



StatSoft

ПО СтатСофт для производства цемента

The best world practices



Решения StatSoft для контроля качества производства цемента

Компания StatSoft представила на конференции ПетроЦем 2026 доклад с достижениями в области прогнозирования прочности цемента

Уникальные технологии, реализованные с помощью искусственного интеллекта и нейронных сетей StatSoft, позволяют строить модели прогнозирования прочности цемента с точностью до 1.5 МПа

Представленный стек технологий включает полный цикл от ввода данных, предпроцессинга до построения и внедрения моделей в реальное производство

Доклад вызвал повышенный интерес участников ПетроЦем 2026



**Применение нейронных сетей и методов МО для построения предиктивных моделей оценки качества клинкера в ПО СтатСофт.
Application of neural networks technologies and ML methods to construct predictive models for assessing the quality of clinker.**



СтатСофт

Применение нейронных сетей и методов ML для построения предиктивных моделей оценки качества клинкера в ПО СтатСофт

Бобер С.А., Боровиков В.П.

PetroCem 2026/ Astoria Hotel, Saint Petersburg, Russia/ April 26-28, 2026

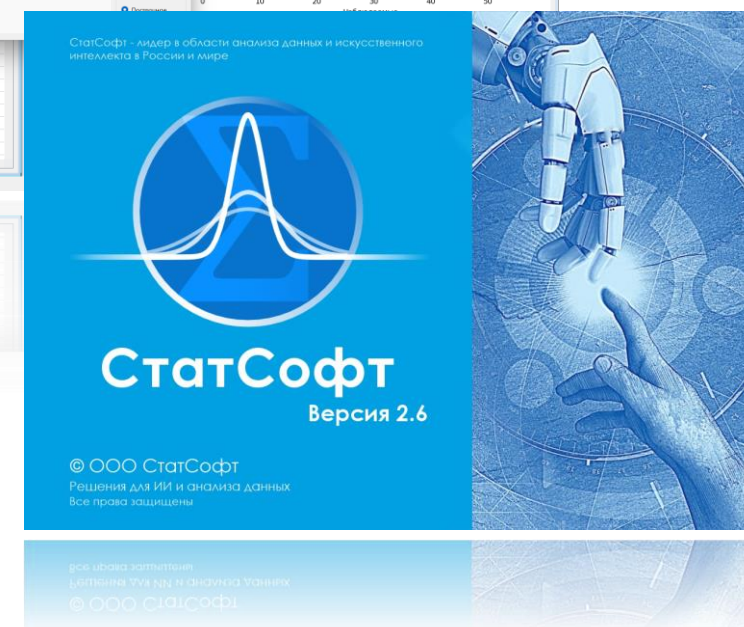
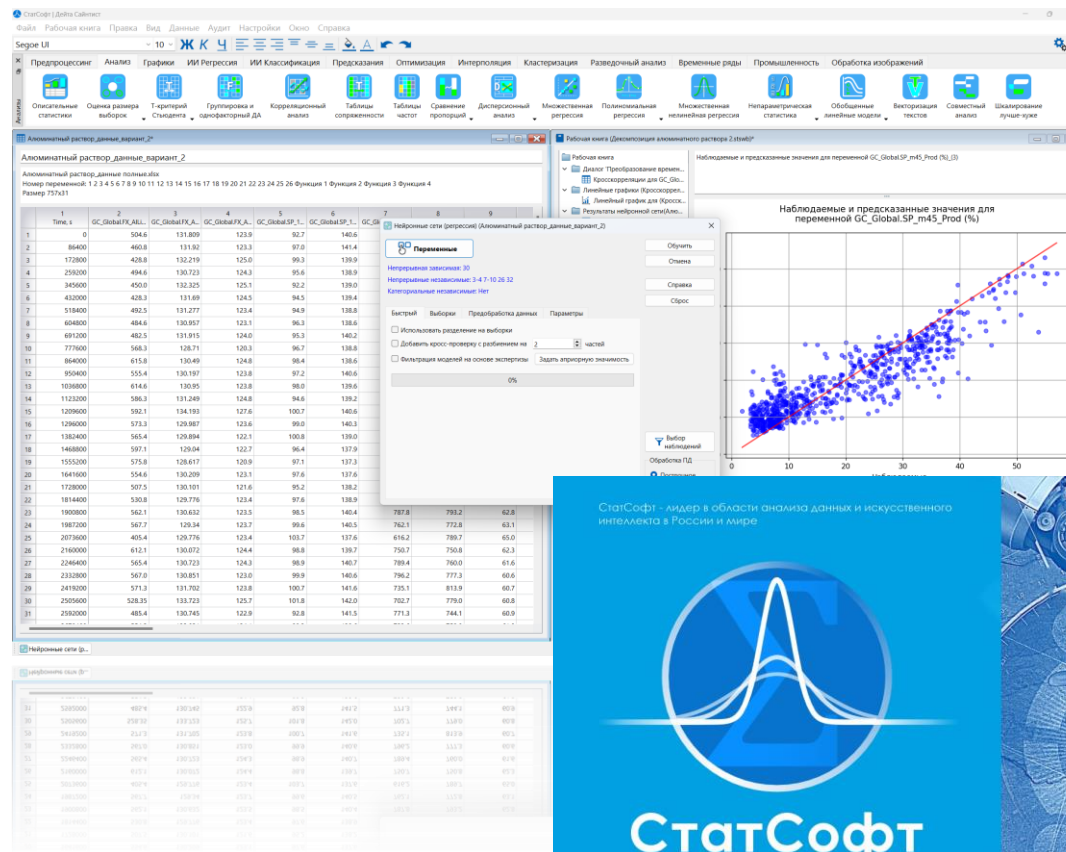
The best world practices

Компания СтатСофт:

- разработка и внедрение ПО СтатСофт
- обучающие курсы с использованием данных клиента
- техническая поддержка
- кастомизация и решения под задачи клиентов

ПО СТАТСОФТ

- ПО StatSoft: программное обеспечение нового поколения для анализа данных, цифровизации, искусственного интеллекта
- Объединяет классические статистические методы анализа и алгоритмы машинного обучения в единой пользовательской среде
- Заменяет Minitab, Statistica, SPSS, Matlab и др.
- Создано командой российских разработчиков
- Внесено в реестр программ РФ
- Полностью на русском языке
- Поддерживает Windows, Linux, macOS



ПО СТАТСОФТ

Комплектации

Раздел / Комплектация	Аналист	Дейта Сайнтист	Триал
Предпроцессинг	19	22	15
Графики	15	15	10
Анализ	62	62	18
Разведочный анализ	21	21	3
ИИ Регрессия	0	9	2
ИИ Классификация	0	8	2
Предсказания	0	8	5
Оптимизация	0	2	1
Интерполяция	4	4	2
Кластеризация	5	5	3
Временные ряды	5	5	0
Промышленность	36	36	36
Обработка изображений	1	1	0
Итого	168	198	97

ПО СТАТСОФТ

Модульность ПО СтатСофт

Предпроцессинг	Анализ	Графики	ИИ Регрессия	ИИ Классификация	Предсказания	Оптимизация	Интерполяция	Кластеризация	Разведочный анализ	Временные ряды	Промышленность	Обработка изображений			
Фильтрация данных	Разбиение таблицы	Обработка выбросов	Обработка ПД	Стандартизация данных	Сортировка таблицы	Перекодировка таблицы	Слияние таблиц	Сдвиг наблюдений	Нормальное распределение	Проверка нормальности	Преобразовать к нормальному	Подгонка распределений	Разбиение на выборки	Балансировка SMOTE и ADASYN	Метод Монте-Карло

Предпроцессинг	Анализ	Графики	ИИ Регрессия	ИИ Классификация	Предсказания	Оптимизация	Интерполяция	Кластеризация	Разведочный анализ	Временные ряды	Промышленность	Обработка изображений	
Описательные статистики	Оценка размера выборки	T-критерий Стьюдента	Группировка и однофакторный ДА	Корреляционный анализ	Таблицы сопряженности	Таблицы частот	Сравнение пропорций	Дисперсионный анализ	Множественная регрессия	Полиномиальная регрессия	Множественная нелинейная регрессия	Непараметрическая статистика	Обобщенные линейные модели
Векторизация текстов	Совместный анализ	Шкалирование лучше-хуже											

Предпроцессинг	Анализ	Графики	ИИ Регрессия	ИИ Классификация	Предсказания	Оптимизация	Интерполяция	Кластеризация	Разведочный анализ	Временные ряды	Промышленность	Обработка изображений	
Гистограмма	Диаграмма рассеяния	Ящик с усами	Линейный график	График средних с ошибками	Круговая диаграмма	3М-диаграмма рассеяния	Интерактивный анализ	Диаграмма Вороного	Разбиение Делоне	K-ближайших соседей	Диаграмма причин и следствий	Диаграмма Парето	Описательный график

ПО СТАТСОФТ

Стандартизированные окна анализа

выбор переменных для анализа

списки выбранных переменных

выполнить анализ

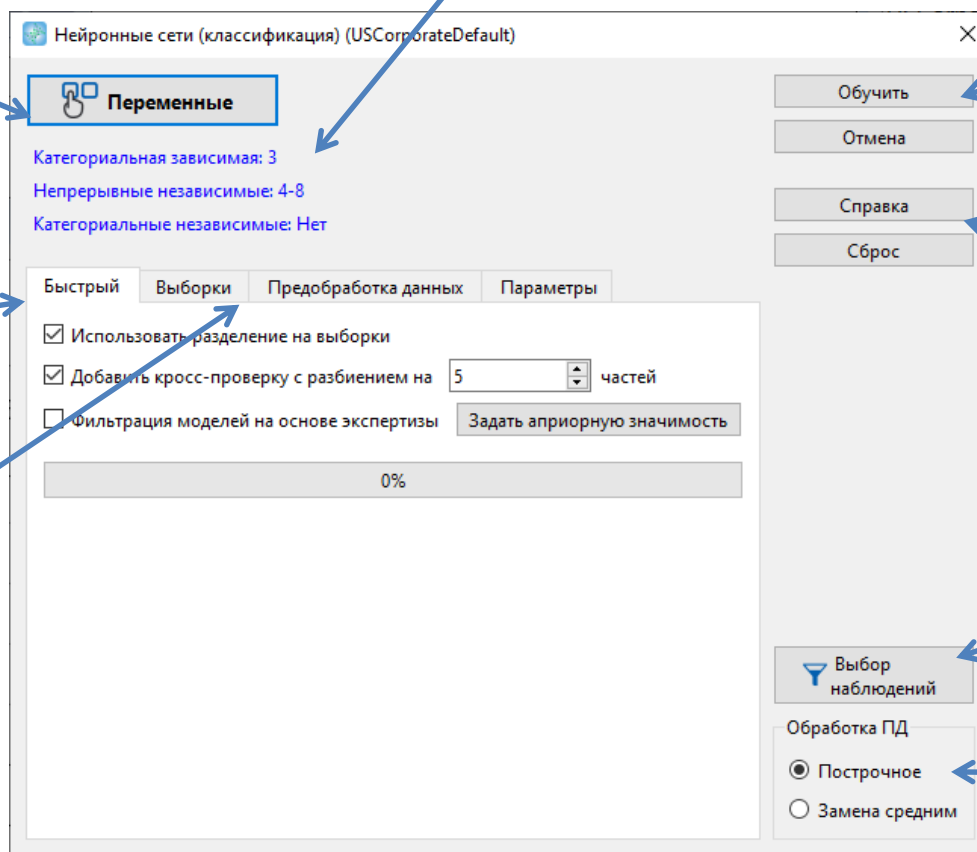
быстрые настройки

вызов справки по анализу

подробные настройки

фильтрация наблюдений

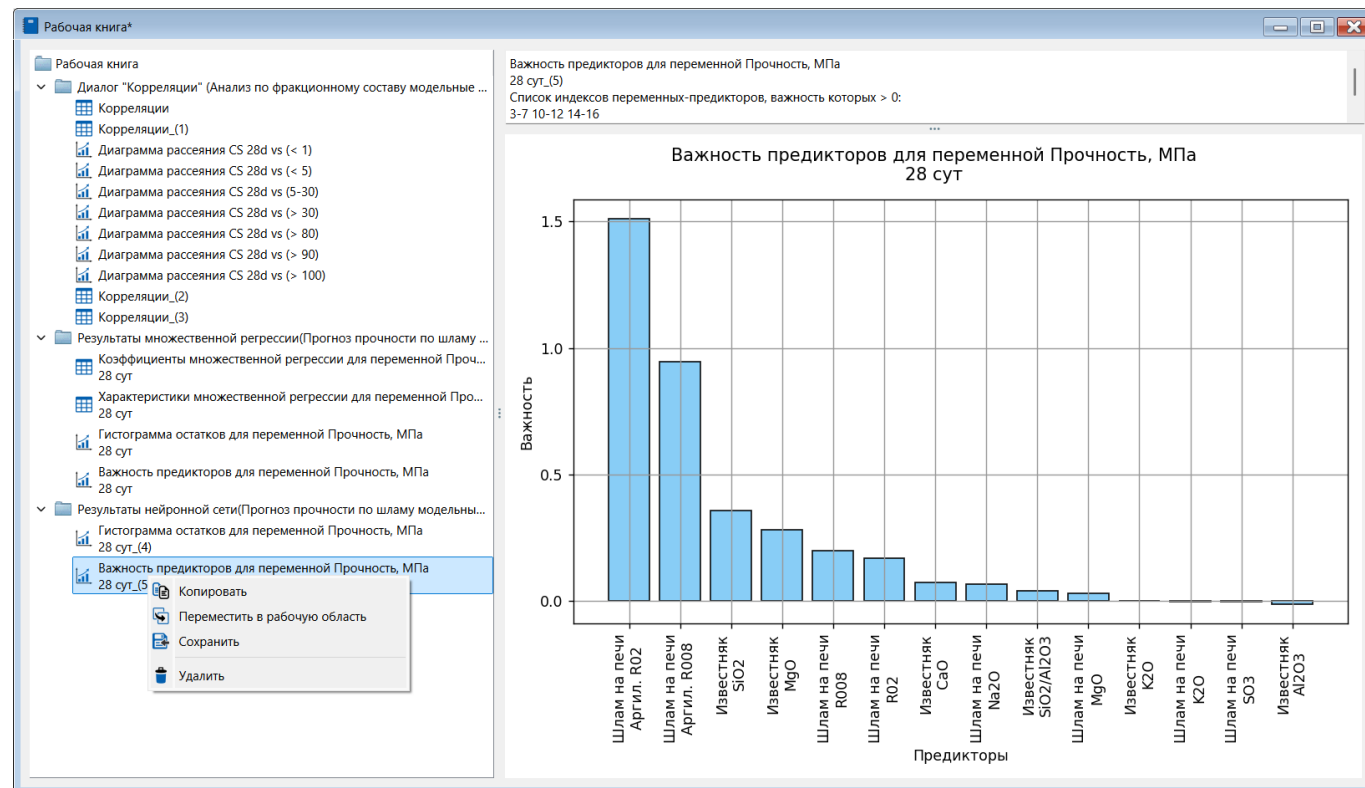
обработка пропусков



ПО СТАТСОФТ

Рабочая книга

- Рабочие книги являются стандартным способом управления выводом ПО СтатСофт
- каждый документ представлен в виде отдельной вкладки
- книга состоит из навигационного дерева (слева) и области просмотра документов (справа)
- через контекстное меню можно выполнять ряд операций



ПО СТАТСОФТ

Аналитические отчеты

- отчеты включают таблицы, результаты анализа, графики.
- автоматические отчеты собирают все открываемые таблицы и результаты анализа
- отчеты сохраняются в формате DOCX, который поддерживается практически всеми офисными пакетами

The screenshot displays the StatSoft Data Scientist application window. The 'File' menu is open, showing options like 'Create', 'Open', 'Save', and 'Report'. The 'Report' option is selected, leading to a sub-menu with 'Report 2023-12-27', 'New', and 'Open'. A secondary menu for the report shows 'Add to report', 'Auto-report', and 'Edit'. The background shows a dashboard with several data tables and histograms for variables like 'width', 'length', and 'weight'. The interface is in Russian.

ПО СТАТСОФТ

Электронное руководство

- работает в любом современном браузере (доступ в интернет не нужен),
- оснащено оглавлением,
- быстрый поиск по всему содержимому,
- отображает таблицы, рисунки, формулы,
- насчитывает более 1200 страниц и 1700 рисунков,
- полная версия руководства также предоставляется в формате pdf

Руководство пользователя ПО StatSoft

фильтр...

- Выбор лучшей модели
- Сравнение переменных
- Результаты
 - Вводный обзор
 - Диалоговое окно
 - Результаты
 - Диалоговое окно
 - Результаты
 - Вкладка Качество модели и остатки

- Вкладка Таблица предсказаний
- Вкладка Структура
- Вкладка Графики
- Вкладка
- Предсказания для новых данных
- Вкладка
 - Предсказания множественной регрессии
 - Вкладка Классификация
 - Вкладка Предсказания
 - Вкладка Оптимизация
 - Вкладка Интерполяция
 - Вкладка Кластеризация
 - Вкладка Временные ряды
 - Вкладка Промышленность
 - Вкладка Обработка изображений

Еще один полезный график строится нажатием кнопки **Важность предикторов для...** в диалоговом окне. Он показывает влияние каждого предиктора на целевую переменную.

Важность предикторов для...

Предикторы	Важность
Индекс устойчивости X3	1.25
Солесодержание X4	1.00
Содержание сульфатов X6	0.60
Электропроводность X2	0.45
Число опыления X5	0.10
Концентрация эмульсии X1	0.05

По графику видно, что на целевую переменную сильнее всего влияют предикторы X2, X3, X4 и X6.

Шаг 7 - сохранение модели. Наждем на кнопку **Сохранить** в окне результатов, чтобы сохранить построенную модель для дальнейшего использования. Зададим имя файла (расширение .pickle) и сохраним.

Вкладка **Качество модели и остатки** диалогового окна **Результаты** содержит описанные ниже опции. Здесь представлены основные числовые характеристики качества построенной регрессионной модели.

Пусть имеется k наблюдений. y_i - наблюдаемые значения целевой переменной, $i = 1, \dots, k$; \hat{y}_i - предсказанные значения целевой переменной, $i = 1, \dots, k$.

R2. Поле демонстрирует значение коэффициента детерминации (R^2) модели.

- $R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^k (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^k (y_i - \bar{y})^2}$
- Чем ближе R^2 к 1, тем точнее модель предсказывает значения зависимой переменной.
- Если $R^2 = 0$, то предсказания ничем не лучше тривиального $\hat{y}_i = \bar{y}$.

Среднее абсолютное отклонение. Поле демонстрирует значение среднего абсолютного отклонения модели (среднего модуля разности предсказанных и наблюдаемых значений).

- $E = \frac{\sum_{i=1}^k |y_i - \hat{y}_i|}{k}$

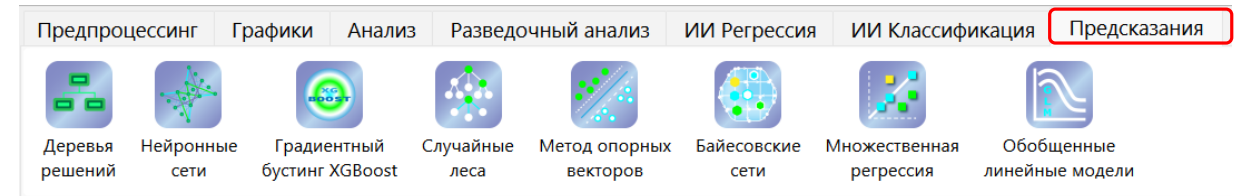
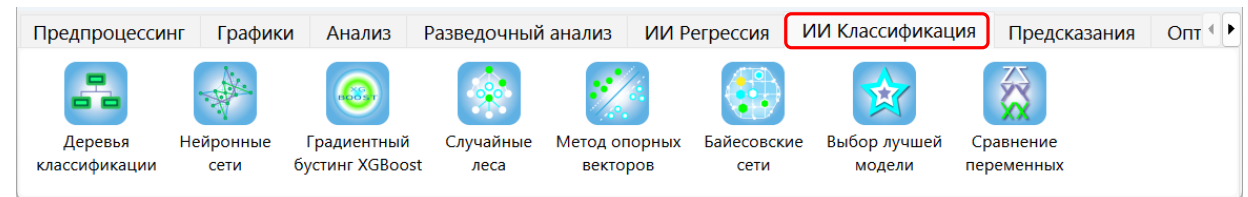
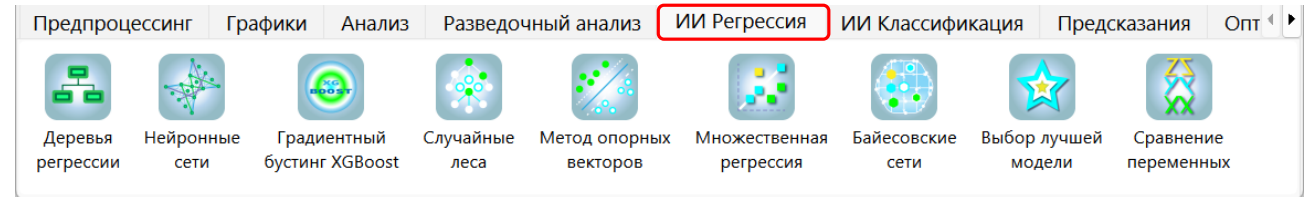
Описательные статистики для остатков. Выводит подробную информацию об остатках, а именно:

- Коэффициент детерминации R^2
- Средний остаток

ПО СТАТСОФТ

Стек технологий прогнозирования

- **Нейронные сети прямого распространения**
- Градиентный бустинг XGBoost
- Деревья решений
- Случайный лес
- **Множественная регрессия**
- Метод опорных векторов (с нелинейным ядром)
- Байесовские нейронные сети



ПО СТАТСОФТ

Задача предиктивного моделирования

Модельные данные, близкие к реальным

Основная задача - предсказание показателя прочности бетона по составу шлама в производстве клинкера.

Не учитывается температурный профиль в печи.

Зависимые переменные

Прочность при сжатии 28 сут, МПа

Предикторы

Шлам на печи

Известняк

Аргиллит

Удельная поверхность

...

1 Партия	2 Прочность, МП.. 28 сут	3 Шлам на печи Аргил. R02	4 Шлам на печи Аргил. R008	5 Шлам на печи R02	6 Шлам на печи R008	7 Шлам на печи MgO	8 Шлам на печи SO3	
1	101	46.49	4.22	17.069	3.307	13.516	2.261	0.389
2	102	49.993	4.401	19.152	3.21	13.532	1.931	0.346
3	103	48.649	4.602	19.274	3.314	13.415	1.937	0.33
4	104	46.489	5.031	18.562	3.201	13.318	2.002	0.414
5	105	46.043	4.724	17.861	3.226	13.322	2.049	0.371
6	106	48.253	4.215	16.889	3.207	13.501	2.037	0.306
7	107	47.243	4.335	17.617	3.306	13.42	2.116	0.303
8	108	50.707	4.018	17.972	3.22	13.419	1.605	0.236
9	109	49.832	4.512	17.618	3.331	13.498	1.844	0.238
10	110	50.978	4.34	15.603	3.319	13.523	1.774	0.263
11	111	51.028	4.007	15.029	3.211	13.376	1.819	0.196
12	112	54.148	3.417	13.678	3.316	13.629	1.869	0.2
13	113	53.642			3.414	13.52	1.896	0.204
14	114	51.941	6.855	21.66	3.717	13.833	1.91	0.264
15	115	50.664	5.408	16.549	3.329	13.418	1.722	0.243
16	116	52.435	5.933	18.745	3.503	13.623	1.354	0.225
17	117	51.987	5.544	18.345	3.404	13.598	1.282	0.219
18	118	53.504	5.932	17.771	3.526	13.699	1.05	0.176
19	119	50.621	6.307	17.485	3.611	13.816	1.265	0.209
20	120	50.419	6.932	19.028	3.502	13.504	1.455	0.256
21	121	51.599	6.6	18.94	3.409	13.572	1.343	0.222
22	122	49.601	6.553	17.645	3.202	13.336	1.307	0.228
23	123	47.962	6.313	16.862	3.205	13.425	1.272	0.224
24	124	49.816	5.644	16.736	3.433	13.531	1.437	0.254

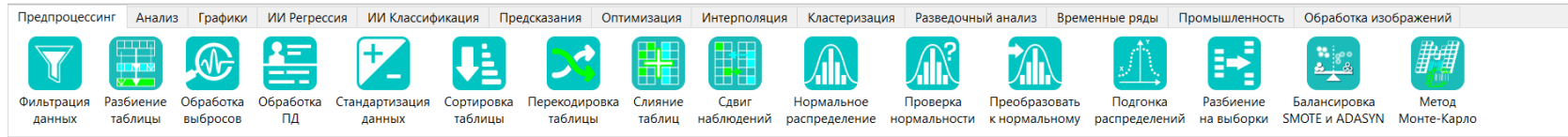
Импорт данных

- MS Excel файлы (xls,xlsx)
- Текстовые файлы (txt)
- CSV файлы (csv, tsv)
- Statistica (sta)
- SPSS
- SAS (xpt, sas7bdat, sav)
- dBase (dbf)
- StatSoft (sts, stg, stswb)
- и др.

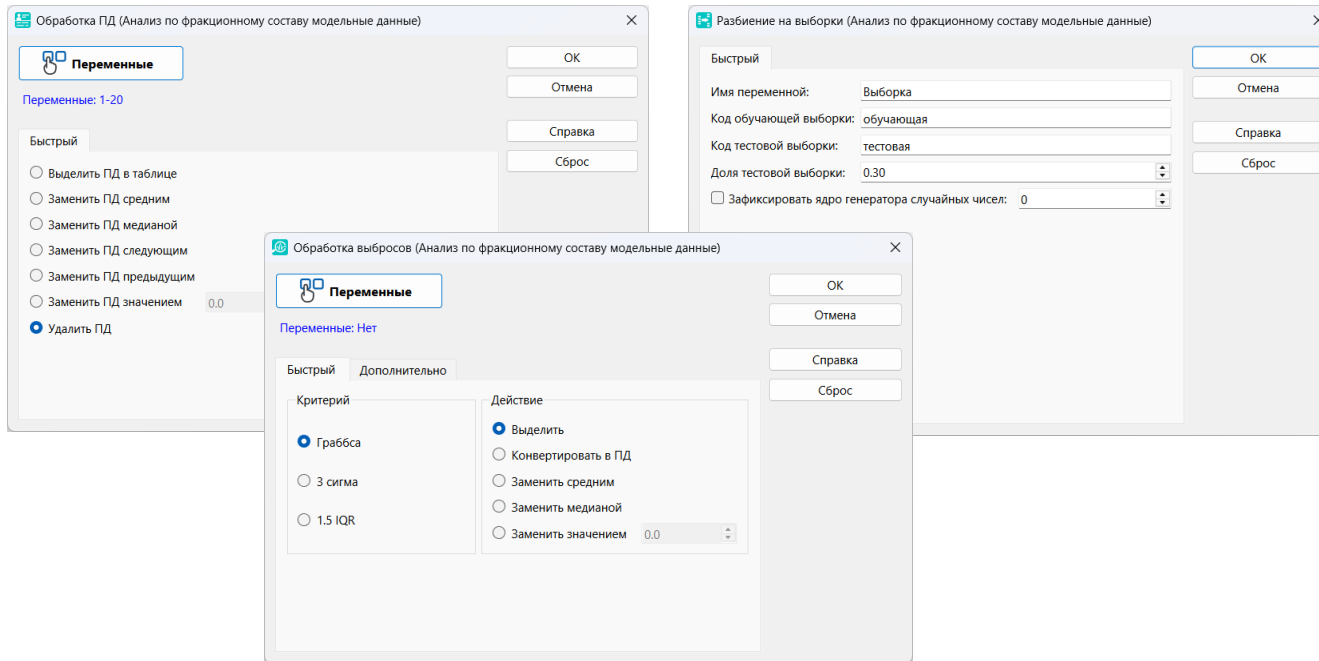
	1 Партия <Целый>	2 Прочность, МПа 28 сут <Вещественный>	3 Шлам на печи Аргил. R02 <Вещественный>	4 Шлам на печи Аргил. R008 <Вещественный>	5 Шлам на печи R02 <Вещественный>
1	101	46.49	4.22	17.069	3.307
2	102	49.993	4.401	19.152	3.21
3	103	48.649	4.602	19.274	3.314
4	104	46.489	5.031	18.562	3.201
5	105	46.043	4.724	17.861	3.226
6	106	48.253	4.215	16.889	3.207
7	107	47.243	4.335	17.617	3.306
8	108	50.707	4.018	17.972	3.22
9	109	49.832	4.512	17.618	3.331
10	110	50.978	4.34	15.603	3.319
11	111	51.028	4.007	15.029	3.211
12	112	54.148	3.417	13.678	3.316

ПО СТАТСОФТ

Предпроцессинг



Цель предпроцессинга – подготовка данных к анализу. В сырых данных - много пропусков, выбросов, нестыковок

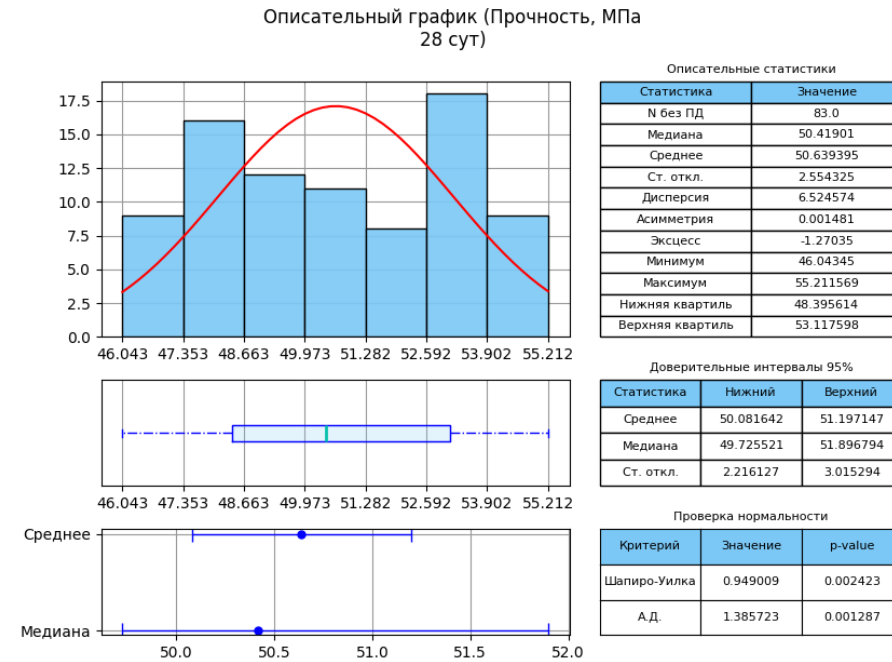
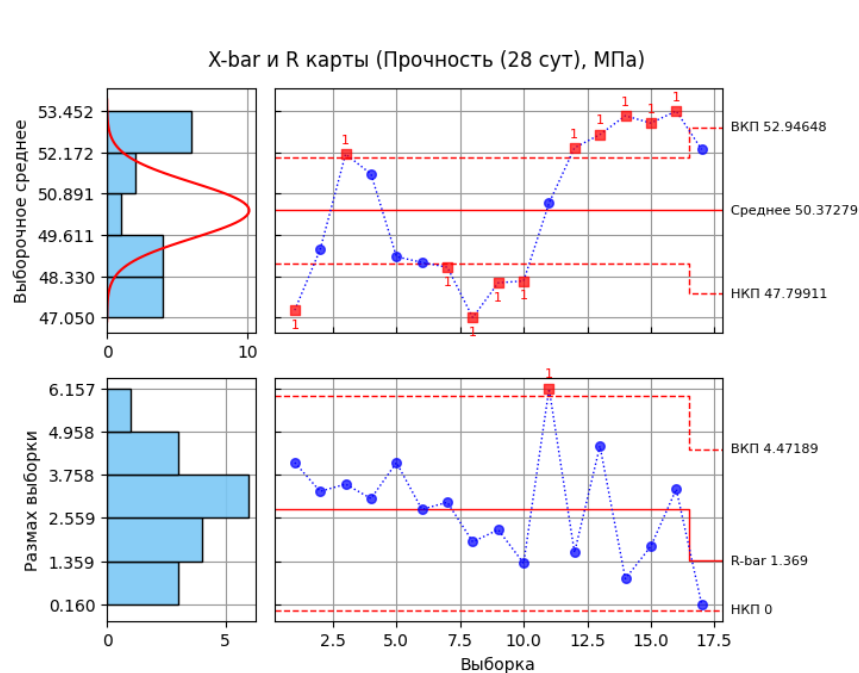
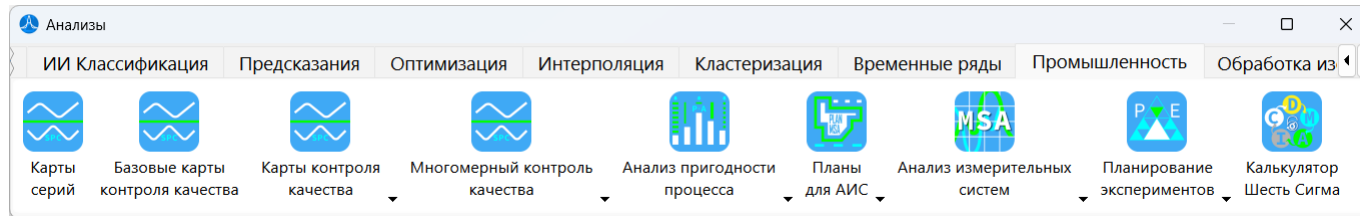


Возможные причины:

- ошибки ручных измерений,
- ошибки внесения данных в таблицы,
- погрешности датчиков,
- отсутствие возможности измерения части параметров,
- отказ датчиков,
- смешивание данных из разных партий,
- проблемы автоматизации сбора данных,
- и др.

ПО СТАТСОФТ

Карты контроля качества, индексы пригодности контроль процесса на выходе



ПО СТАТСОФТ

Множественная регрессия

Предобработка | Графики | Анализ | Разведочный анализ | **ИИ Регрессия** | ИИ Классификация | Предсказания | Опт

Деревья регрессии | Нейронные сети | Градиентный бустинг XGBoost | Случайные леса | Метод опорных векторов | **Множественная регрессия** | Байесовские сети | Выбор лучшей модели | Сравнение переменных

Множественная регрессия (Прогноз прочности по шламу модельные данные 5)

Переменные

Оценить параметры

Отмена

Справка

Сброс

Непрерывная зависимая: 2
Непрерывные независимые: 3-19
Категориальные независимые: Нет

Быстрый | Выборки | Предобработка данных | Параметры

Использовать разделение на выборки

0%

Выбор

Результаты множественной регрессии (Прогноз прочности по шламу модельные данные 5)

Сохранить

Отмена

Справка

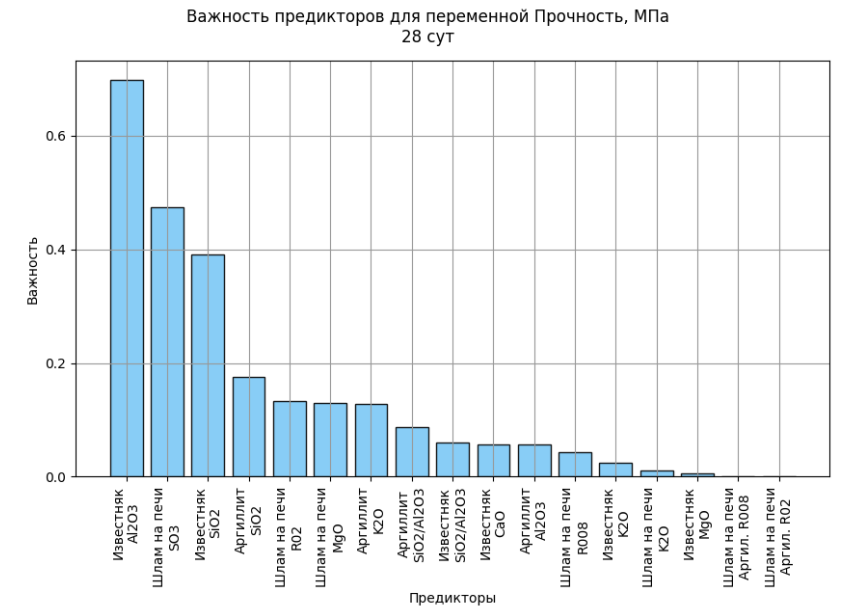
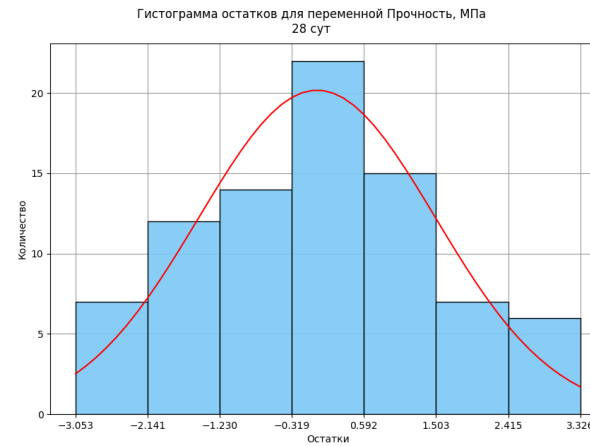
Сброс

Качество модели и остатки | Таблица предсказаний | Структура | Графики

R2: 0,653

Среднее абсолютное отклонение: 1,217

Описательные статистики для остатков



ПО СТАТСОФТ

Нейронные сети

Предпроцессинг Графики Анализ Разведочный анализ ИИ Регрессия ИИ Классификация Предсказания Оптимизация

Деревья регрессии
 Нейронные сети
 Градиентный бустинг XGBoost
 Случайные леса
 Метод опорных векторов
 Множественная регрессия
 Байесовские сети
 Выбор лучшей модели
 Сравнение переменных

Нейронные сети (регрессия) (Прогноз прочности по шламу модельные данные 5)

Переменные

Обучить Отмена

Непрерывная зависимая: 2
 Непрерывные независимые: 3-19
 Категориальные независимые: Нет

Быстрый Выборки Предобработка данных Параметры

Использовать разделение на выборки
 Добавить кросс-проверку с разбиением на 5 частей
 Фильтрация моделей на основе экспертизы Задать априорную значимость

100%

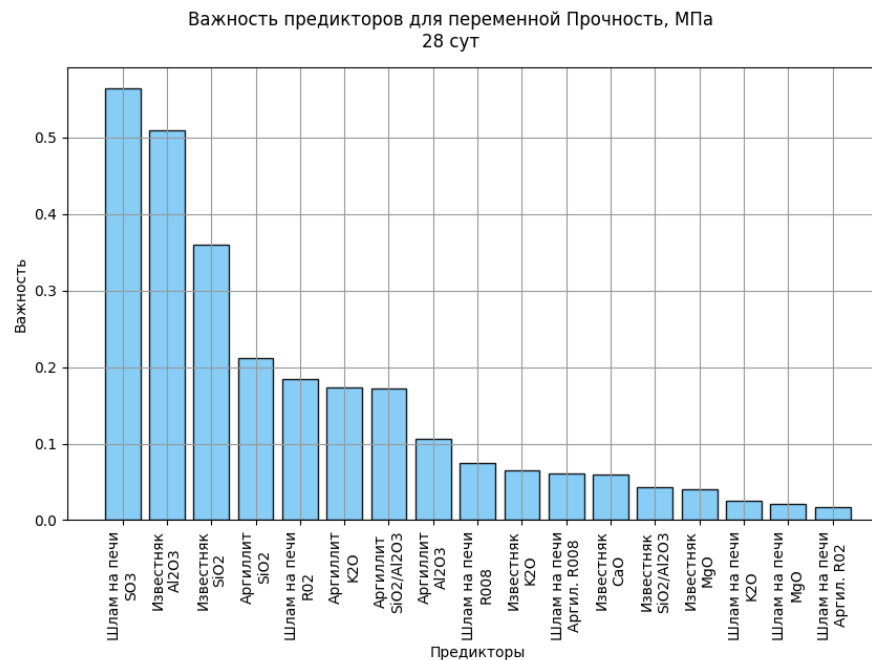
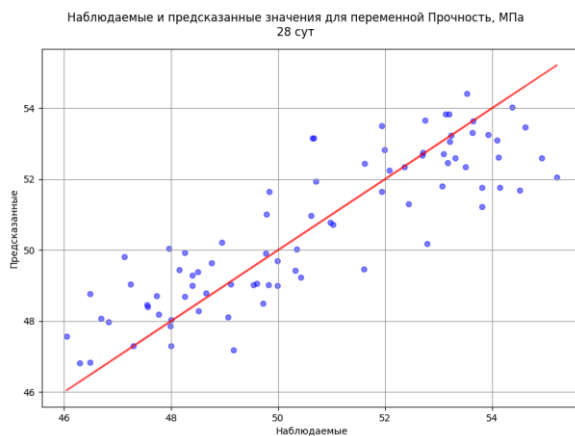
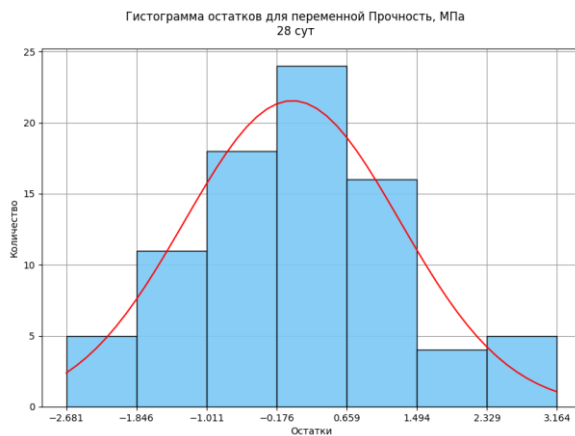
Результаты нейронной сети (Прогноз прочности по шламу модельные данные 5)

Сохранить Отмена Справка Сброс

Качество модели и остатки Таблица предсказаний Структура Графики

R2: **0.745**
 Среднее абсолютное отклонение: **1.007**

Описательные статистики для остатков



ПО СТАТСОФТ

Применение модели

Дерева решений
Графики
Анализ
Разведочный анализ
ИИ Регрессия
ИИ Классификация
Предсказания

Деревья решений
 Нейронные сети
 Градиентный бустинг XGBoost
 Случайные леса
 Метод опорных векторов
 Байесовские сети
 Множественная регрессия
 Обобщенные линейные модели

2	3	4	5	6	7	8
Прочность, МПа... 28 сут	Шлам на печи Аргил. R02	Шлам на печи Аргил. R008	Шлам на печи R02	Шлам на печи R008	Шлам на печи MgO	Шлам на печи SO3
47.84	4.3	17.171	3.348	13.863	2.285	0.4
51.166	4.528	19.348	3.226	13.73	1.939	0.348
50.026	4.703	19.746	3.314	13.787	1.948	0.34
46.939	5.065	18.966	3.294	13.666	2.013	0.42
46.584	4.828	18.324	3.308	13.556	2.1	0.374

Предсказания нейронных сетей (Прогноз прочности по шламу новые данные 5)

Быстрый

Выбор модели

Модель: Прочность МПа 28 сут NN 5 | Найдено переменных: 17/17

Структура модели

Окно результатов модели

Выводить переменные

Применить

Отмена

Результаты нейронной сети (Прогноз прочности по шламу новые данные 5)

Качество модели и остатки

R2: 0.466

Среднее абсолютное отклонение: 1.122

Описательные статистики для остатков

Сохранить

Отмена

Справка

Сброс

Рабочая книга (Прогноз прочности по модельным данным 5.stswb)*

Предсказания для переменной Прочность, МПа 28 сут

	15 Аргиллит SiO2	16 Аргиллит Al2O3	17 Аргиллит SiO2/Al2O3	18 Аргиллит K2O	19 Прочность, МПа 28 сут	20 Прочность, МПа 28 сут предсказанный	21 Абсолютный остаток
1	57.325	14.291	4.077	1.658	47.840	48.987	1.147
2	57.642	13.757	4.215	1.555	51.166	49.033	2.133
3	55.187	13.952	4.048	1.662	50.026	49.033	0.993
4	54.237	15.581	3.547	1.730	46.939	46.898	0.042
5	56.640	14.876	3.928	1.770	46.584	47.881	1.297

Точность 3

ПО СТАТСОФТ

Задача оценки влияния факторов на прочность цемента

Модельные данные, близкие к реальным

Оценить влияние фракционного состава и интенсификатора помола на показатель прочности.

Зависимые переменные

Прочность при сжатии 28 сут, МПа

Предикторы

Тип интенсификатора помола

Концентрация интенсификатора помола

Фракционный состав

...

	1 Прочность, МП... (28 сут)	2 Интенсификато... (тип)	3 Интенсификатор (концентр.)	4 Фракция (< 1)	5 Фракция (< 5)	6 Фракция (5-30)
54	55.8	FL1000	0.04	5.193	22.641	49.001
55	52.8	FL1000	0.04	5.112	22.374	48.334
56	53.9	FL1000	0.04	5.486	23.637	47.512
57	56.9	FL1000	0.04	5.147	21.976	49.334
58	56.9	FL1000	0.04	5.402	22.919	47.26
59	52.5	FL1000	0.04	5.465	22.863	48.555
60	52.8	FL1000	0.04	5.112	21.512	48.329
61	56.7	FL1000	0.04	5.057	21.349	49.015
62	53.5	FL1000	0.04	5.496	22.377	47.998
63	52.5	FL1000	0.04	5.836	23.253	46.383
64	53.3	FL1000	0.04	7.202	27.889	43.025
65	57.8	FL1000	0.04	5.91	23.538	44.986
66	53.9	FL1000	0.04	6.425	24.916	46.362
67	52.1	FL1000	0.04	5.769	22.805	45.174
68	50.1	FL1000	0.04	6.261	24.081	45.63
69	50.1	FL1000	0.04	5.609	23.145	46.269

Корреляционный анализ

Корреляционный анализ (Прочность и интенсификатор модельные данные)

Переменные

Первый список: 2
Второй список: 4-21

Быстрый | Дополнительно | Опции

Формат отображения корреляционных матриц

Выделять значимые корреляции
 Отображать p-уровень

Пороговые значения

Коэффициент корреляции: 0.10
p-уровень: 0.05

Способ выделения корреляций

Выделить цветом **Выбрать цвет...**
 Залить ячейки **Выбрать цвет...**
 Заменить неподходящие на ПД

Отображать среднее и ст. откл.

Выбор наблюдений

Обработка ПД

Построчное
 Попарное
 Замена средним

OK
Отмена
Справка
Сброс

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Переменная	Интенсификатор (концентр.)	Фракция (< 1)	Фракция (< 5)	Фракция (5-30)	Фракция (> 30)	Фракция (> 80)	Фракция (> 90)	Фракция (> 100)
1 Прочность, МПа(28 сут)	-0.039	-0.121	0.020	0.282	-0.334	-0.160	-0.109	-0.058
10 Фракция (0-10)	0.087	0.278	0.131	-0.106	-0.274	-0.336	-0.321	-0.277
11 Фракция (10-20)								
12 Фракция (20-30)								
13 Фракция (30-40)								
14 Фракция (40-50)								
15 Фракция (50-60)								
16 Фракция (60-70)								
17 Фракция (70-80)								
18 Фракция (80-90)								
19 Фракция (90-100)								

Диаграмма рассеяния Фракция (10-20) vs Прочность, МПа (28 сут)
Коэффициент корреляции $r=0.278$
Коэффициент детерминации $R^2=0.077$
 p -значение=0.0

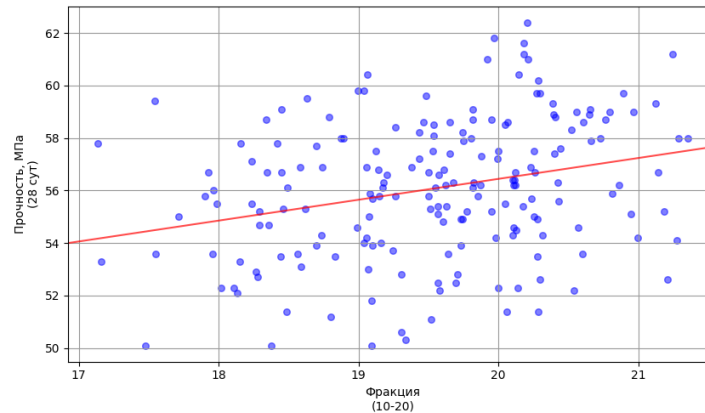
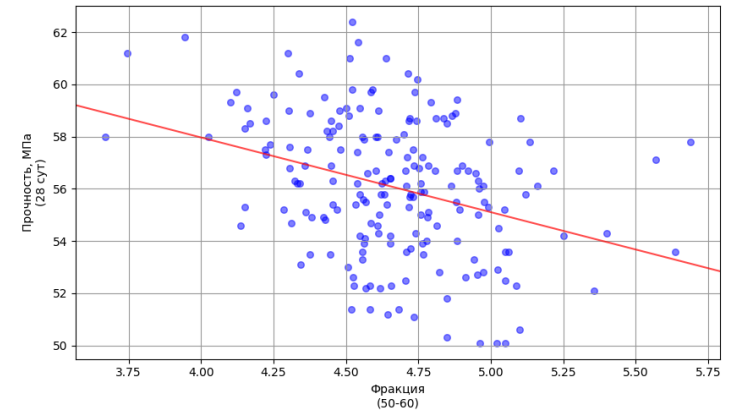


Диаграмма рассеяния Фракция (50-60) vs Прочность, МПа (28 сут)
Коэффициент корреляции $r=0.336$
Коэффициент детерминации $R^2=0.113$
 p -значение=0.0



Регрессия

Множественная регрессия (Прочность и интенсификатор модельные данные)

Переменные

Оценить параметры

Отмена

Справка

Сброс

Непрерывная зависимая: 1
Непрерывные независимые: 3-20
Категориальные независимые: 2

Быстрый | Выборки | Предобработка данных | Параметры

Использовать разделение на выборки

0%

Выбор наблюдений

Результаты множественной регрессии (Прочность и интенсификатор модельные данные)

Сохранить

Отмена

Справка

Сброс

Качество модели и остатки | Таблица предсказаний | Структура | Графики

R2: 0.241
Среднее абсолютное отклонение: 1.854

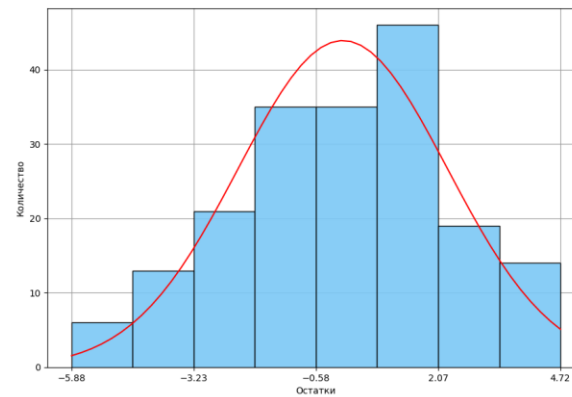
Описательные статистики для остатков

Коэффициенты множественной регрессии для переменной Прочность, МПа (28 сут)_(24)

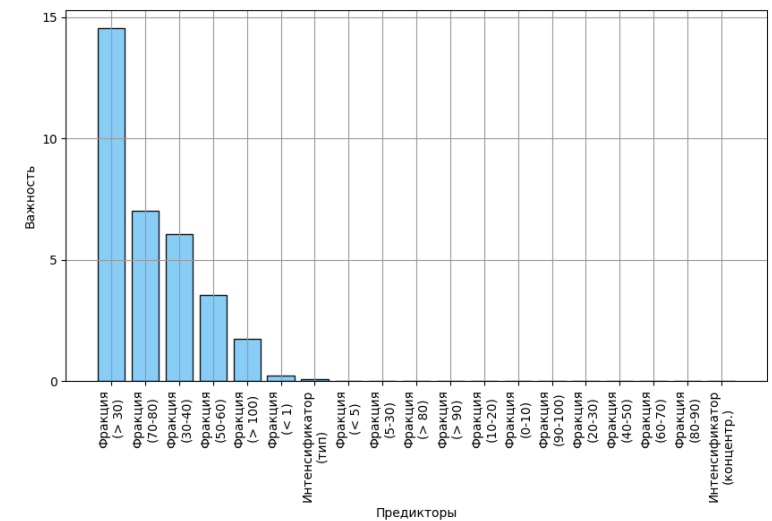
Прочность, МПа
(28 сут) = 56.075 - 0.510 Интенсификатор
(тип) ; S1000 - 0.840 Фракция
(< 1) - 14.978 Фракция
(> 30) + 2.831 Фракция
(> 100) + 6.763 Фракция
(30-40) + 4.605 Фракция
(50-60) + 7.696 Фракция
(70-80)

1	2	3	4	5	6	7	8
Переменная	В-коэффициент	Нижн. 95%	Верхн. 95%	Стандартная ошибка В	Бета-коэффициент	Стандартная ошибка Бета	р-значение
1 const	56.075	55.741	56.409	0.169	< 10 ⁻⁹	0.065	< 10 ⁻⁹
2 Интенсификатор(тип) ; S1000	-0.510	-0.903	-0.117	0.199	-0.195	0.076	0.011
3 Фракция(< 1)	-0.840	-1.314	-0.367	0.240	-0.322	0.092	0.001
4 Фракция(> 30)	-14.978	-22.893	-7.062	4.012	-5.735	1.536	0.000
5 Фракция(> 100)	2.831	1.221	4.441	0.816	1.084	0.312	0.001
6 Фракция(30-40)	6.763	2.833	10.692	1.991	2.590	0.763	0.001
7 Фракция(50-60)	4.605	1.793	7.416	1.425	1.763	0.546	0.001
8 Фракция(70-80)	7.696	3.226	12.166	2.265	2.947	0.868	0.001

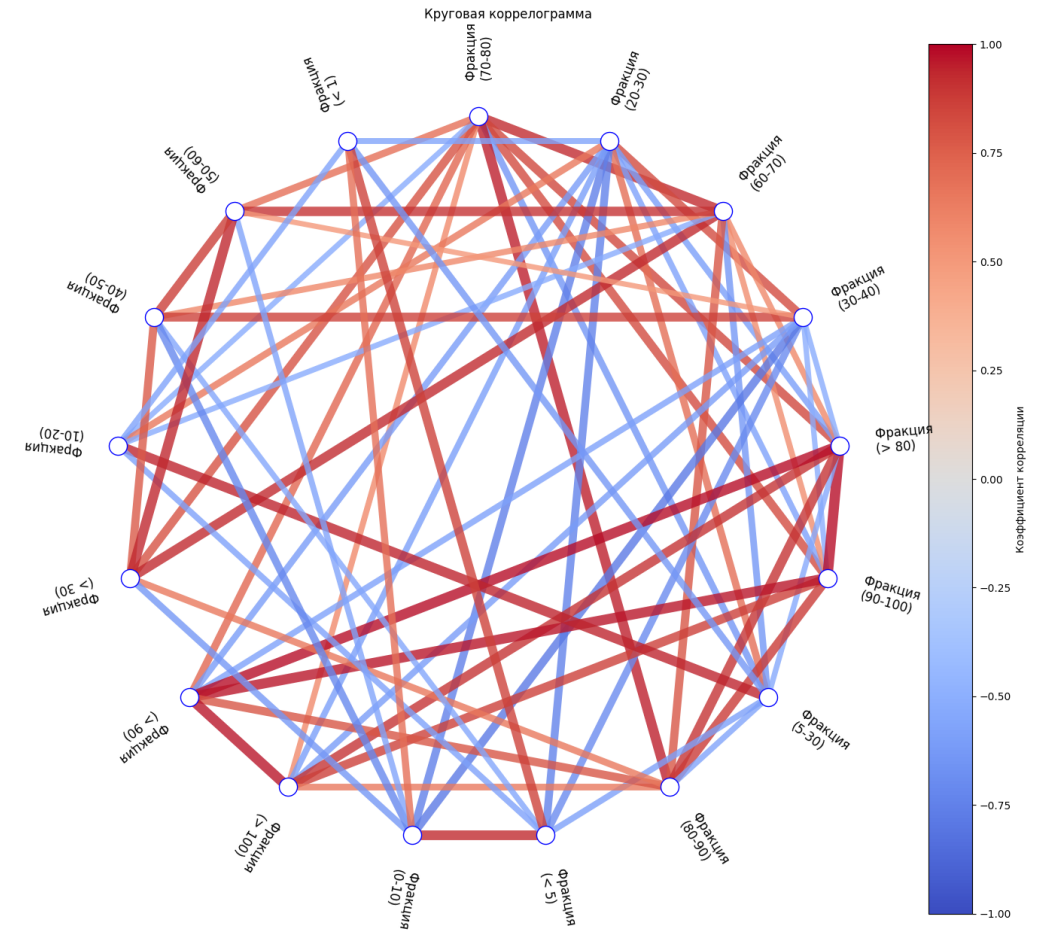
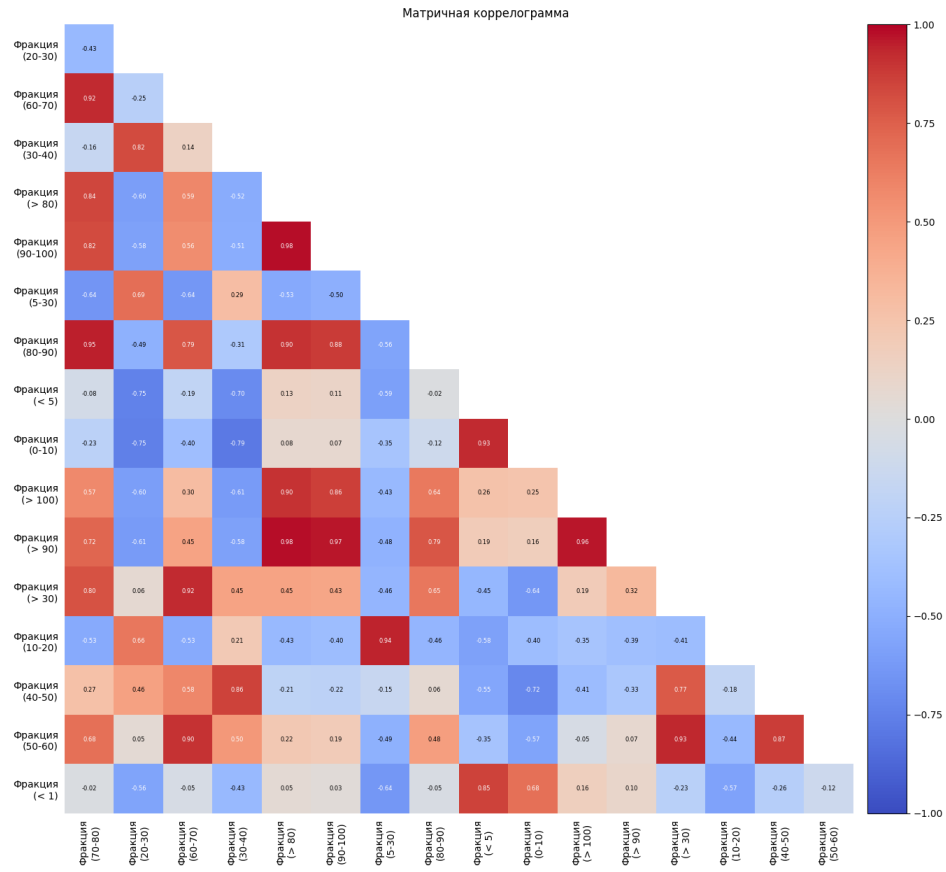
Гистограмма остатков для переменной Прочность, МПа (28 сут)



Важность предикторов для переменной Прочность, МПа (28 сут)



Взаимные корреляции факторов



Общий вывод – предиктивные модели СтатСофт позволяют прогнозировать качество цемента с высокой точностью.

Для построения качественного прогноза необходимо проводить:

1. систематический и целенаправленный сбор данных,
2. предпроцессинг и визуализации
3. отбор предикторов
4. обновлять модели на новых данных
5. использовании программного обеспечения для анализа данных и искусственного интеллекта ПО СтатСофт Дейта Сайнтист.

Спасибо за внимание!

**Мы открыты к взаимовыгодному
сотрудничеству!**

Сайт:

<http://statsoftai.ru/>

Тел. + 7 985 787-77-33

sale@statsoft.ru