

Статистическое моделирование в задачах исследования умных материалов

Д.М. Кононов, М.Д. Чернов, Е.Д. Дрокина, М.Е. Курилкин

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. 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: плёнка. 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 плёнки
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

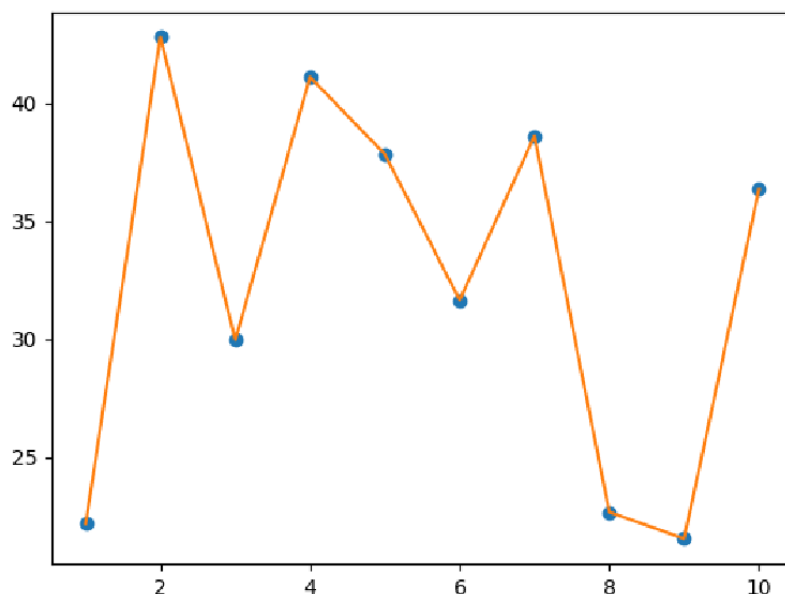
Постановка задачи

В рамках выполнения настоящей исследовательской работы были использованы несколько лабораторных образцов пищевой плёнки. 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:

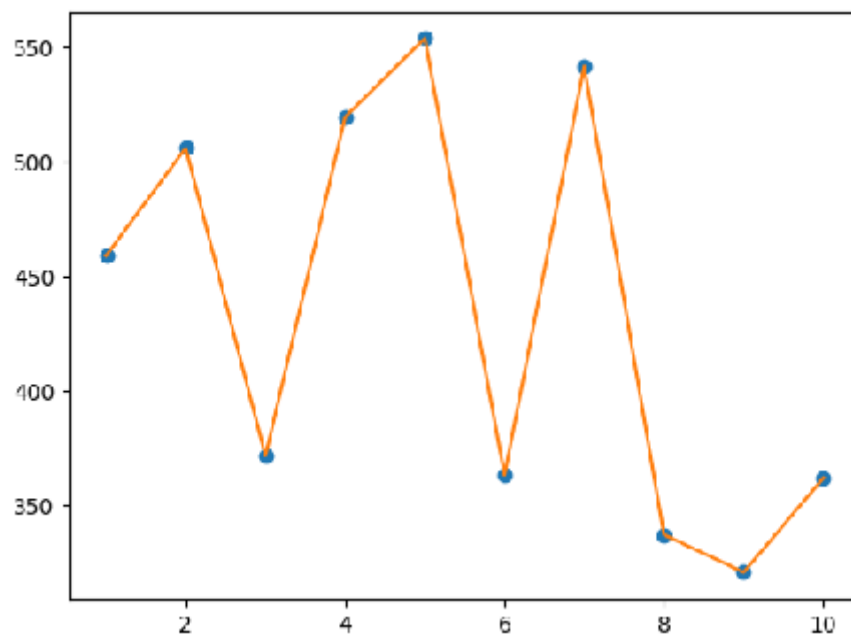
1. Электронный штангенциркуль, нержавеющая сталь, ЗУБР ШЦЦ-I-100-0,01 100мм 34463-100, с пределом допускаемой погрешности 0,01 мм
2. Универсальная разрывная машина Instron 34ТМ-10, пневматические захваты бокового действия
3. ИШН-10, тераомметр Е6-13А

Результаты измерений

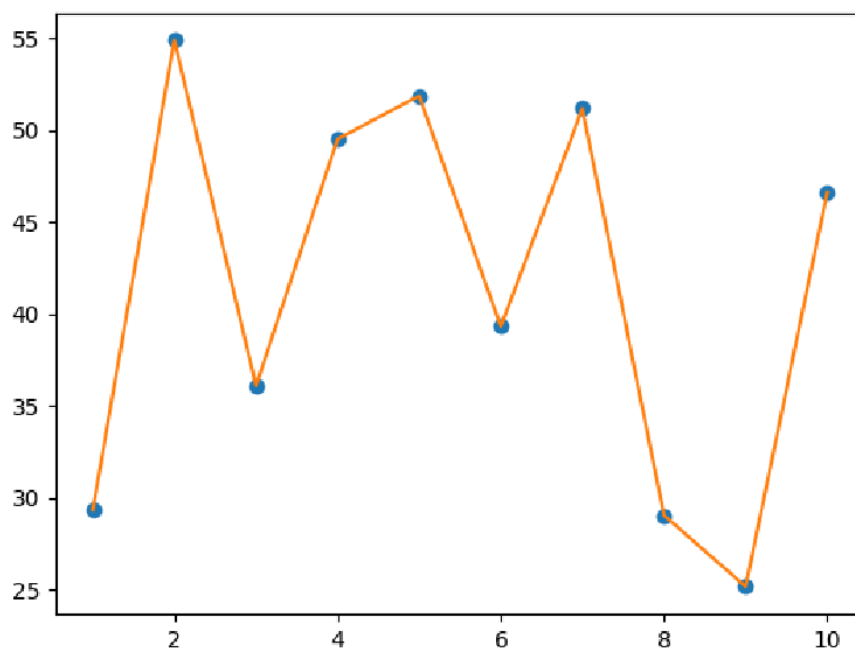
Каждый тип измерения проводился серией из 10 измерений, результаты которых записывались в файлы формата JSON, который является общепринятым для современных научных исследований в различных областях. Полученные данные были импортированы из файлов в небольшой обработчик, написанный на языке программирования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



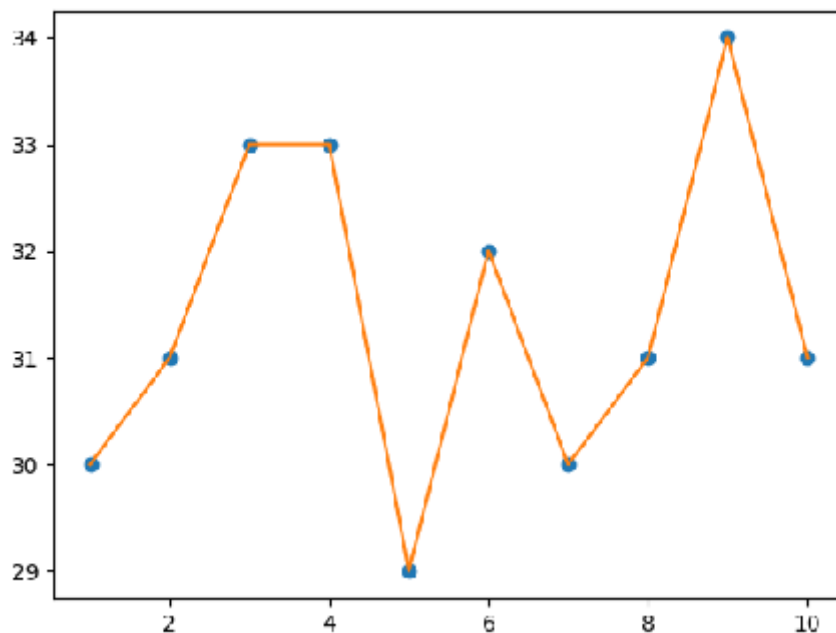
Сила разрушения, Н



Растяжимая деформация, %



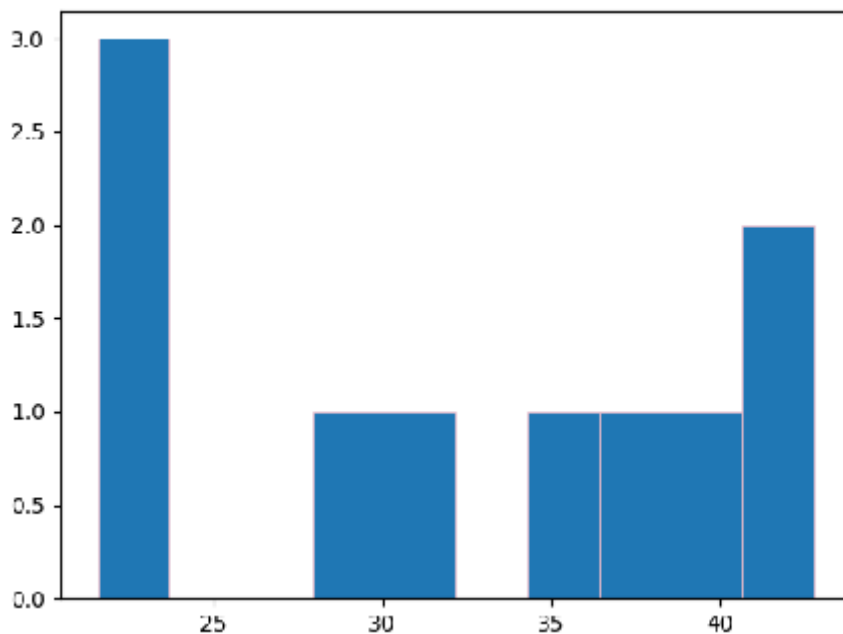
Напряжение при разломе, МПа



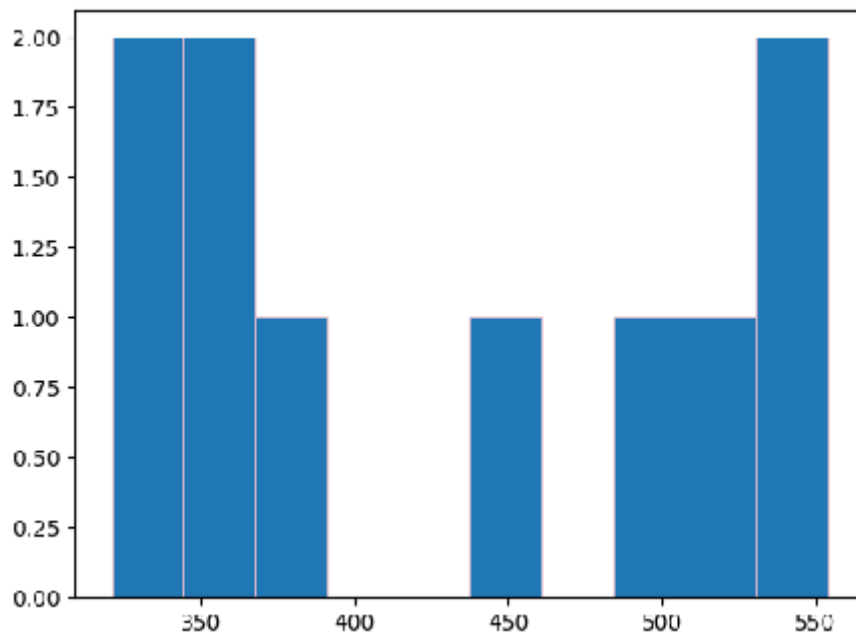
Напряжение, мм

Использование статистических методов

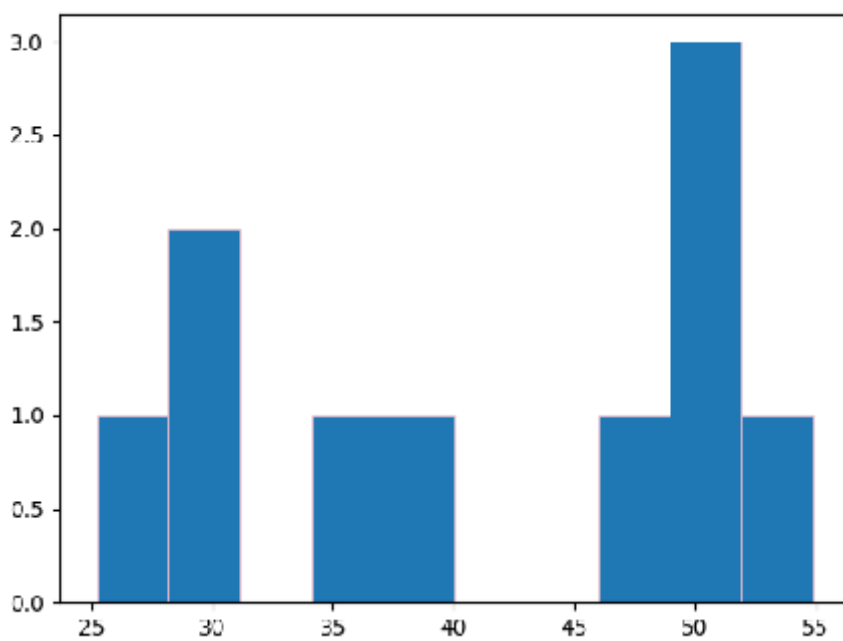
Полученные в результате измерений и экспериментов данные очевидно недостаточны для применения к ним общепринятых методов анализа ввиду недостаточности измерений в имеющихся выборках. Для иллюстрации этого утверждения попробуем построить вероятностное распределение полученных результатов в наглядном виде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



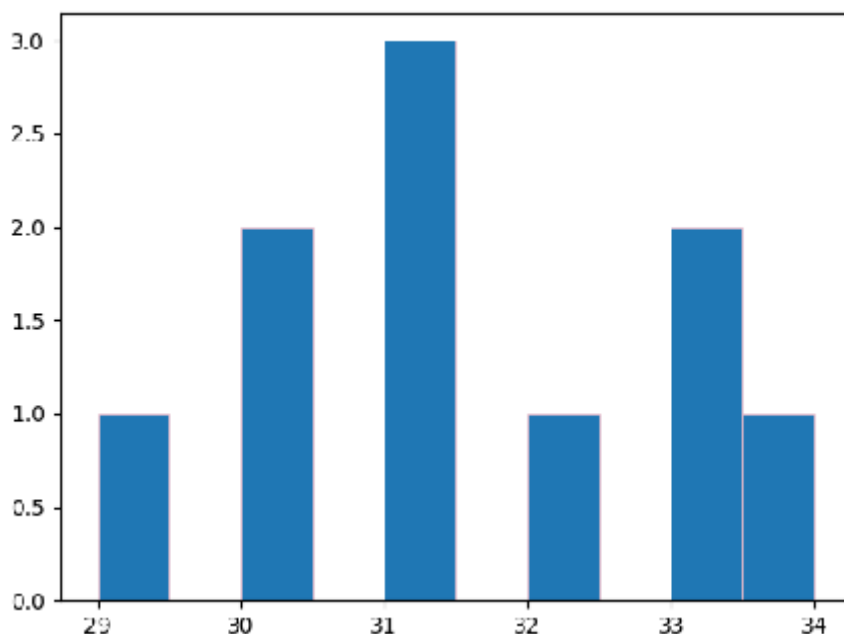
Сила разрушения, Н



Растяжимая деформация, %



Напряжение при разломе, МПа



Напряжение, мм

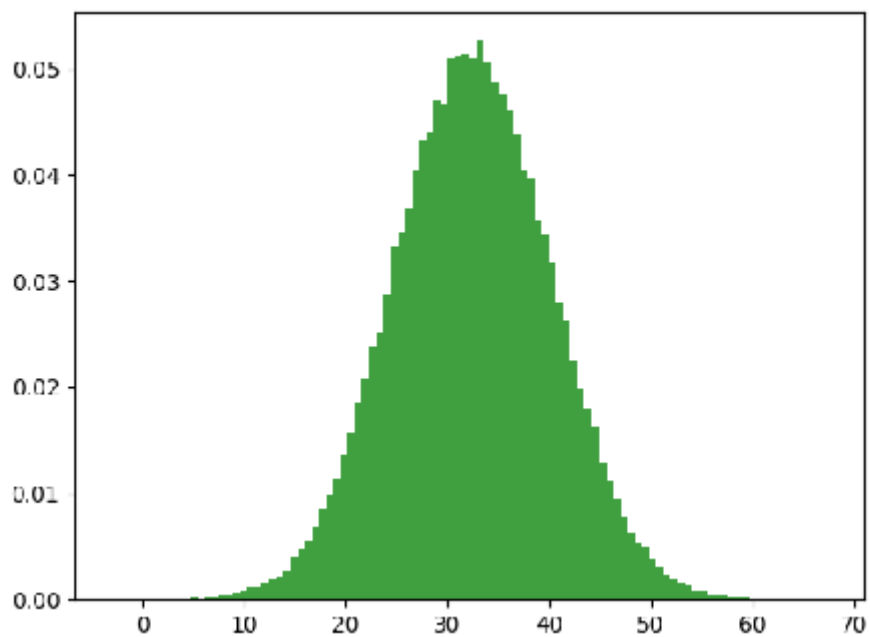
Приведённые диаграммы наглядно иллюстрируют несоответствие полученных результатов требованиям статистического анализа. Для исправления этой ситуации было использовано статистическое моделирование с целью получения нормального распределения измеряемой величины, которое можно будет использовать для дальнейшего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

1. Математическое ожидание μ ;
2. Среднеквадратичное отклонение σ ;

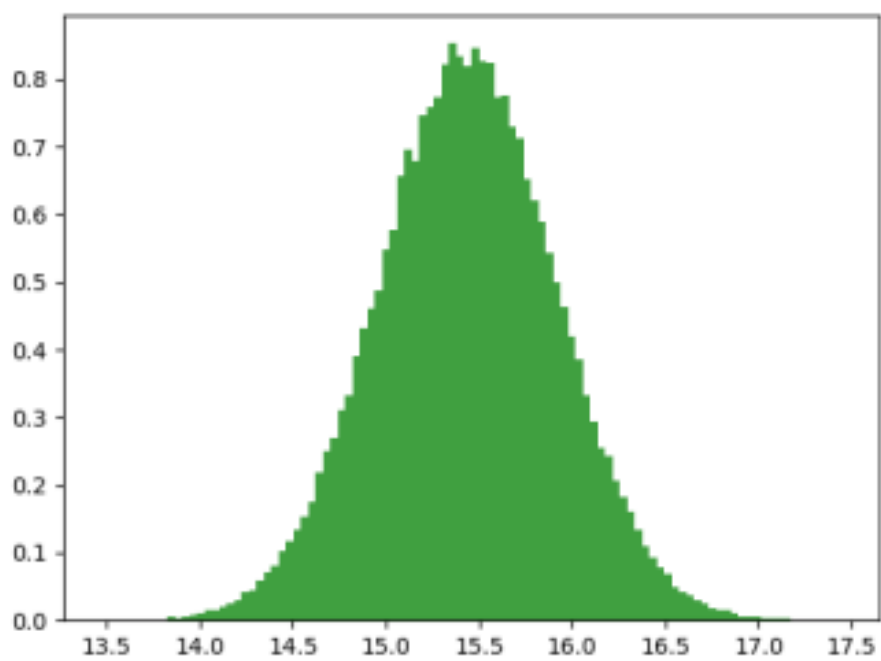
Вышеперечисленные параметры позволили определить нормальное распределение для каждой из серий измерений с помощью следующей формулы:

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

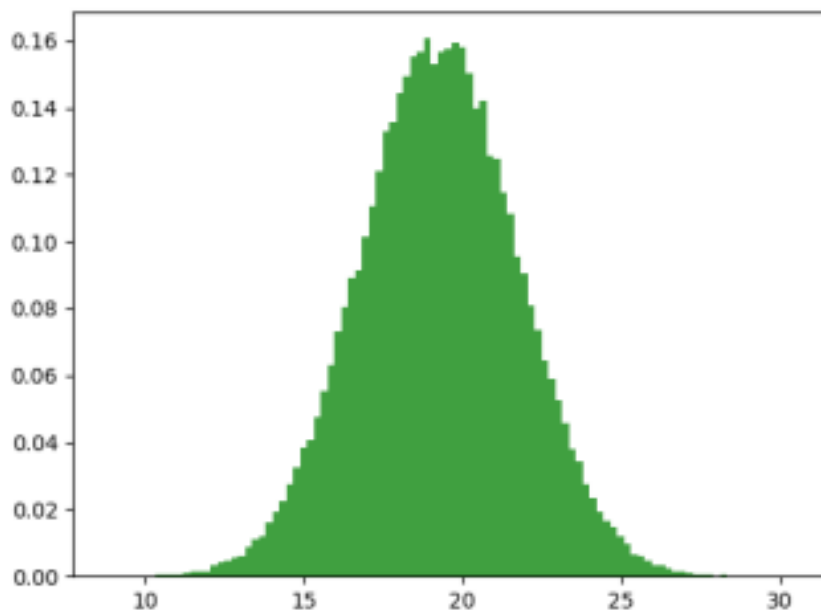
С помощью средств языка программирования Python, включая библиотеки `numpy` и `matplotlib`, значения распределения $f(x)$ могут быть получены с заданной частотой дискретизации, заведомо достаточной для проведения дальнейшего их анализа. Так, в рамках настоящей работы были получены следующие графики нормального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



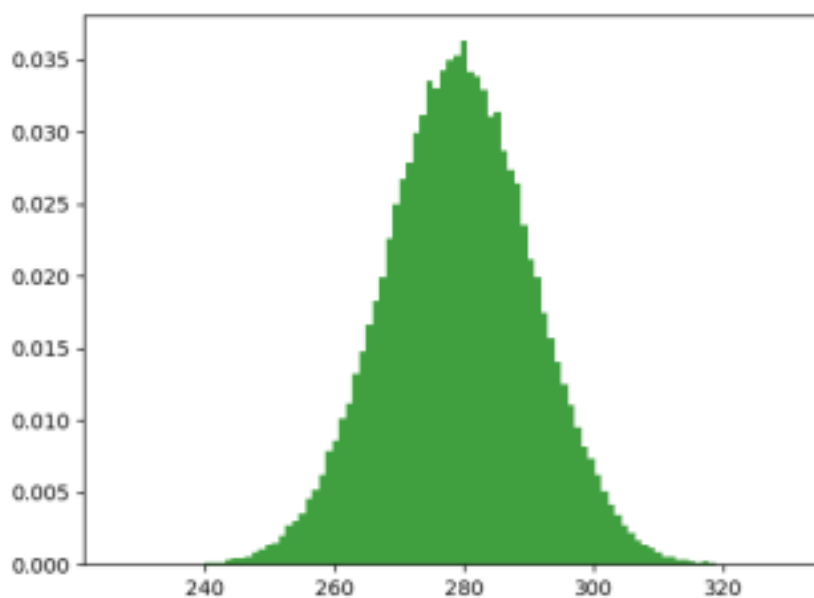
Сила разрушения, Н



Растяжимая деформация, %



Напряжение при разломе, МПа



Напряжение, мм

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