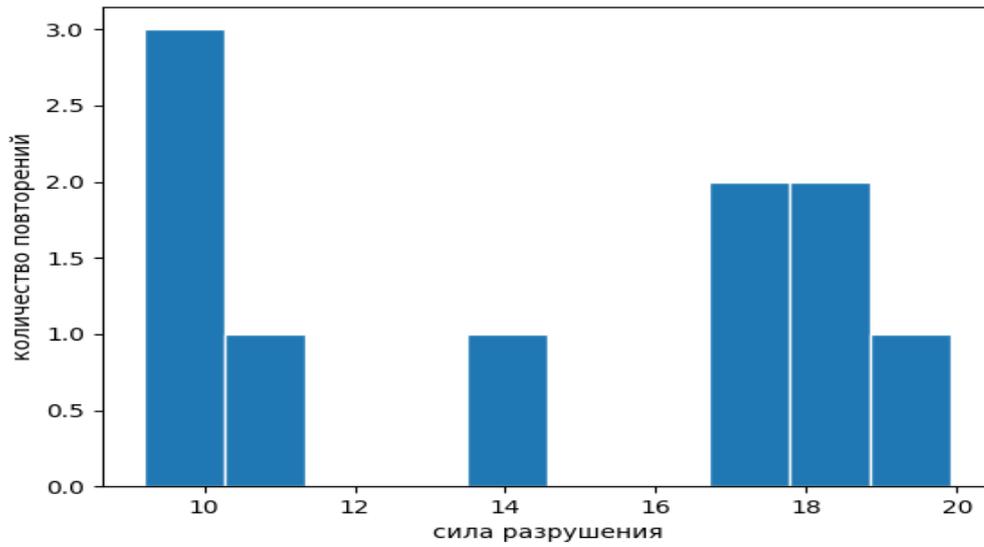


Рисунок 6. Результаты измерения силы разрушения

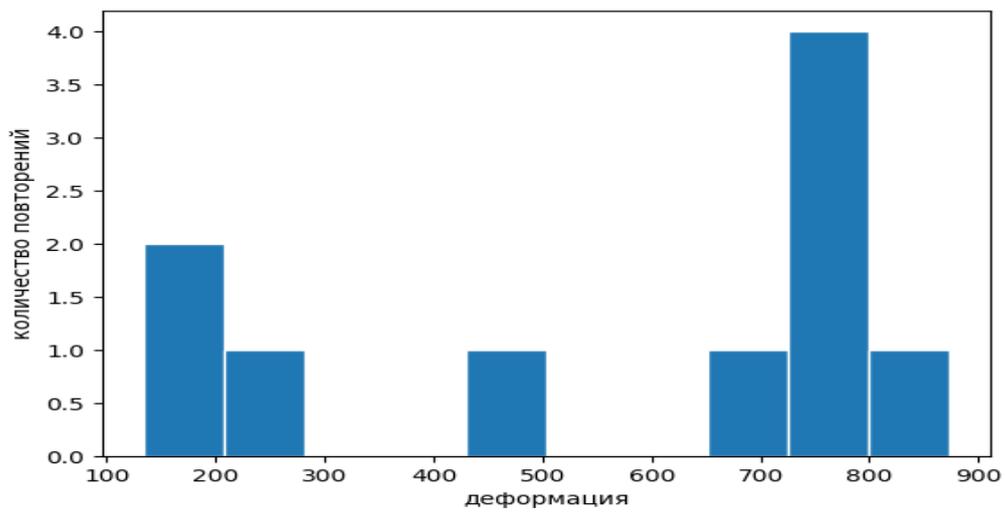


Рисунок 7. Результаты деформации пленки

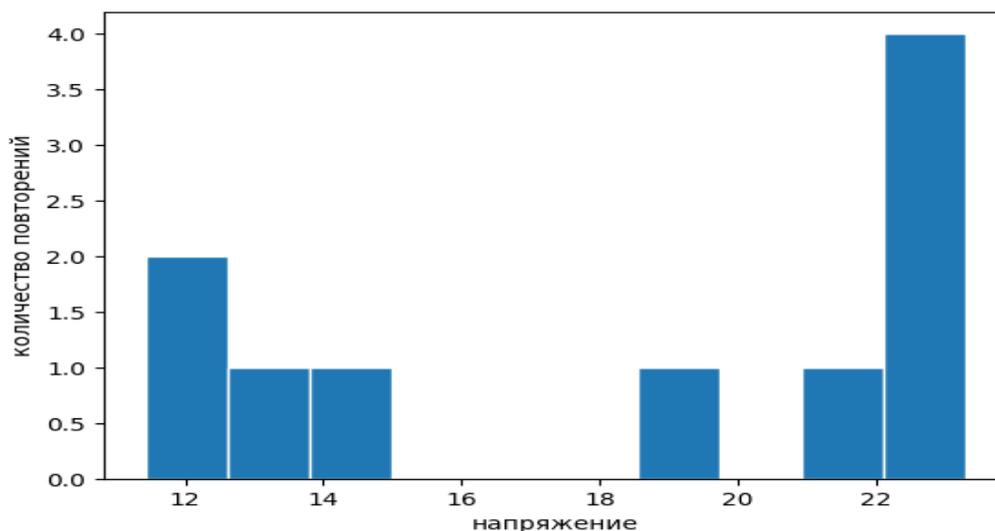


Рисунок 8. Результаты напряжения

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 пленки(см. рисунки ниже):

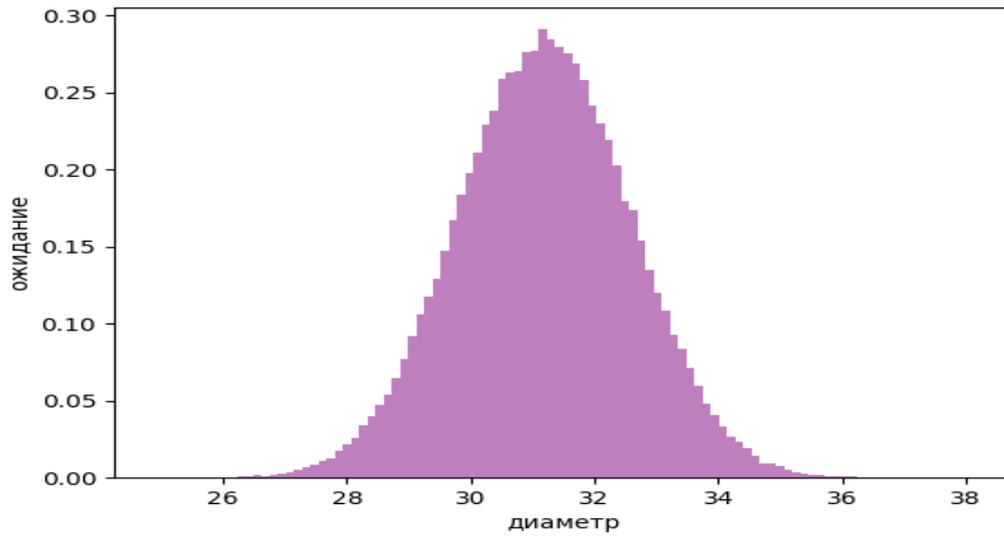


Рисунок 9. Нормальное распределение результатов диаметра пленки

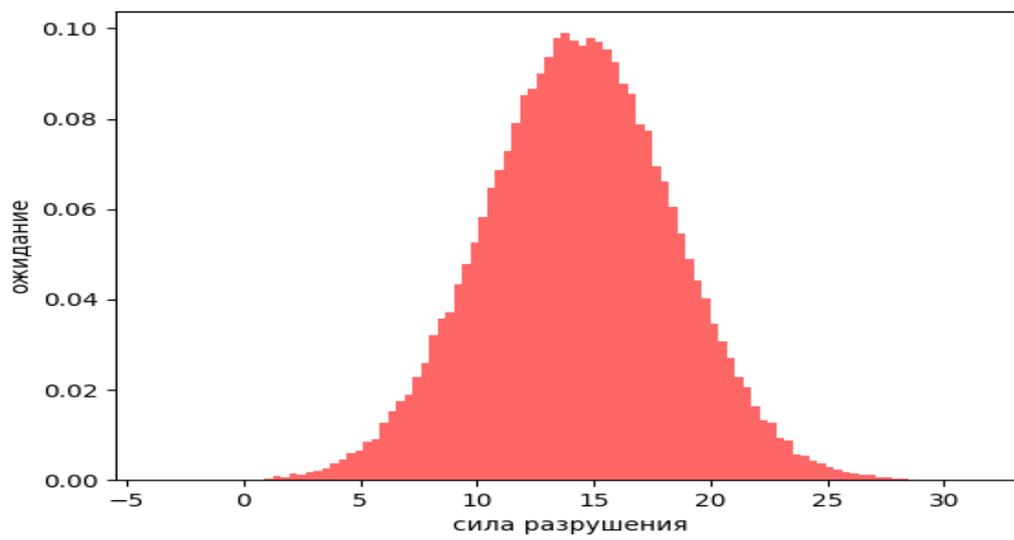


Рисунок 10. Нормальное распределение результатов силы разрушения

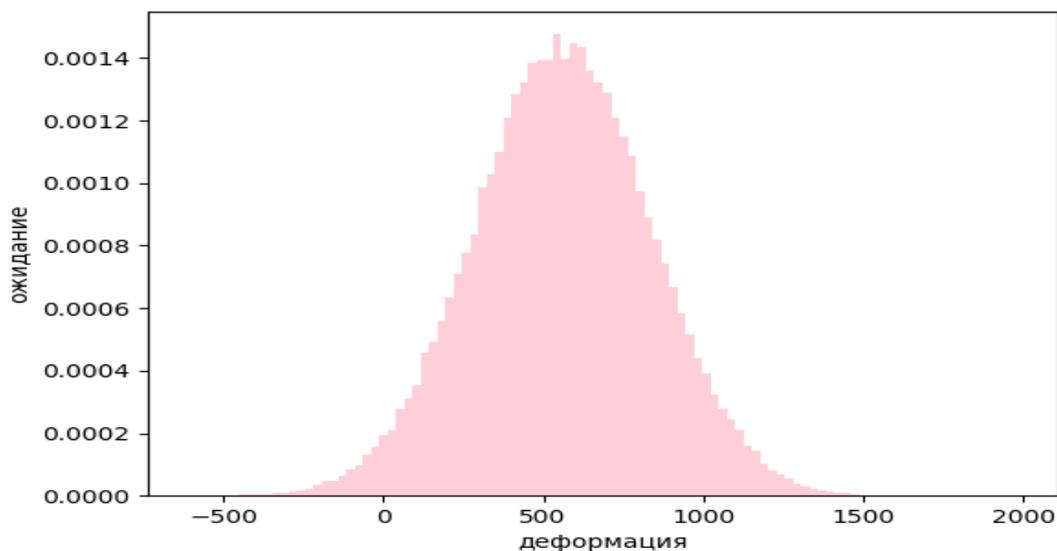


Рисунок 11. Нормальное распределение результатов деформации

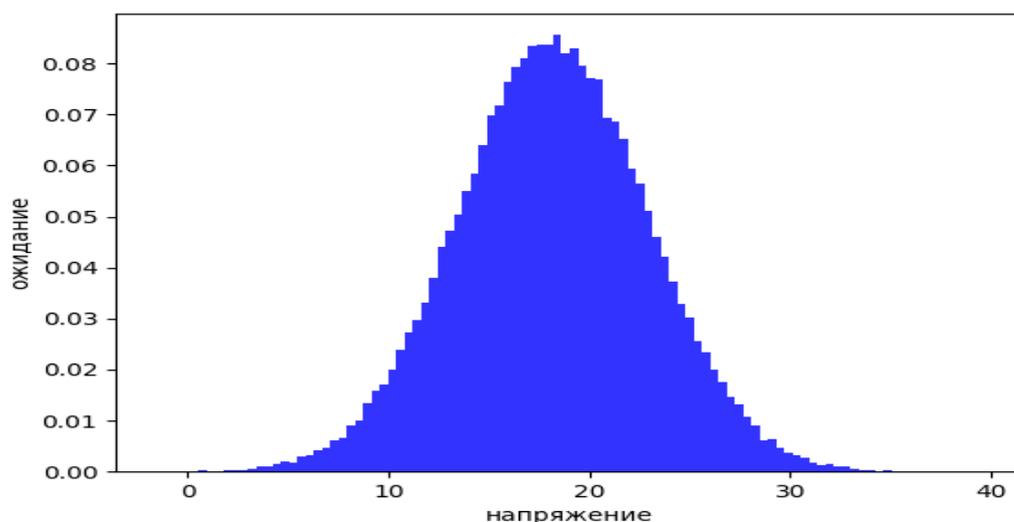


Рисунок 12. Нормальное распределение результатов напряжения

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 пленки. Получены нормальные распределения результатов измерения диаметра пленки, силы разрыва, деформации и растягивающего напряжения. В дальнейшем эти же методы могут быть применены к измерению иных параметров пленки.