



ЦЕНТР
ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ
МГТУ им. Н.Э. Баумана

Прогнозирование конечных свойств новых материалов (композиционных материалов)

Яппарова Вилена Батыровна

Цели и задачи:

- Изучить теоретические основы и методы решения поставленной задачи.
- Провести разведочный анализ данных.
- Провести предобработку данных.
- Обучить несколько моделей машинного обучения.
- Написать нейронную сеть, которая будет рекомендовать соотношение матрица-наполнитель.
- Оценить точность моделей на тренировочном и тестовом датасете.



Разведочный анализ данных

Название	Файл	Тип данных	Непустых значений	Уникальных значений
Соотношение матрица-наполнитель	X_br	float64	1023	1014
Плотность, кг/м3	X_br	float64	1023	1013
модуль упругости, ГПа	X_br	float64	1023	1020
Количество отвердителя, м.%	X_br	float64	1023	1005
Содержание эпоксидных групп, %_2	X_br	float64	1023	1004
Температура вспышки, C_2	X_br	float64	1023	1003
Поверхностная плотность, г/м2	X_br	float64	1023	1004
Модуль упругости при растяжении, ГПа	X_br	float64	1023	1004
Прочность при растяжении, МПа	X_br	float64	1023	1004
Потребление смолы, г/м2	X_br	float64	1023	1003
Угол нашивки, град	X_nup	float64	1023	2
Шаг нашивки	X_nup	float64	1023	989
Плотность нашивки	X_nup	float64	1023	988

	Среднее	Стандартное отклонение	Минимум	Максимум	Медиана
Соотношение матрица-наполнитель	2.9304	0.9132	0.3894	5.5917	2.9069
Плотность, кг/м3	1975.7349	73.7292	1731.7646	2207.7735	1977.6217
модуль упругости, ГПа	739.9232	330.2316	2.4369	1911.5365	739.6643
Количество отвердителя, м.%	110.5708	28.2959	17.7403	198.9532	110.5648
Содержание эпоксидных групп, %_2	22.2444	2.4063	14.2550	33.0000	22.2307
Температура вспышки, C_2	285.8822	40.9433	100.0000	413.2734	285.8968
Поверхностная плотность, г/м2	482.7318	281.3147	0.6037	1399.5424	451.8644
Модуль упругости при растяжении, ГПа	73.3286	3.1190	64.0541	82.6821	73.2688
Прочность при растяжении, МПа	2466.9228	485.6280	1036.8566	3848.4367	2459.5245
Потребление смолы, г/м2	218.4231	59.7359	33.8030	414.5906	219.1989
Угол нашивки, град	44.2522	45.0158	0.0000	90.0000	0.0000
Шаг нашивки	6.8992	2.5635	0.0000	14.4405	6.9161
Плотность нашивки	57.1539	12.3510	0.0000	103.9889	57.3419

X_br (матрица из базальтопластика):

- признаков: 10 и индекс
- строк: 1023

X_nup (наполнитель из углепластика):

- признаков: 3 и индекс
- строк: 1040

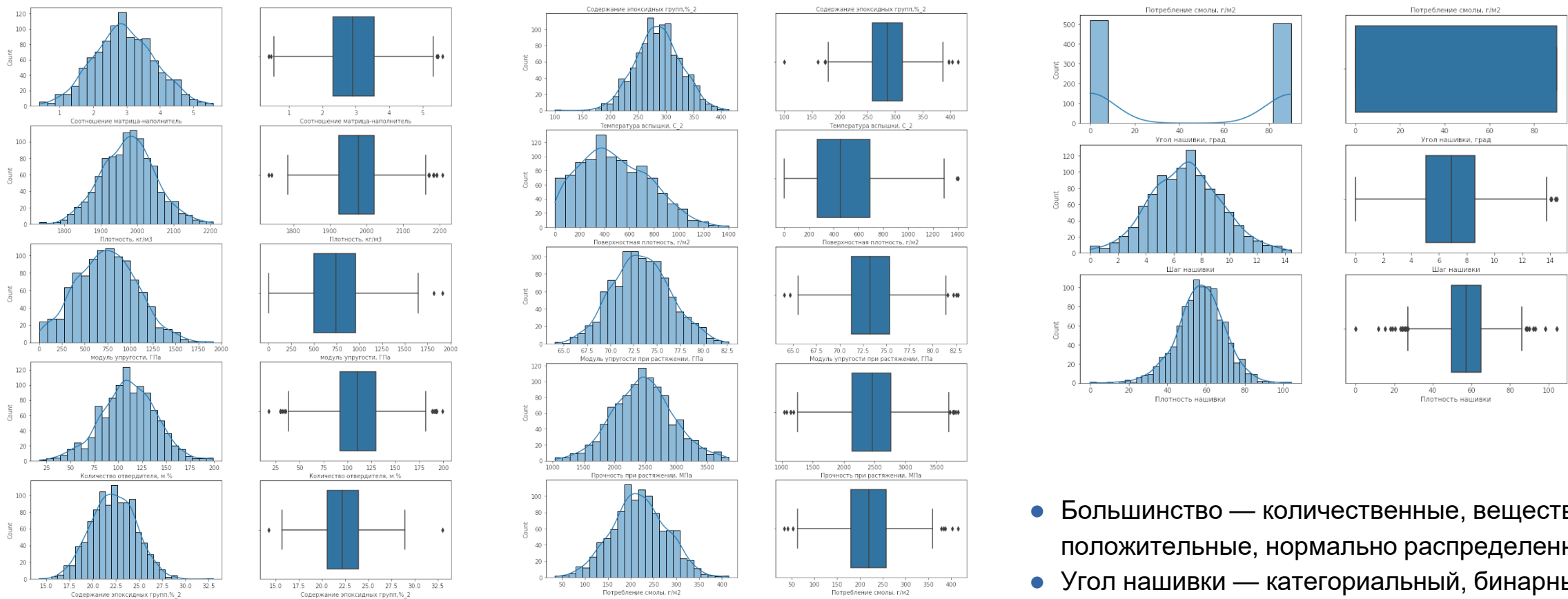
Объединение с типом INNER по индексу, получилось:

- признаков: 13
- строк: 1023

Пропусков нет



Гистограммы распределения и диаграммы “ящик с усами”

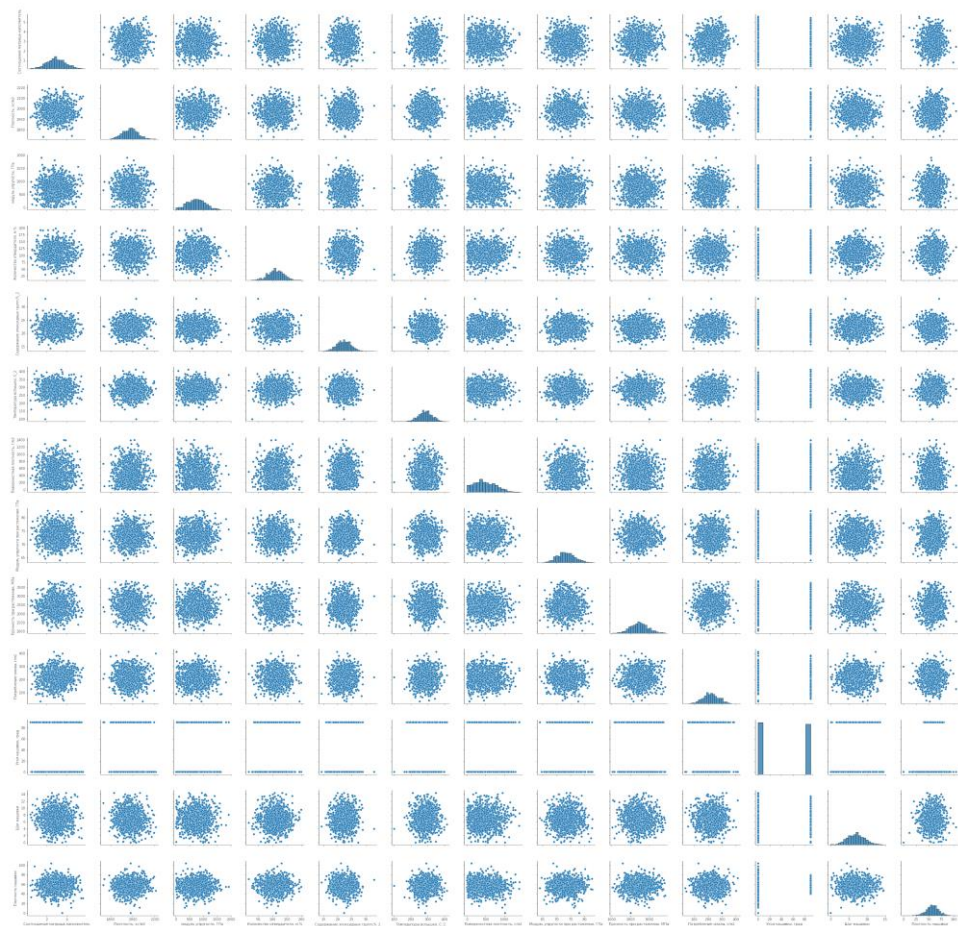


- Большинство — количественные, вещественные, положительные, нормально распределенные
- Угол нашивки — категориальный, бинарный



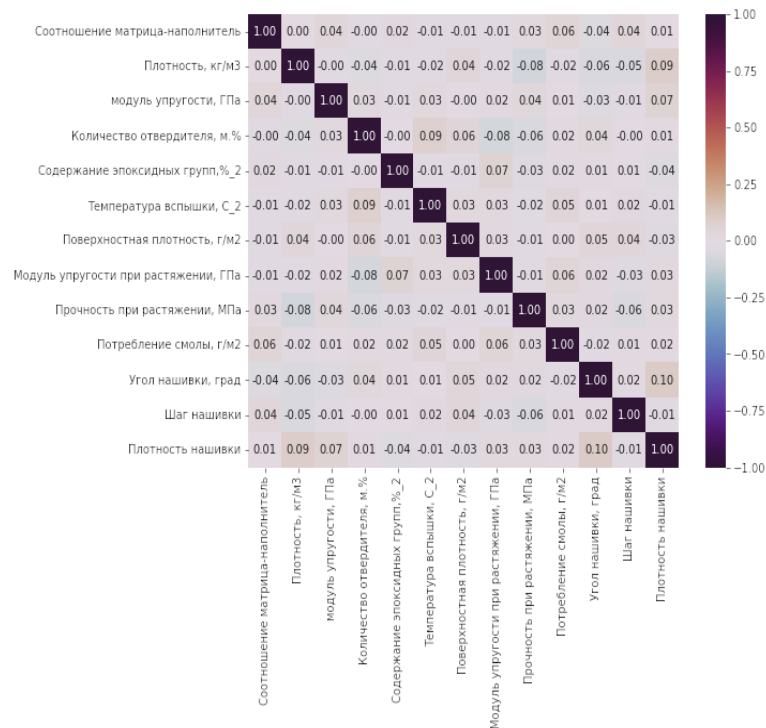
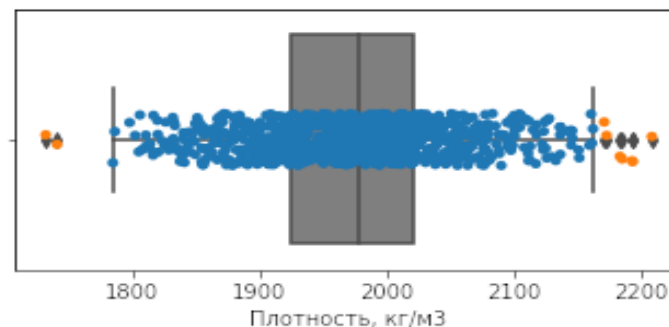
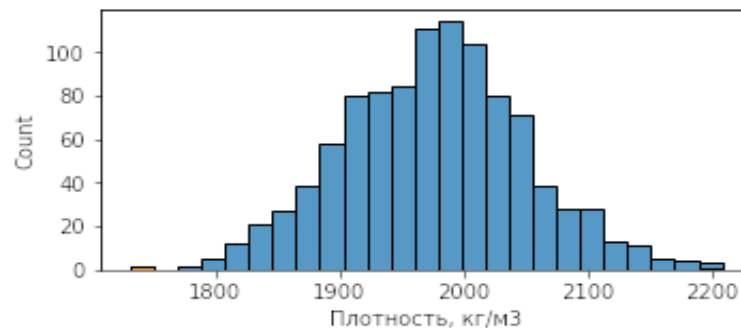
Попарные графики рассеяния точек, выбросы и матрица корреляции.

- Выбросы есть
- Зависимостей нет



Найдено:

- Методом 3-х сигм — 24 выброса
- Методом межквартильных расстояний — 93 выброса
- Линейной зависимостей нет





Модель для модуля упругости при растяжении

Значения выхода от 64 до 83

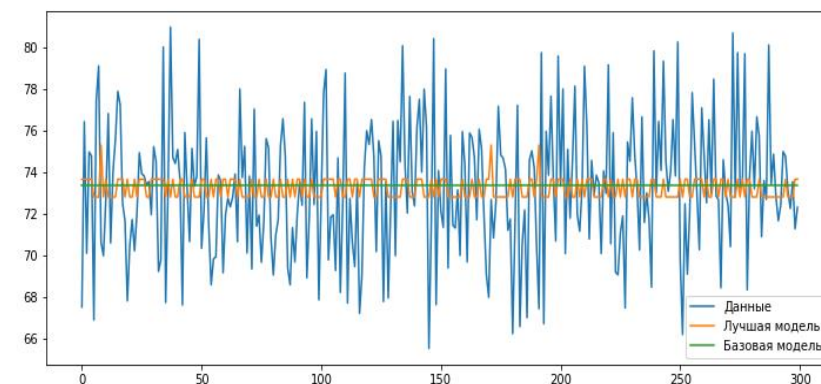
По умолчанию	R2	RMSE	MAE	MAPE	max_error
DummyRegressor	-0.021502	-3.059339	-2.465060	-0.033641	-8.053111
LinearRegression	-0.022620	-3.059379	-2.464305	-0.033641	-8.139731
Ridge	-0.022538	-3.059264	-2.464226	-0.033640	-8.139352
Lasso	-0.021502	-3.059339	-2.465060	-0.033641	-8.053111
SVR	-0.037763	-3.082058	-2.472179	-0.033767	-8.146369
KNeighborsRegressor	-0.197298	-3.312241	-2.624624	-0.035795	-8.876770
DecisionTreeRegressor	-1.229594	-4.485293	-3.545377	-0.048431	-12.178495
RandomForestRegressor	-0.061516	-3.117096	-2.485271	-0.033934	-8.457280

	R2	RMSE	MAE	MAPE	max_error
Базовая модель	-0.001377	-3.222954	-2.577796	-0.035319	-7.800690
Лучшая модель (дерево решений)	-0.035776	-3.277844	-2.610243	-0.035707	-8.152045

	R2	RMSE	MAE	MAPE	max_error
Модуль упругости, тренировочный	0.017295	-3.037284	-2.410294	-0.032850	-9.008468
Модуль упругости, тестовый	-0.035776	-3.277844	-2.610243	-0.035707	-8.152045

После подбора гиперпараметров

	R2	RMSE	MAE	MAPE	max_error
Ridge(alpha=480, solver='lsqr')	-0.013299	-3.046623	-2.455526	-0.033517	-8.071899
Lasso(alpha=0.15)	-0.019048	-3.055423	-2.459921	-0.033574	-8.102101
SVR(C=0.015, kernel='linear')	-0.016521	-3.052020	-2.456808	-0.033549	-8.140634
KNeighborsRegressor(n_neighbors=25)	-0.030786	-3.074728	-2.461113	-0.033581	-8.031419
DecisionTreeRegressor(criterion='absolute_error', max_depth=2, max_features=10, random_state=3128, splitter='random')	-0.009281	-3.041407	-2.435050	-0.033185	-8.004156
RandomForestRegressor(bootstrap=False, criterion='absolute_error', max_depth=4, max_features=2, random_state=3128)	-0.015396	-3.049810	-2.446070	-0.033369	-8.275716





Модель для прочности при растяжении

Значения выхода от 1071 до 3849

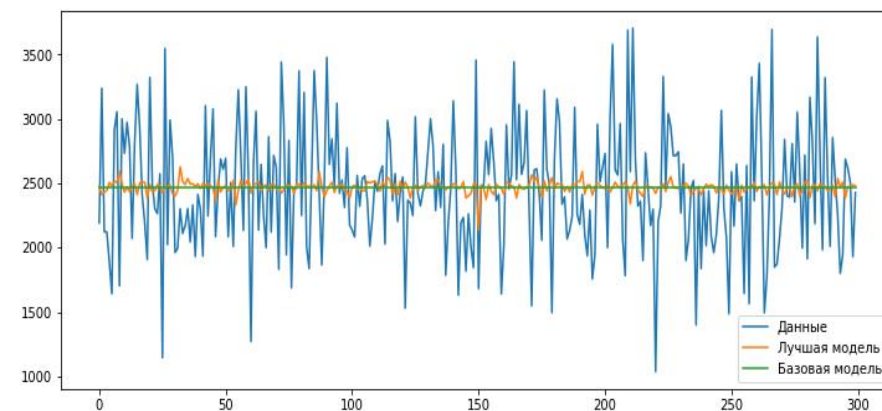
По умолчанию	R2	RMSE	MAE	MAPE	max_error
DummyRegressor	-0.012988	-484.654884	-385.827028	-0.169931	-1228.780064
LinearRegression	-0.022969	-487.063246	-388.303827	-0.170559	-1249.517419
Ridge	-0.022896	-487.046319	-388.290667	-0.170555	-1249.460177
Lasso	-0.021388	-486.695829	-387.988314	-0.170448	-1248.210674
SVR	-0.011952	-484.429045	-385.715018	-0.169382	-1232.355369
DecisionTreeRegressor	-1.187233	-702.791415	-555.350332	-0.238620	-1927.849316
GradientBoostingRegressor	-0.084580	-500.230316	-398.052645	-0.174164	-1312.873325

	R2	RMSE	MAE	MAPE	max_error
Базовая модель	-0.000531	-479.694153	-375.066608	-0.165566	-1431.321957
Лучшая модель (градиентный бустинг)	0.004028	-478.600202	-376.647056	-0.166046	-1384.841404

	R2	RMSE	MAE	MAPE	max_error
Прочность при растяжении, тренировочный	0.057141	-472.832206	-374.670333	-0.164825	-1383.885510
Прочность при растяжении, тестовый	0.004028	-478.600202	-376.647056	-0.166046	-1384.841404

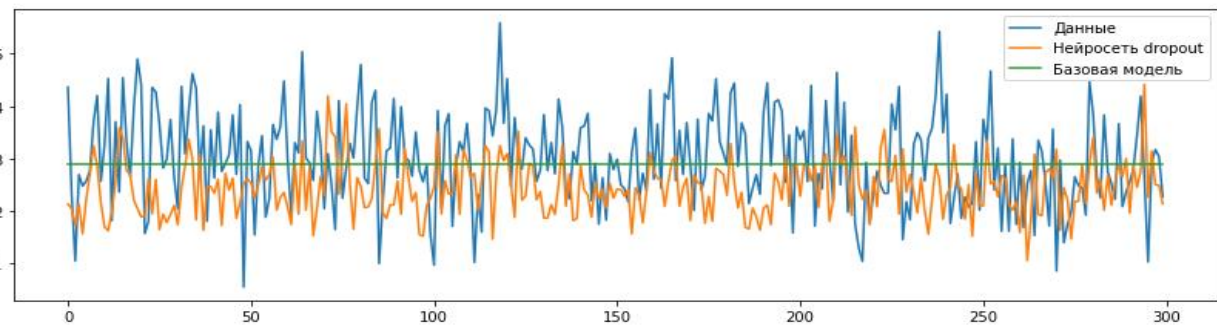
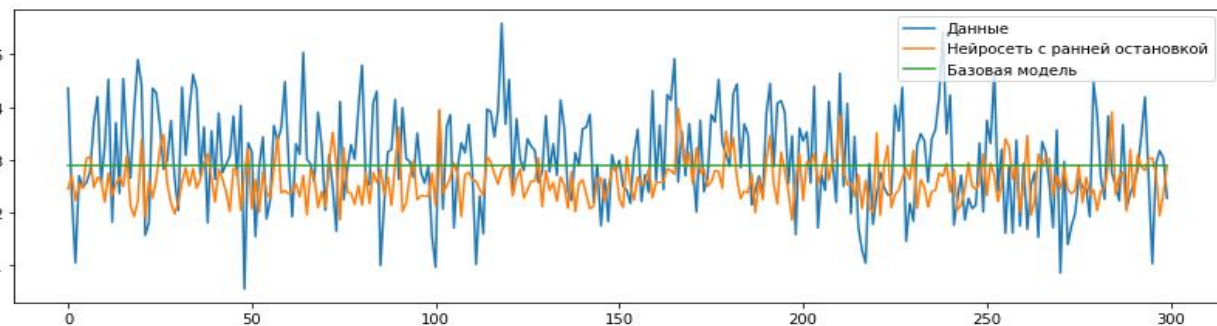
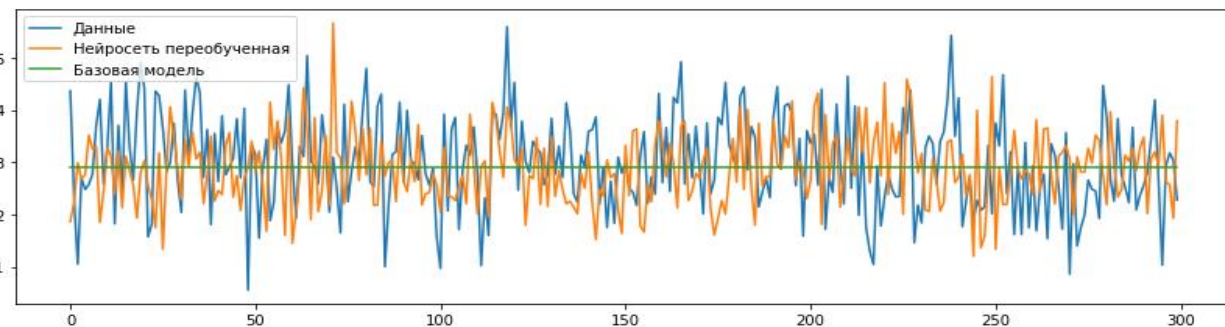
После подбора гиперпараметров

	R2	RMSE	MAE	MAPE	max_error
Ridge(alpha=990, solver='sparse_cg')	-0.010764	-484.199853	-385.891069	-0.169828	-1233.196571
Lasso(alpha=50)	-0.012988	-484.654884	-385.827028	-0.169931	-1228.780064
SVR(C=0.2)	-0.012246	-484.489867	-385.724279	-0.169413	-1232.341495
DecisionTreeRegressor(criterion='poisson', max_depth=3, max_features=6, random_state=3128, splitter='random')	-0.009440	-483.713960	-384.045197	-0.169031	-1244.359901
GradientBoostingRegressor(max_depth=1, max_features=1, n_estimators=50, random_state=3128)	-0.005486	-483.026609	-385.268908	-0.169409	-1231.878292





Модель для соотношения матрица-наполнитель



Метрики работы нейросетей на тестовом множестве

	R2	RMSE	MAE	MAPE	max_error
DummyRegressor	-0.011269	-0.911261	-0.737067	-0.299795	-2.684301
Нейросеть переобученная	-0.624376	-1.154922	-0.938195	-0.373712	-2.868809
Нейросеть с ранней остановкой	-0.322407	-1.042058	-0.852214	-0.312846	-2.781806
Нейросеть dropout	-0.628132	-1.156256	-0.960385	-0.343979	-2.903841

Сравнение ошибок модели для модуля упругости при растяжении
на тренировочном и тестовом датасете

	R2	RMSE	MAE	MAPE	max_error
Соотношение матрица-наполнитель, тренировочный	-0.212722	-0.999613	-0.787676	-0.298627	-3.084322
Соотношение матрица-наполнитель, тестовый	-0.322407	-1.042058	-0.852214	-0.312846	-2.781806

Была выбрана нейросеть обученная с ранней остановкой



ЦЕНТР
ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ
МГТУ им. Н.Э. Баумана



do.bmstu.ru