



Моделирование влияния химического состава сплава на минимизацию брака по механическим свойствам

(пример по результатам проекта)



Содержание презентации

1. Постановка задачи
2. Исследование с помощью классических статистических методов
3. Исследование с помощью «Искусственного интеллекта» (ML)
4. Выводы

1. Постановка задачи

Разработать математические модели для прогнозирования несоответствий в части механических свойств выбранного сорта стали при повышенных температурах

Заказчик, неудовлетворенный уровнем несоответствий, изменял химсостав в пределах ТУ на основании собственных статистических исследований.

Цель - анализируя имеющиеся данные об испытаниях готовой продукции с помощью средств искусственного интеллекта при относительно небольшом количестве исторических данных:

- 1) Проверить корректность изменения химсостава.
- 2) Выявить потенциал для улучшения качества, повышения стабильности характеристик изделий.
- 3) Выявить потенциал снижения затрат на приемку и контроль качества продукции.

Используемые данные:

- технологические данные выплавки в ДСП;
- данные химических проб после выплавки;
- данные механических испытаний при нормальной и повышенной температуре 350 гр.С;
- нормативы на химический состав слитка и механические свойства.

Наличие и сопоставимость данных

количество записей по видам данных

Наборы данных	Совместное кол-во плавок
Химия ДСП + Мех. испытания (нормальные температуры)	1 030
Химия ДСП + Мех. испытания (повышенные температуры (350 гр.))	439
Технологические данные + Химия ДСП + Мех. испытания (повышенные температуры (350 гр.))	72

При формировании наборов данных принято:

- усреднение всех проб механических испытаний для фактических значений
- метка несоответствия назначается, если хотя бы одно испытание не проходит норматив
- пропуски в нормативах отбрасываются

Количество тестов на несоответствия

При нормальной и повышенной температуре 350 гр.С

Целевой признак – выход хотя бы одного механического испытания для плавки за пределы нормативных значений

Механическое свойство	Доля несоответствия по испытаниям, %	Кол-во испытаний	Кол-во плавков
Временное сопротивление	0,44	4116	2392
Предел текучести	1,34	2087	1045
Временное сопротивление (повышенные температуры (350 гр.С))	0,32	2813	838
Предел текучести (повышенные температуры (350 гр.С))	>10	2813	838

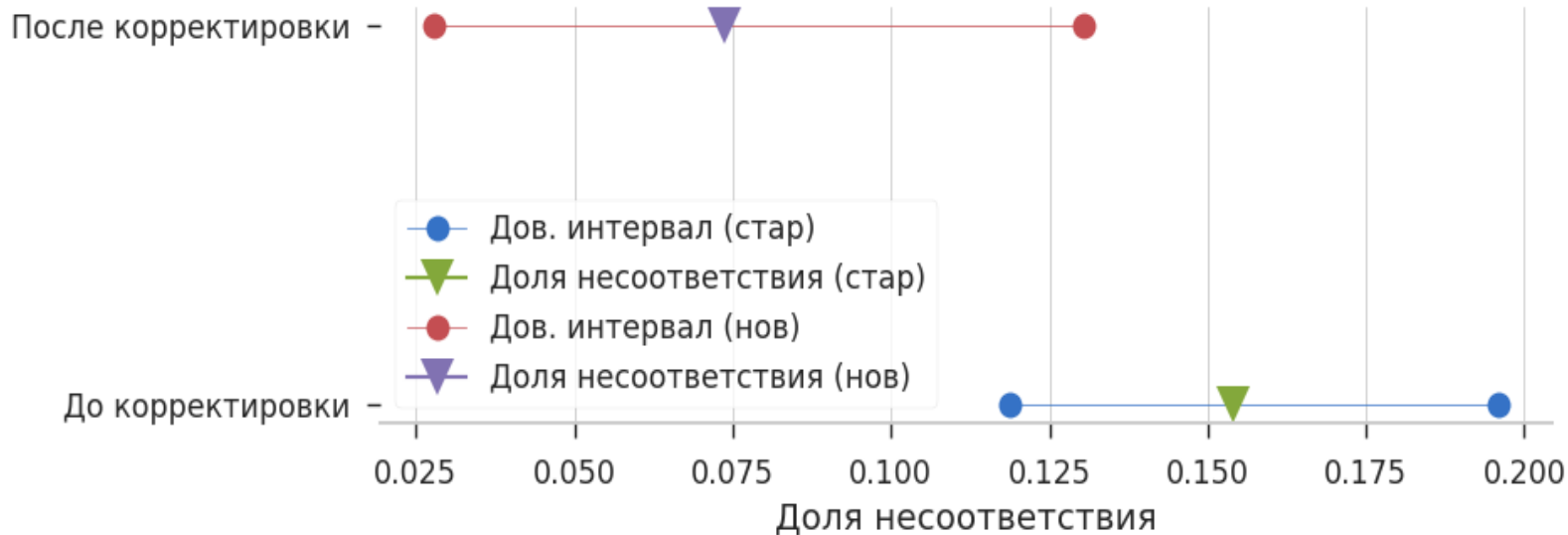
Для анализа и моделирования выбран целевой признак
Предел текучести при 350 гр.С

Анализ изменения ожидаемой доли брака до и после корректировки нормативов (интервальная оценка)

Интервальная оценка доли несоответствия: построение **доверительного интервала (ДИ)** для доли несоответствия, в котором с вероятностью 95% находится оцениваемая величина.

Оценки ДИ до\после корректировки норматива достаточно широкие.

Пересечение их ДИ ~12% свидетельствует о недостаточности данных для статистически однозначного вывода о существенном снижении доли брака после корректировки норматива.



2. Исследование с помощью классических статистических методов.

Сравнительный анализ распределений влияющих факторов до и после корректировки нормативов

Химические элементы vs Несоответствия

Норматив до корректировки



Отсутствие границы означает, что все фактические значения были в пределах норматива

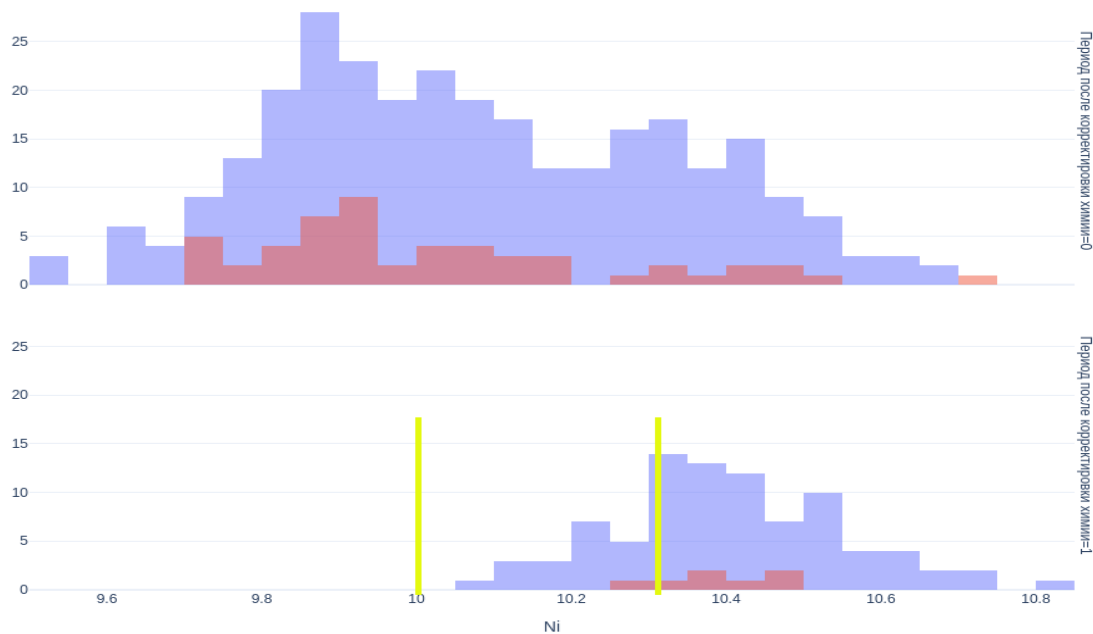
Норматив после корректировки



Отсутствие границ означает, что нормативные значения по данному хтиэлементу не менялись

Химический состав

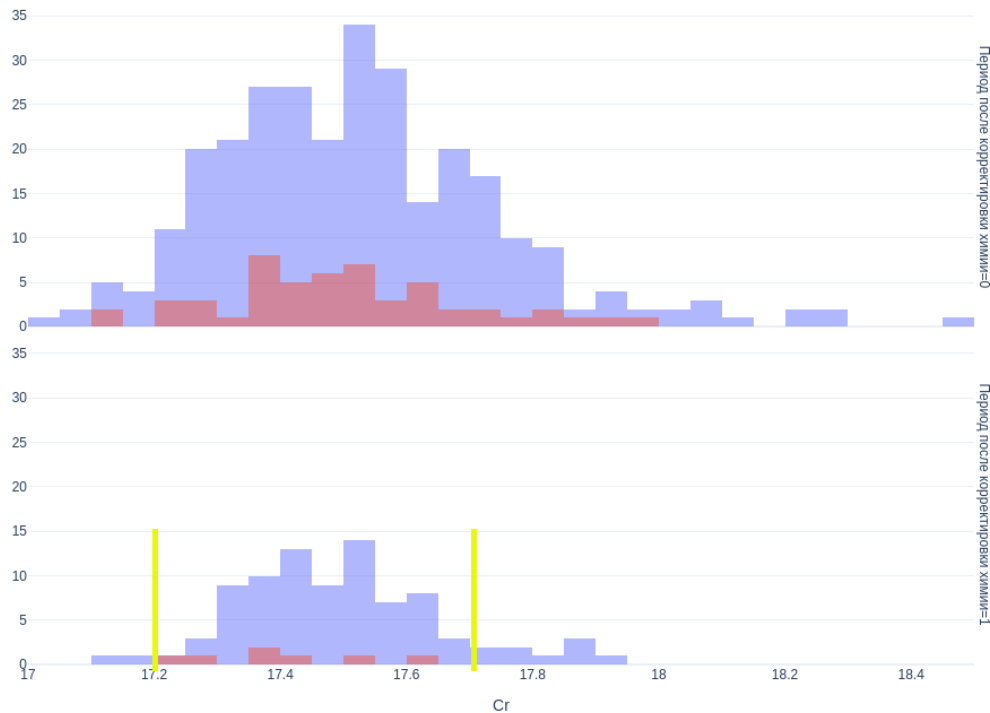
Никель - Соотв. \ Несоотв. Периоды до\после корректировки хим. Состава
Пример недостаточной корректировки химсостава



Химический состав

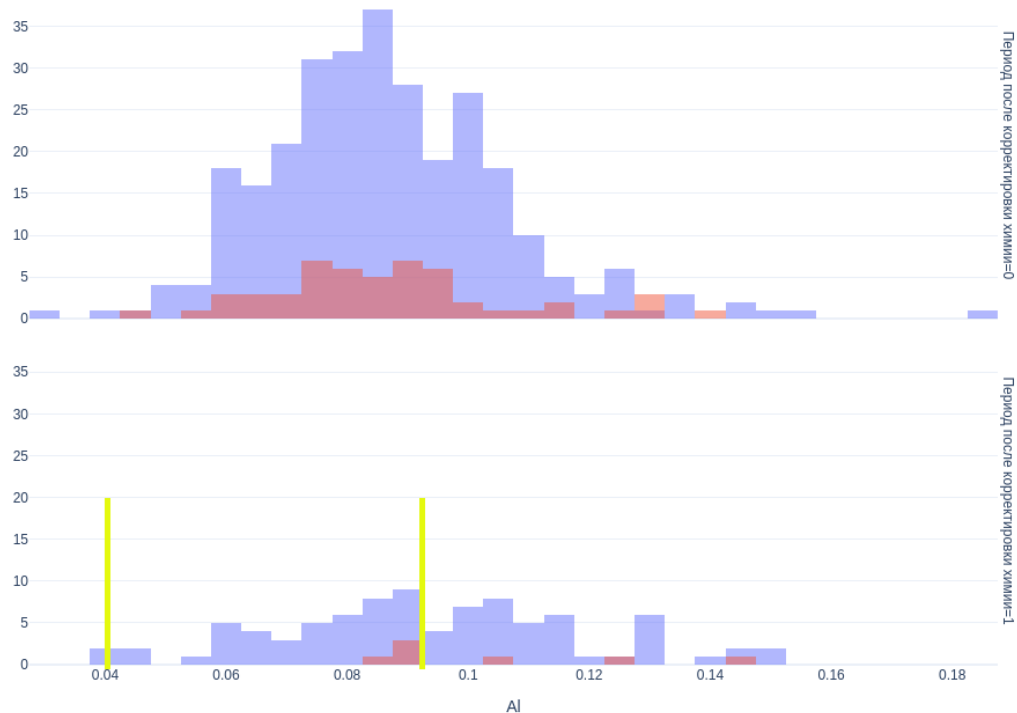
Хром - Соотв. \ Несоотв. Периоды до\после корректировки хим. Состава

Пример успешной корректировки химсостава



Химический состав

Аллюминий - Соотв. \ Несоотв. Периоды до\после корректировки хим. Состава
Пример недостаточной корректировки химсостава



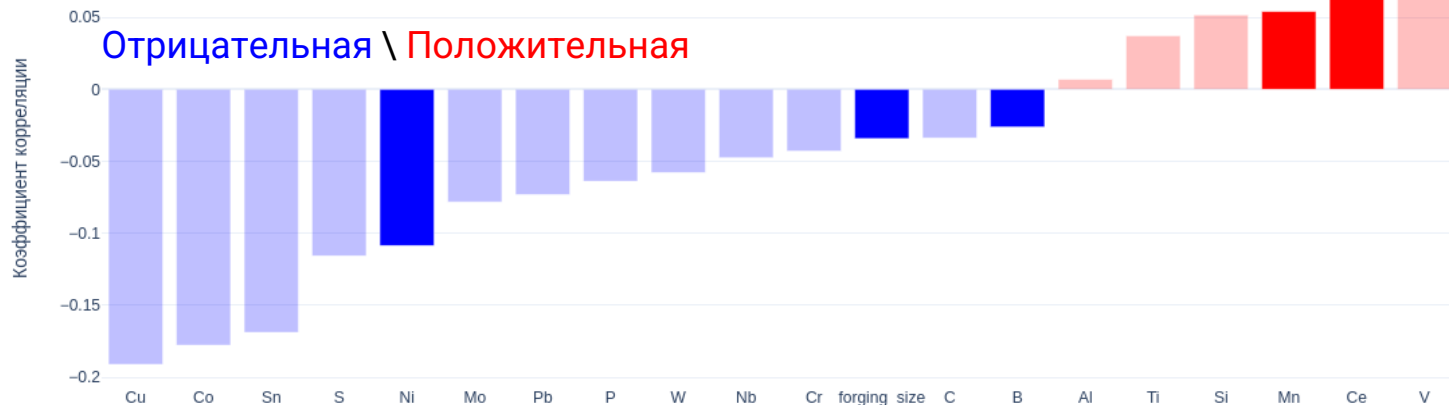
Корреляции.

Соотв/Несоотв vs хим.элементы

Повышенные температуры (350 гр.С)

Парный корреляционный анализ «химический элемент vs несоответствия» позволяет увидеть только качественный характер зависимости по некоторым факторам

- **яркий** цвет – коэффициент корреляции отличен от 0 (ДИ 95%)
- **тусклый** цвет – коэффициент может быть равен 0



Выводы на основе классического статистического анализа

1. Несмотря на небольшой набор данных (439 плавков), удастся качественно оценить как области «увеличения несоответствий», так и правильность корректировки ТУ.
2. Обнаружено влияние на несоответствия 5-6 параметров (из более 30) на основе корреляционного анализа.
3. Выполненная корректировка диапазонов химического состава привела к некоторому снижению количества несоответствий, однако, по некоторым химическим элементам корректировка была недостаточной.
4. Предварительный статистический анализ показал:
 - наличие потенциала для дальнейшего уточнения нормативов на химический состав для снижения несоответствий;
 - использование методов искусственного интеллекта потенциально поможет уточнить технологические нормативы.

3. Моделирование вероятности несоответствия (брака) методами «Искусственного интеллекта»

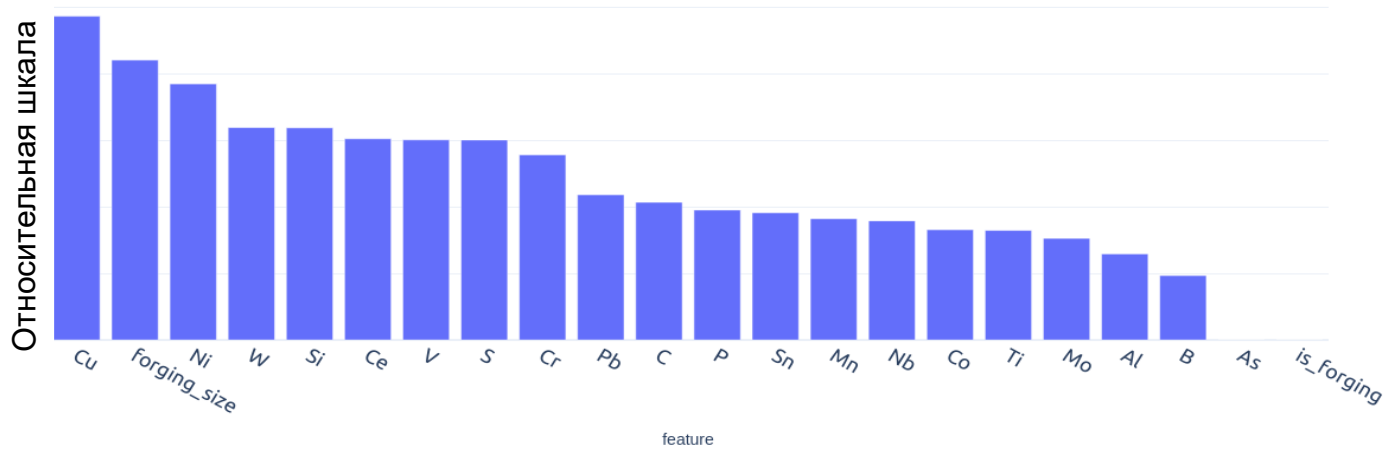
В рамках моделирования были проведены следующие работы:

- Формирование целевой переменной - хотя бы одно несоответствующее механическое свойство при первичных и/или повторных испытаниях.
- Отбор признаков алгоритмами boruta и power predictive score.
- Моделирование методом логистической регрессии.
- Моделирование методом случайного леса.
- Вариации моделей случайного леса с изменением порога бинарного разделения.
- Моделирование методом градиентного бустинга.
- Иллюстрирование результатов моделирования при помощи диаграмм относительной важности.

Метрики точности модели прогнозирования несоответствия (могут быть оптимизированы для лучшего прогнозирования несоответствия или соответствия)

Метрика	Класс: 1 - брак 0 - соответствие	Значение метрики
Accuracy (доля правильных ответов алгоритма)		0.9
Recall (полнота - доля объектов, правильно классифицированных класса во всем объеме класса)	0	0.9
	1	0,87

Многофакторная оценка влияющих факторов (предикторов) методами искусственного интеллекта



Небольшая разница значений степени влияния различных предикторов подтверждает необходимость моделирования одновременного учета такого влияние с помощью алгоритмов искусственного интеллекта.

Наглядная графическая интерпретация результатов работы ML модели может быть полезной для формирования рекомендаций по изменению технологических нормативов.

Оценка влияния параметров на вероятность брака ML-методами. Визуализация.

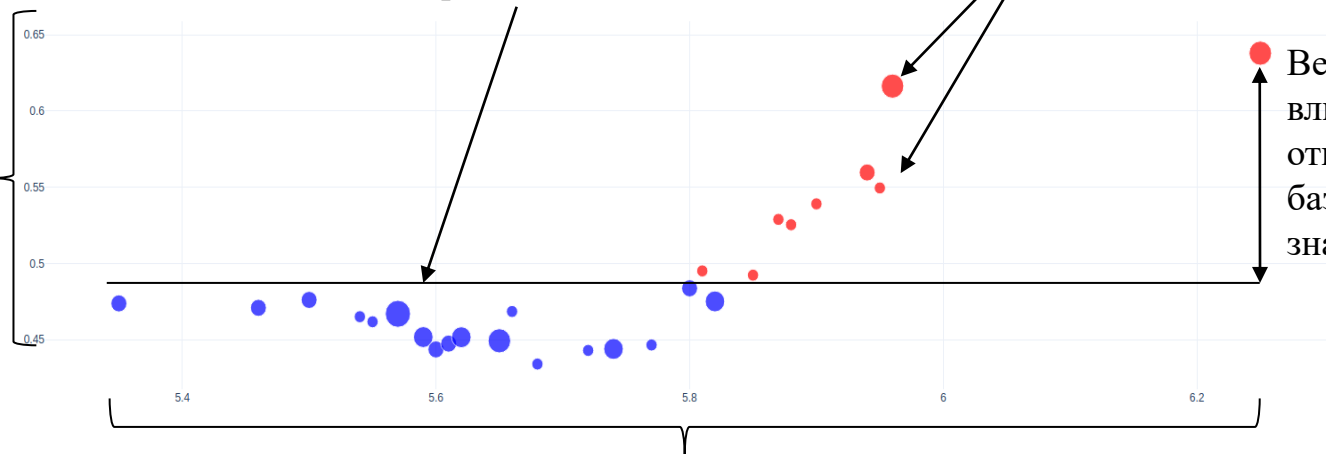
- Снижение вероятности брака
- Повышение вероятности брака

Базовое значение модели –
среднее значение целевой
в выборке

Размер – количество
усредненных значений

Диапазон выходных
значений модели при
классификации
«Вероятность брака»

Величина
влияния
относительно
базового
значения



Диапазон значений
признака в выборке

Оценка влияния параметров на вероятность брака ML-методами. Результаты

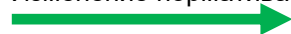
Из 9-ти максимально влияющих параметров, отобранных ML моделью, ниже представлены результаты и рекомендации по 3-м контролируемым элементам:

Ni, Si, Cr

Диаграммы влияния построены на всем датасете из 439 плавков.

Приведенный анализ позволяет выявить направление дальнейшего изменения нормативов на химический состав с целью снижения несоответствий

Изменение норматива



Норматив до корректировки



Норматив после корректировки

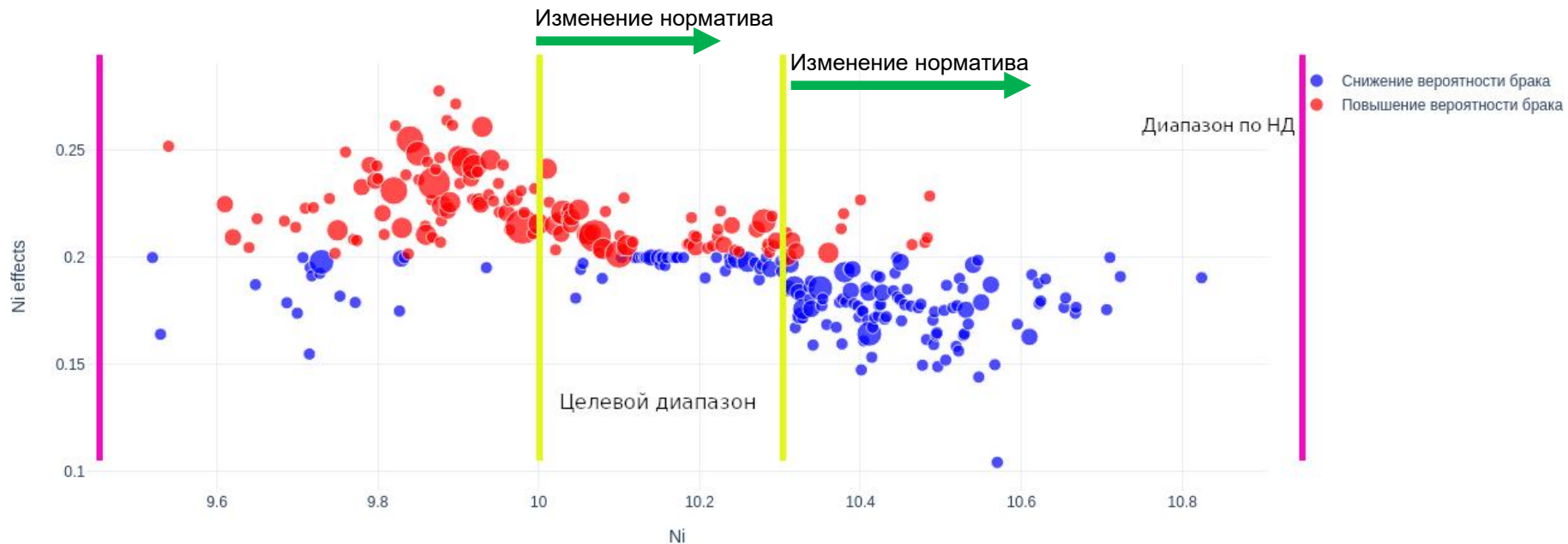


Отсутствие границ означает, что все фактические значения были в пределах норматива

Отсутствие границ означает, что нормативные значения не менялись после корректировки

Аналитическое многофакторное моделирование

Относительное влияние N_i



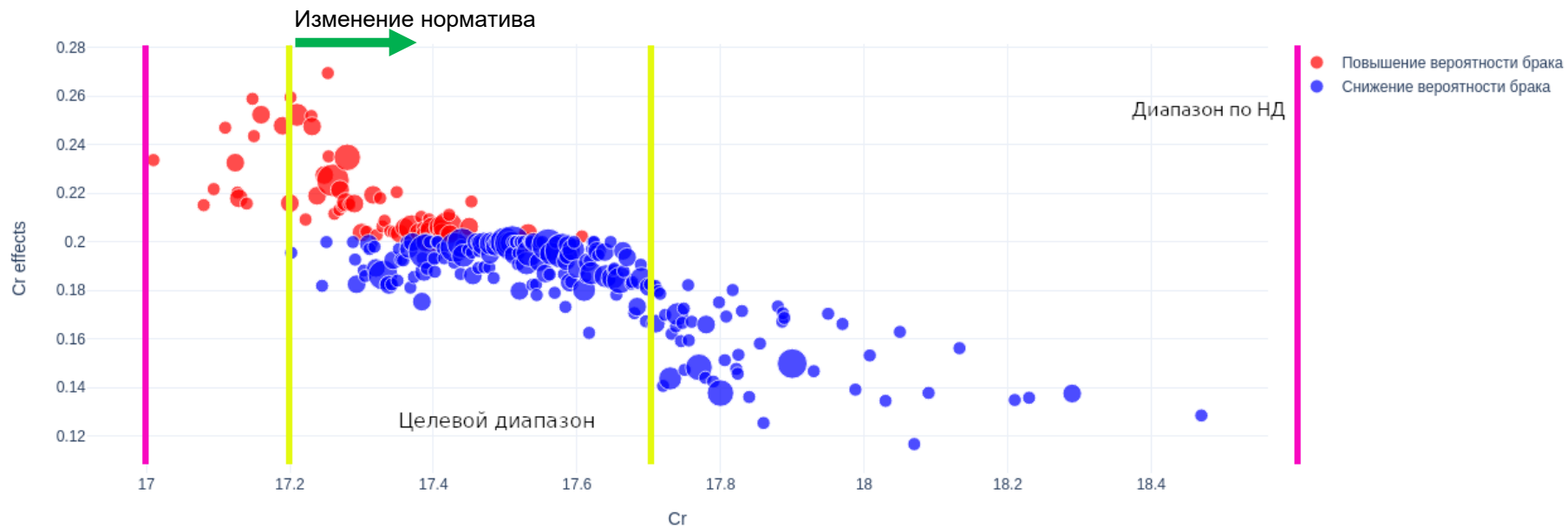
Аналитическое многофакторное моделирование

Относительное влияние S_i



Аналитическое многофакторное моделирование

Относительное влияние Cr



Выводы применения аналитических ML-методов

ML-методы могут быть эффективны для:

1. Выявления существенно влияющих на несоответствие параметров (предикторов).
2. Создания моделей прогноза несоответствий. Метрики таких моделей (качество прогноза) будут улучшаться при повышении полноты данных.
3. ML-модели эффективны также для рекомендаций по изменениям параметров производства и нормативов.
4. Многопараметрический ML-анализ может быть применим при ограниченном количестве и качестве имеющихся оцифрованных исторических данных о технологическом процессе.
5. Оптимизации испытаний/тестировании готовой продукции. Прогноз несоответствий позволяет снизить количество повторных испытаний, а также оптимизировать время и ресурсы на проведение экспериментов при определении причин несоответствий, корректировке технологии и освоении новых видов продукции.

Прогнозы для
промышленности
с помощью
искусственного
интеллекта

@

• info@promprognoz.ru



+7 977 418 7081

