МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение

высшего образования

«Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

(национальный исследовательский университет)»

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

**по курсу**

«Data Science»

Слушатель Абдалов Арсентий Владимирович

Москва, 2024

# Содержание

[Содержание 2](#_Toc106375636)

[Введение 3](#_Toc106375637)

[1 Аналитическая часть 4](#_Toc106375638)

[1.1 Постановка задачи 4](#_Toc106375639)

[1.2 Описание используемых методов 6](#_Toc106375640)

[1.3 Разведочный анализ данных 6](#_Toc106375641)

[2 Практическая часть 17](#_Toc106375642)

[2.1 Предобработка данных 17](#_Toc106375643)

[2.2 Разработка и обучение модели 18](#_Toc106375644)

[2.3 Тестирование модели 18](#_Toc106375645)

[2.4 Нейронная сеть 19](#_Toc106375646)

[2.5 Разработка приложения 20](#_Toc106375647)

[3 Создание удаленного репозитория 21](#_Toc106375648)

[Заключение 22](#_Toc106375649)

[Библиографический список 23](#_Toc106375650)

# Введение

Данная работа выполнена в рамках курса Data Science.

В качестве анализируемой задачи принята тема «Прогнозирование конечных свойств новых материалов (композиционных материалов).

# 1 Аналитическая часть

## 1.1 Постановка задачи

Тема: Прогнозирование конечных свойств новых материалов (композиционных материалов).

Достаточно известно определение, согласно которому: композиты – это материалы, состоящие из двух или более компонентов (армирующих элементов и скрепляющей их матрицы) и обладающие свойствами, отличными от суммарных свойств компонентов.

При этом предполагается, что компоненты, входящие в состав композита, должны быть хорошо совместимыми и не растворяться или иным способом поглощать друг друга.

В широком смысле композиционный материал – это любой материал с гетерогенной структурой, т. е. со структурой, состоящей минимум из двух фаз.

Такое определение позволяет отнести к композиционным материалам абсолютное большинство металлических материалов, поскольку они либо намеренно создаются многофазными, либо считаются однофазными, но в них есть неметаллические включения. Полимерные материалы также можно отнести к композитам, поскольку кроме основного компонента (полимера) в них присутствуют различные наполнители, красители и др. Материалы природного происхождения (кости человека и животных, древесина) также можно отнести к композиционным.

Например, древесина представляет собой композицию из пучков целлюлозных волокон трубчатого строения, скрепленных матрицей из органического вещества – лигнина.

Для того чтобы выделить композиционные материалы искусственного происхождения, подчеркнуть их характерные особенности наиболее полным считается определение, согласно которому к композитам относятся материалы, обладающие рядом признаков:

1. состав, форма и распределение компонентов материала «запроектированы заранее»;

2. материал не встречается в природе, а создан человеком;

3. материал состоит из двух или более компонентов, различающихся по химическому составу и разделенных выраженной границей;

4. свойства материала определяются каждым из его компонентов,

которые должны присутствовать в материале в достаточно больших количествах (больше некоторого критического содержания);

5. материал обладает такими свойствами, которых не имеют его

компоненты, взятые в отдельности;

6. материал неоднороден в микромасштабе и однороден в макромасштабе

Композиционные материалы — это искусственно созданные материалы, состоящие из нескольких других с четкой границей между ними. Композиты обладают теми свойствами, которые не наблюдаются у компонентов по отдельности. При этом композиты являются монолитным материалом, т. е. компоненты материала неотделимы друг от друга без разрушения конструкции в целом. Яркий пример композита - железобетон. Бетон прекрасно сопротивляется сжатию, но плохо растяжению. Стальная арматура внутри бетона компенсирует его неспособность сопротивляться сжатию, формируя тем самым новые, уникальные свойства. Современные композиты изготавливаются из других материалов: полимеры, керамика, стеклянные и углеродные волокна, но данный принцип сохраняется. У такого подхода есть и недостаток: даже если известны характеристики исходных компонентов, определить характеристики композита, состоящего из этих компонентов, достаточно проблематично. Для решения этой проблемы есть два пути: физические испытания образцов материалов, или прогнозирование характеристик. Суть прогнозирования заключается в симуляции представительного элемента объема композита, на основе данных о характеристиках входящих компонентов (связующего и армирующего компонента).

В качестве входных данных приняты данные о начальных свойствах компонентов композиционных материалов:

* Соотношение матрица-наполнитель ;
* Плотность;
* Модуль упругости;
* Количество отвердителя;
* Содержание эпоксидных групп;
* Температура вспышки;
* Поверхностная плотность;
* Модуль упругости при растяжении;
* Прочность при растяжении;
* Потребление смолы;
* Угол нашивки;
* Шаг нашивки;
* Плотность нашивки.

Общее количество параметров для анализа – 13.

Датасеты были объединены по индексу тип объединения INNER.

Итоговый датасет нормализованный, пропуски отсутствуют. Элементы массива соответствуют типу float64.

На выходе необходимо спрогнозировать ряд конечных свойств получаемых композиционных материалов. Кейс основан на реальных производственных задачах Центра НТИ «Цифровое материаловедение: новые материалы и вещества» (структурное подразделение МГТУ им. Н.Э. Баумана).

**Актуальность:** Созданные прогнозные модели помогут сократить количество проводимых испытаний, а также пополнить базу данных материалов возможными новыми характеристиками материалов, и цифровыми двойниками новых композитов.

## 1.2 Описание используемых методов

Для решения поставленной задачи выбраны методы:

* решение задачи регрессии для прогнозирования параметров: модуля упругости и прочности при растяжении. Для решения задачи регрессии использовались: линейная регрессия и случайный лес.

Оценка качества моделей указана на рисунке 1, где «МУ» – модель для параметра «Модуль упругости»; «ПР» - модель для параметра «Прочность при растяжении».

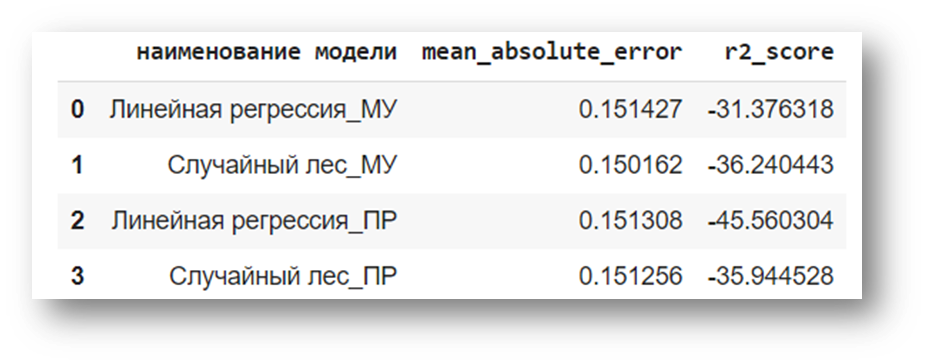


Рисунок 1 - Оценка качества моделей

Средняя абсолютная ошибка (mean\_absolute\_error) для всех моделей находится около 0,15.

Коэффициент детерминации (r2\_score) принимает отрицательные значения для всех моделей.

## 1.3 Разведочный анализ данных

Для разведочного анализа данных использованы методы описательной статистики.

Датасет был проверен на наличие пропусков в значениях (команда df.isna().sum()). Пропусков обнаружено не было.

Команда Describe () позволила выявить наличие дискретной величины, принимающей значения 0 и 90 (параметр «Угол нашивки»), а также основные значения для всех параметров.

С помощью построения гистограмм было выявлено распределение величин, близкое к нормальному, для большей части параметров (исключение составили: поверхностная плотность – распределение со смещением вправо; угол нашивки – дискретная величина, график оказался не показателен).

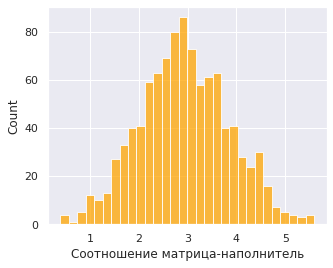


Рисунок 2 – Гистограмма «Соотношение матрица-наполнитель»

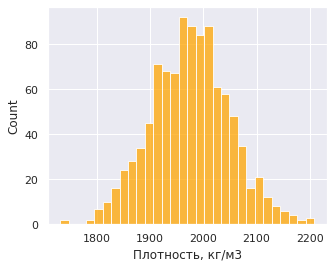


Рисунок 3 – Гистограмма «Плотность»

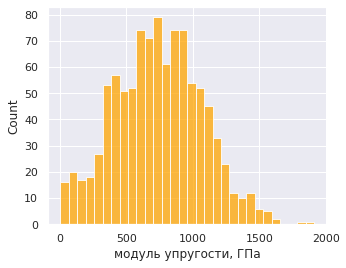


Рисунок 4 – Гистограмма «Модуль упругости»



Рисунок 5 – Гистограмма «Количество отвердителя»

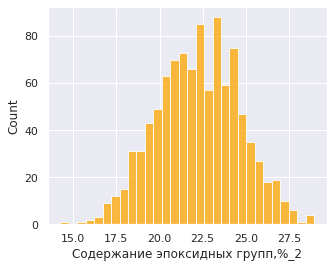


Рисунок 6 – Гистограмма «Содержание эпоксидных групп»

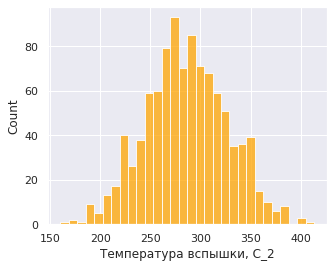


Рисунок 7 – Гистограмма «Температура вспышки»

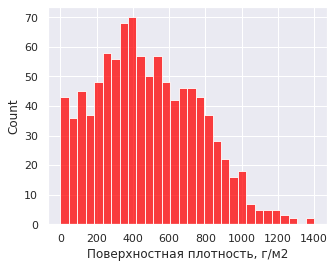


Рисунок 8 – Гистограмма «Поверхностная плотность»

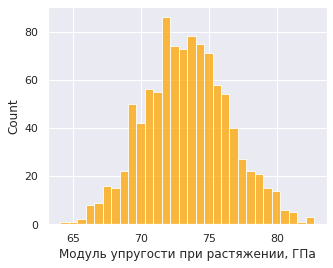


Рисунок 9 – Гистограмма «Модуль упругости при растяжении»

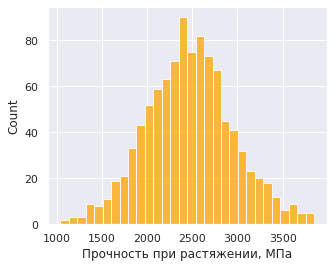


Рисунок 10 – Гистограмма «Прочность при растяжении»

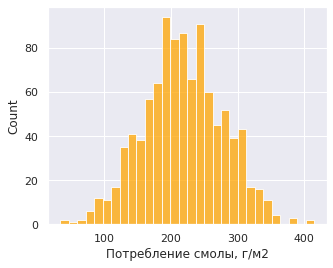


Рисунок 11 – Гистограмма «Потребление смолы»

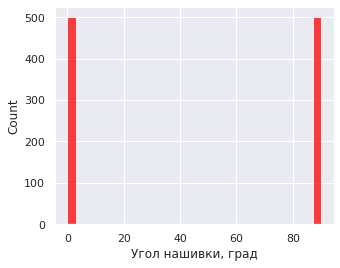


Рисунок 12 – Гистограмма «Угол нашивки»



Рисунок 13 – Гистограмма «Шаг нашивки»



Рисунок 14 – Гистограмма «Плотность нашивки»

С помощью диаграммы «ящик с усами» для всех параметров были выявлены выбросы.

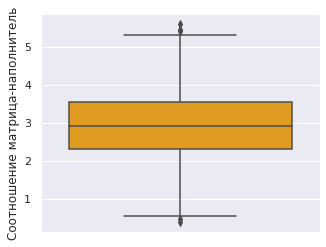


Рисунок 15 – Диаграмма «Соотношение матрица-наполнитель»

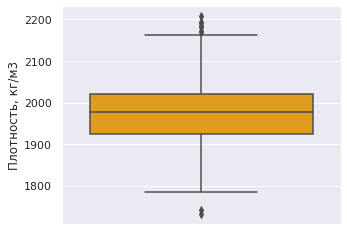


Рисунок 16 – Диаграмма «Плотность»

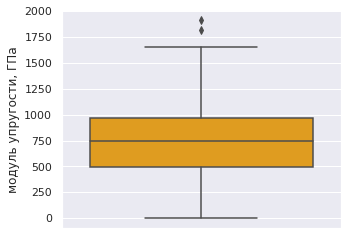


Рисунок 17 – Диаграмма «Модуль упругости»

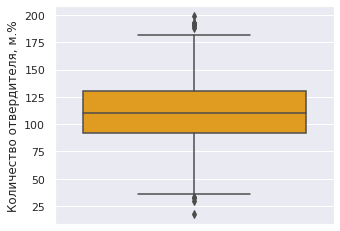


Рисунок 18 – Диаграмма «Количество отвердителя»

Изображение выглядит как стол

Автоматически созданное описание

Рисунок 19 – Диаграмма «Содержание эпоксидных групп»

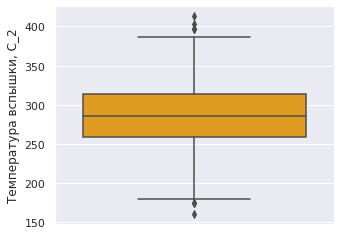


Рисунок 20 – Диаграмма «Температура вспышки»

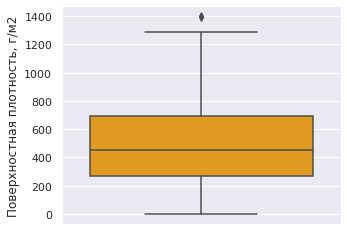


Рисунок 21 – Диаграмма «Поверхностная плотность»

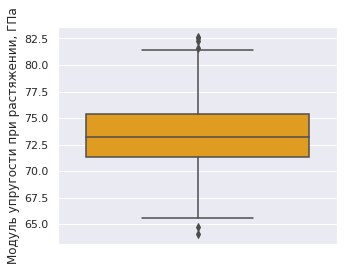


Рисунок 22 – Диаграмма «Поверхностная плотность»

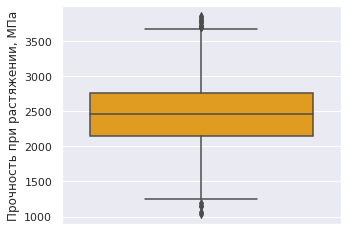


Рисунок 23 – Диаграмма «Прочность при растяжении»

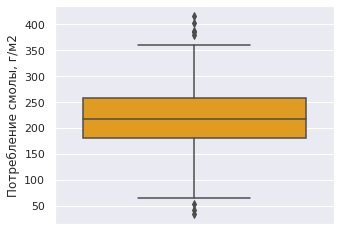


Рисунок 24 – Диаграмма «Потребление смолы»



Рисунок 25 – Диаграмма «Угол нашивки»

Изображение выглядит как стол

Автоматически созданное описание

Рисунок 26 – Диаграмма «Шаг нашивки»

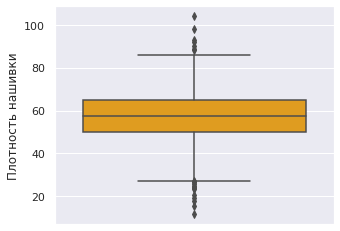


Рисунок 27 – Диаграмма «Плотность нашивки»

Выбросы наблюдаются по всем параметрам, кроме угла нашивки, т.к. данный параметр принимает дискретные значения и диаграмма «ящик с усами» для него не показательна.

Также следует отметить наличие выбросов с двух сторон (например, прочность при растяжении), наличие выбросов со стороны наименьших значения (например, содержание эпоксидных групп), наличие выбросов со стороны наибольших значений (например, шаг нашивки).

Для разведочного анализа было использовано также построение попарных графиков рассеяния точек. Графики для всех параметров показали отсутствие зависимости между переменными датасета.

На рисунке 28 приведена тепловая карта коэффициентов корреляции, значения которой показывают, что все полученные коэффициенты корреляции находятся в промежутке значений от - 0,25 до 0,25. Исходя из этого можно сделать вывод, что исходный датасет был предварительно обработан (либо сгенерирован) и переменные являются независимыми.

Изображение выглядит как стол

Автоматически созданное описание

Рисунок 28 – Тепловая карта коэффициентов корреляции

# 2 Практическая часть

## 2.1 Предобработка данных

Предобработка данных осуществлялась на основании разведочного анализа данных, который показал наличие выбросов. Для удаления выбросов был произведен расчет количества выбросов для каждого параметра, данные приведены на рисунке 29.

Изображение выглядит как текст

Автоматически созданное описание

Рисунок 29 – Расчет количества выбросов

Количество выбросов говорит о их незначительности, соответственно, данные значения можно удалить из датасета.

Размер датасета после удаления выбросов и проверка наличия пропусков:

* Количество строк в очищенном датасете: 918;
* Количество столбцов (переменных) в очищенном датасете: 13;
* Количество пропусков в данных очищенного датасета: 0.

Вызов команды df\_used.describe() для датасета показывает, что количество строк датасета уменьшилось. Датасет очищен от выбросов.

Для выделения наиболее весомых признаков датасета использован факторный анализ.

С помощью метода главных компонент были получены значения влияния 90% факторов (данные приведены на рисунке 30). Указанные значения позволяют сделать вывод о том, что влияние очень слабое.

Изображение выглядит как текст

Автоматически созданное описание

Рисунок 30 – Вклад влияния 90% факторов

С целью определения весов характеристик датасета для первых пяти факторов влияния был проведен анализ, последовательно добавляя по одному фактору. Полученные результаты

* Для двух факторов: выделить наименование и смысл нового фактора сложно. но можно увидеть высокие доли характеристик внутри факторов: модуль упругости, ГПа, Температура вспышки, С\_2 Плотность нашивки;
* Для трех факторов: выделить наименование и смысл нового фактора сложно. Но можно увидеть высокие доли характеристик внутри факторов: Количество отвердителя, м.% Плотность, кг/м3 Плотность нашивки;
* Для четырех факторов: выделить наименование и смысл нового фактора сложно. Но можно увидеть высокие доли характеристик внутри факторов: Количество отвердителя, м.% Плотность, кг/м3 Плотность нашивки Угол нашивки, град;
* Для пяти факторов: выделить наименование и смысл нового фактора сложно. Но можно увидеть высокие доли характеристик внутри факторов: Количество отвердителя, м.% Плотность, кг/м3 Плотность нашивки Угол нашивки, град Потребление смолы, г/м2.

Анализ полученных результатов показывает, что возможно характеристики: Количество отвердителя, Плотность нашивки, Плотность, Угол нашивки, Потребление смолы, являются наиболее существенными для построения будущих моделей.

Для дальнейшей разработки и обучения модели была выполнена нормализация данных с помощью MinMaxScaler.

## 2.2 Разработка и обучение модели

В качестве модели выбрана линейная регрессия и случайный лес. Обучение и тестирование производилось для двух параметров: модуль упругости и прочность при растяжении (в соответствии с условиями задачи).

При построении моделей «Случайный лес» был осуществлен поиск гиперпараметров модели с помощью поиска по сетке с перекрестной проверкой На рисунке 1 приведен анализ качества разработанных моделей.

## 2.3 Тестирование модели

Из датасета была выделена прогнозируемая (зависимая) переменная. Далее, выборка была разделена на обучающую и тестовую выборки, в соответствии с условием задачи 70% (на обучение) /30% (на тестирование).

Размер обучающей выборки: 642.

Размер тестовой выборки: 276.

## 2.4 Нейронная сеть

В качестве нейронной сети был принят многослойный персептрон.

Гиперпараметры модели:

- количество скрытых слоев = 3;

- количество нейронов на слое = 256 и 64;

- активационная функция «relu»;

- количество нейронов на выходном слое = 1;

- оптимизатор «Adam»;

Обучение модели происходило за 20 эпох (количество задано после поиска опытным путем наиболее приемлемого распределения MSE и общих результатов обучения модели). Результат изменения MSE модели указан на рисунке 31. MSE уменьшается со временем по мере выполнения алгоритма. Это означает, что модель приближаемся к оптимальному решению.

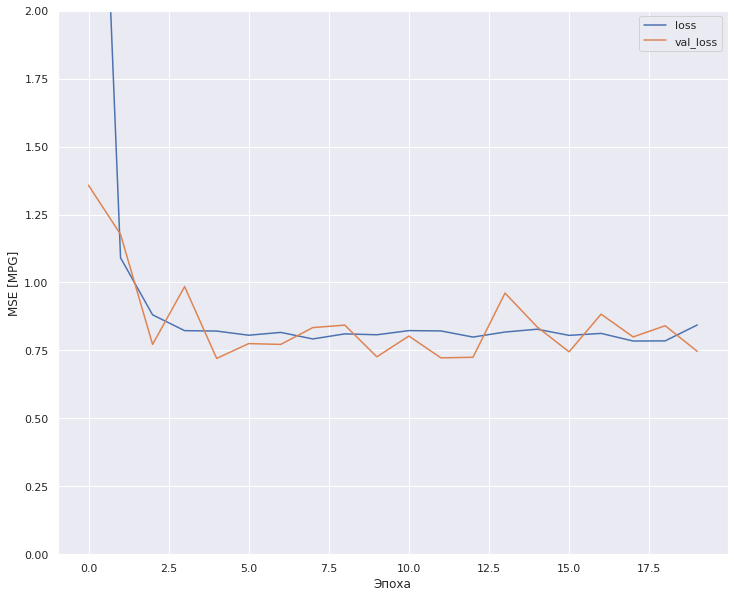


Рисунок 31 – Изменение MSE за время обучения модели

Ошибка в основном распределяется между -1 и 1, где 0 не является наибольшим. Это показывает, что модель обучения не совсем подходящая, ее можно улучшить, приведя значение ошибки к 0. Гистограмма распределения ошибки приведена на рисунке 32.

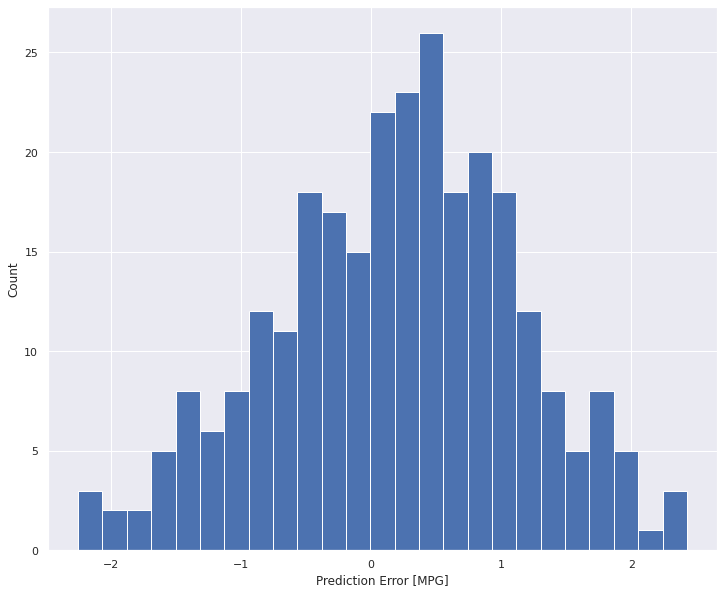


Рисунок 32 – Распределение ошибки

## 2.5 Разработка приложения

Приложение было разработано с помощью Flask.

В интерфейсе использованы наименования параметров из датасета (скриншот приведен на рисунке 33).

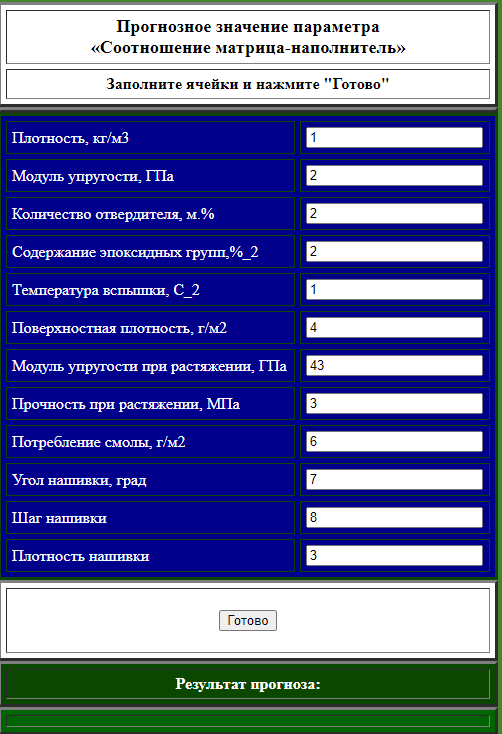


Рисунок 33 – Интерфейс приложения

При введении интересуемых данных и после нажатия кнопки «отправить» приложение, на основании модели, будет выводить рекомендуемое значение соотношение матрица – наполнитель.

# 3 Создание удаленного репозитория

Страница слушателя на GitLab и GitHub

Созданный репозиторий:

https://gitlab.com/sam860507/datascience.git

https://github.com/Dmitriy-afk/data\_science.git

# Заключение

В ходе выполнения ВКР были изучены способы анализа и предобработки данных. Построенные модели показали, что исходный датасет является предобработанным и не содержит реальных значений для отработки обучения и тренировки моделей.

Полученная модель нейронной сети не идеальна, но позволяет предсказывать значения, близкие к средним значениям параметров.

# Библиографический список

1. Л.И. Бондалетова, В.Г. Бондалетов Полимерные композиционные материалы: - Режим доступа - https://portal.tpu.ru/SHARED/b/BONDLI/stud\_work/p\_k\_m\_m/Tab1/Posobie\_PCM.pdf. (дата обращения - 10.06.2022).