

A 3D bar chart with three bars of increasing height. The first bar is the tallest and has the letter 'R' on top. The second bar is shorter and has the letter 'A' on top. The third bar is the shortest and has the letter 'A' on top. The bars are dark grey with a lighter grey top surface. The background is a light grey gradient.

# AI-КЕЙСЫ

ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ  
КОМПАНИЙ И  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ

R77 AI

# СИСТЕМА ОПТИМИЗАЦИИ РАСХОДА ФЕРРОСПЛАВОВ



# СТРУКТУРА ПРЕЗЕНТАЦИИ

**ПОСТАНОВКА  
ЗАДАЧИ**

**АНАЛИЗ  
ДАННЫХ**

**ПРЕДЛАГАЕМОЕ  
РЕШЕНИЕ**

**ЧТО НУЖНО  
ДЛЯ СТАРТА**

**О КОМПАНИИ**

# СТРУКТУРА ПРЕЗЕНТАЦИИ

**ПОСТАНОВКА  
ЗАДАЧИ**

**АНАЛИЗ  
ДАННЫХ**

**ПРЕДЛАГАЕМОЕ  
РЕШЕНИЕ**

**ЧТО НУЖНО  
ДЛЯ СТАРТА**

**О КОМПАНИИ**

# ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ

## Цель:

Снижение себестоимости продукции за счет оптимизации потребления ферросплавов при достижении требуемого химического состава стали с учетом состава сырья, температуры плавки, метода присадки и других параметров технологического процесса

## Задачи:

Разработать аналитическую модель для расчета оптимального расхода ферросплавов на печном и внепечном этапах выплавки стали при заданных ограничениях в виде целевого химического состава

Разработать интерфейс оператора для отображения рекомендуемых отдач ферросплавов и контроля химического состава плавки

# ОЖИДАЕМЫЙ ЭФФЕКТ



**Помощь сталеварам в  
управлении процессом**



**Сокращение расхода  
ферросодержащих материалов**



**Сокращение времени  
выплавки стали**



**Своевременное отслеживание  
аномалий в плавках**



**Повышение  
производительности передела**



**Увеличение прибыли за счет оптимизации  
использования материалов и времени  
внепечной обработки стали**

# СТРУКТУРА ПРЕЗЕНТАЦИИ

**ПОСТАНОВКА  
ЗАДАЧИ**

**АНАЛИЗ  
ДАННЫХ**

**ПРЕДЛАГАЕМОЕ  
РЕШЕНИЕ**

**ЧТО НУЖНО  
ДЛЯ СТАРТА**

**О КОМПАНИИ**

# ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ

## Цель:

Оценка возможности внедрения системы  
оптимизации ферросплавов

## Задачи:

Анализ предоставленных данных

Оценка потенциального эффекта от  
внедрения системы

Оценка решаемости задачи





# АНАЛИЗ ДАННЫХ

## Критичные данные:



Фактическая масса добавляемых материалов на печном и внепечном этапах



Результаты химического анализа на печном и внепечном этапах



Данные по маркировочной пробе



Границы по химическому составу в разрезе марок стали

# ПЕРЕЧЕНЬ ДАННЫХ

## ПЕЧНОЙ ЭТАП



Фактический химический состав добавляемых материалов



Фактическая масса добавляемых материалов



Химический состав огнеупоров



Другие данные\*

## СЛИВ + ТРАНСПОРТИРОВКА



Фактический химический состав добавляемых материалов



Фактическая масса добавляемых материалов



Масса слитого в стальковш печного шлака



Химический состав плавки на момент слива



Температура плавки на момент слива



Химический состав слитого печного шлака



Другие данные\*

## ВНЕПЕЧНОЙ ЭТАП



Марка стали



Фактический химический состав добавляемых материалов



Фактическая масса добавляемых материалов



Фактическая масса плавки на момент начала обработки



Текущая стойкость стальковша



Дополнительные требования к химическому составу стали



Другие данные\*

# КРИТЕРИЙ 1

## Качество исходных данных



# КАЧЕСТВО ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

СВЯЗНОСТЬ ИНФОРМАЦИИ О ПЛАВКЕ  
МЕЖДУ РАЗЛИЧНЫМИ АГРЕГАТАМИ И ХИМ.  
АНАЛИЗАМИ

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ХИМИЧЕСКИХ  
АНАЛИЗОВ

ОБСЛЕДОВАНИЕ МАРОЧНОГО СОСТАВА  
И ТРЕБОВАНИЙ К НИМ

АНАЛИЗ СОРТАМЕНТА ФЕРРОСПЛАВОВ  
И ШЛАКООБРАЗУЮЩИХ



# КАЧЕСТВО ИСХОДНЫХ ДАННЫХ

**Фиксируем ограничения:**



**Временной интервал**



**Марки стали**



**Химические элементы**



**Маршруты плавки**  
**Например: ДСП – УЦВС – УПК – МНЛЗ**



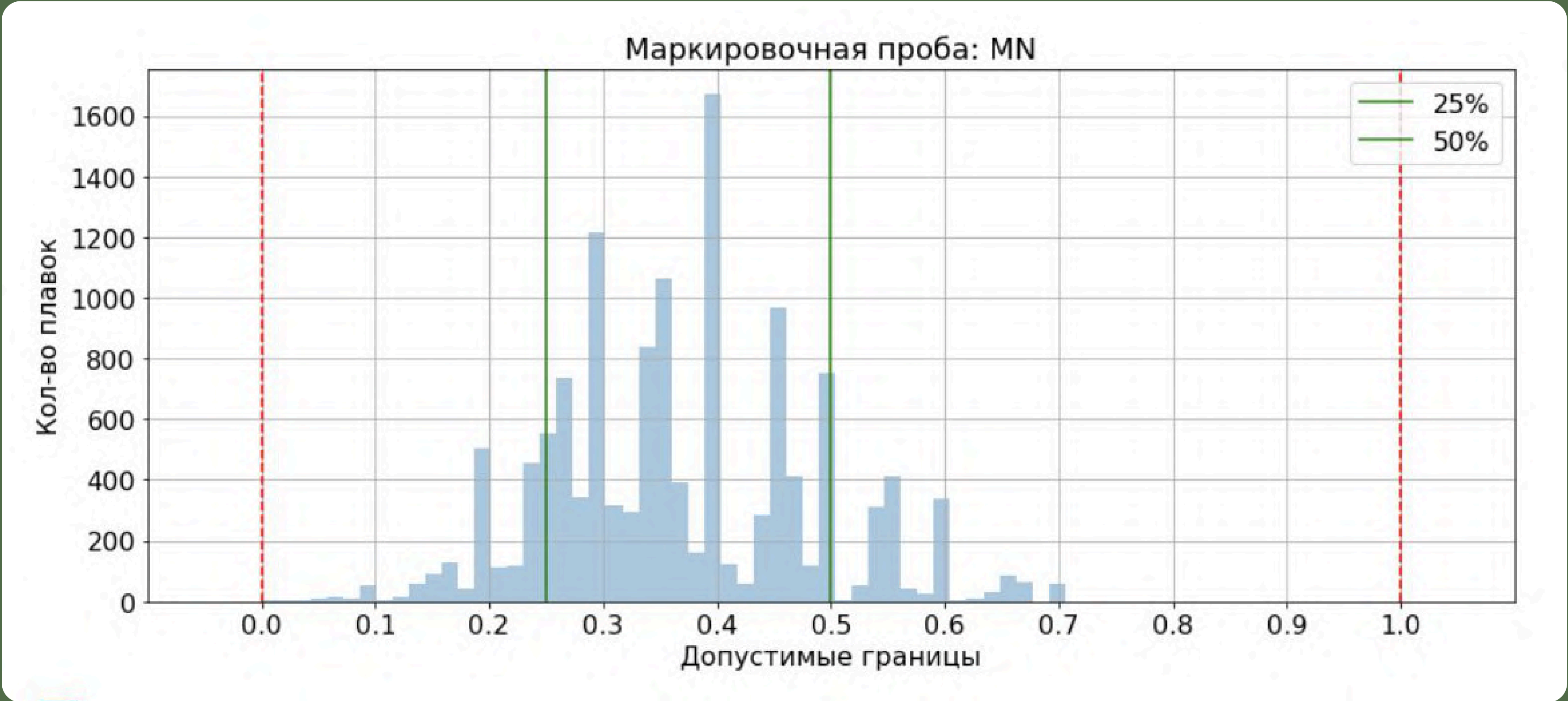
**Перечень рассматриваемых добавок**

# КРИТЕРИЙ 2

## Фактический химический состав стали



# ПРОЦЕСС ДОВОДКИ МЕТАЛЛА: Mn



# ПРОЦЕСС ДОВОДКИ МЕТАЛЛА: Mn

Проба Mn	Доля плавов, %				
	Меньше нижней границы	от 0 до 25% границы	от 25 до 50% границы	от 50 до 100% границы	Больше верхней границы
Печь (последняя)	100 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Внепечная (первая)	15 %	50 %	25 %	7 %	3 %
Внепечная (последняя)	1 %	8 %	60 %	30 %	1 %
Маркировочная	0 %	10 %	70%	20%	0 %





# Как можно оптимизировать расход ферросплавов?



# ЧТО НУЖНО ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ

**1**

**Возможность варьировать массу добавок  
и отслеживать попадание в нижнюю границу**

**2**

**Возможность провести несколько раз  
плавку в реальном мире**

# ЧТО НУЖНО ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ

1

**Возможность варьировать массу добавок  
и отслеживать попадание в нижнюю границу**

2

**Возможность провести несколько раз  
плавку ~~в реальном~~ мире**

# ЧТО НУЖНО ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ

1

**Возможность варьировать массу добавок  
и отслеживать попадание в нижнюю границу**

2

**Возможность провести несколько раз  
плавку ~~в реальном~~ мире**



**Нужна модель процесса плавки, которая  
бы по заданным параметрам, отвечала  
на вопрос, каким будет химический состав.**

# ЧТО НУЖНО ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ

1

**Возможность варьировать массу добавок и отслеживать попадание в нижнюю границу**

2

**Возможность провести несколько раз плавку ~~в реальном~~ мире**



**Нужна модель процесса плавки, которая бы по заданным параметрам, отвечала на вопрос, каким будет химический состав.**



**Далее можно варьировать массу добавок и смотреть на результат.**

# ПРИНЦИП РАБОТЫ СИСТЕМЫ



# КРИТЕРИЙ 3

Точность прогнозных  
моделей

# ПРОГНОЗНЫЕ МОДЕЛИ

ИСПОЛЬЗУЮТСЯ ТЕХНОЛОГИИ  
МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ + ЗНАНИЯ  
ФИЗИКИ ПРОЦЕССА

МОДЕЛЬ ОБУЧАЕТСЯ ПРОГНОЗИРОВАТЬ  
ХИМ. СОСТАВ КАЖДОГО ЦЕЛЕВОГО  
ЭЛЕМЕНТА НАПРИМЕР: MN, SI



# ПРОГНОЗНЫЕ МОДЕЛИ

Используются Технологии  
Машинного Обучения + Знания  
Физики Процесса

Модель Обучается Прогнозировать Хим.  
Состав Каждого Целевого Элемента  
Например: Mn, Si

## ВХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ:

- ИНФОРМАЦИЯ О МЕТАЛЛОШИХТЕ (БЕЗ ХИМ. СОСТАВА)
- МАРКА СТАЛИ
- ПРЕДЫДУЩИЕ ХИМ. АНАЛИЗЫ
- ДОБАВКИ И ФЕРРОСПЛАВЫ

## ВХОДНЫЕ ПАРАМЕТР:

- ХИМ. СОСТАВ ЦЕЛЕВОГО ЭЛЕМЕНТА

# ПРОГНОЗНЫЕ МОДЕЛИ: ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ

ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ МОДЕЛЕЙ СЧИТАЕТСЯ  
**СРЕДНЯЯ АБСОЛЮТНАЯ ОШИБКА (MAE)**

**НАПРИМЕР**

ЕСЛИ ФАКТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ MN = 0.42,  
ПРОГНОЗ = 0.41, ОШИБКА MAE =  $0.42 - 0.41 = 0.01$

# ПРОГНОЗНЫЕ МОДЕЛИ: ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ

ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ МОДЕЛЕЙ СЧИТАЕТСЯ  
**СРЕДНЯЯ АБСОЛЮТНАЯ ОШИБКА (MAE)**

## НАПРИМЕР

ЕСЛИ ФАКТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ MN = 0.42,  
ПРОГНОЗ = 0.41, ОШИБКА MAE =  $0.42 - 0.41 = 0.01$



ДЕЛИМ ДАННЫЕ НА ВЫБОРКИ ДЛЯ  
**ОБУЧЕНИЯ И ТЕСТИРОВАНИЯ** ПО ВРЕМЕНИ



ОБУЧАЕМ И НАСТРАИВАЕМ МОДЕЛИ  
**НА ВЫБОРКЕ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ**



ТЕСТИРУЕМ НА ПЛАВКАХ, КОТОРЫЕ  
МОДЕЛЬ **НЕ ВИДЕЛА**

# ПРОГНОЗНЫЕ МОДЕЛИ: ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ

РЕЗУЛЬТАТЫ НА ТЕСТОВОЙ ВЫБОРКЕ:

ЭЛЕМЕНТ	MAE	ВО СКОЛЬКО РАЗ ОШИБКА МЕНЬШЕ ДОПУСТИМОГО ДИАПАЗОНА
Марганец	0.01	20
Кремний	0.012	30

# ПРОГНОЗНЫЕ МОДЕЛИ: ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ

РЕЗУЛЬТАТЫ НА ТЕСТОВОЙ ВЫБОРКЕ:

ЭЛЕМЕНТ	MAE	ВО СКОЛЬКО РАЗ ОШИБКА МЕНЬШЕ ДОПУСТИМОГО ДИАПАЗОНА
Марганец	0.01	20
Кремний	0.012	30

# ЧЕК-ЛИСТ ДЛЯ ПЕРВИЧНОГО АНАЛИЗА

- 1 КАЧЕСТВО ИСХОДНЫХ ДАННЫХ
- 2 ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ
- 3 ТОЧНОСТЬ ПРОГНОЗНЫХ МОДЕЛЕЙ

# РЕКОМЕНДАТЕЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

ФОРМИРУЕТ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ДОБАВКАМ ФЕРРОСПЛАВОВ

МИНИМИЗИРУЕТ СТОИМОСТЬ ПЛАВКИ, ПРИ УСЛОВИИ  
СОБЛЮДЕНИЯ ТРЕБОВАНИЙ ПО ХИМИЧЕСКОМУ СОСТАВУ

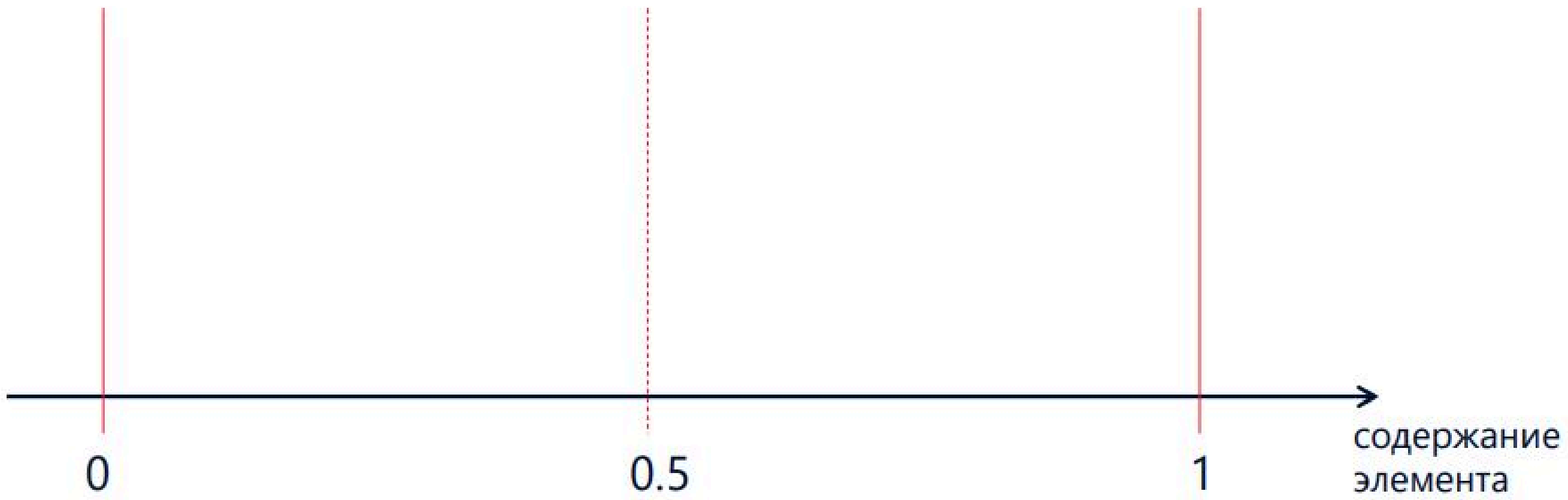
Стоимость плавки:

$$p = \sum_i c_i x_i ,$$

где  $c_i$  — цена за 1 тонну  $i$ -ого ферросплава,  $x_i$  — масса  $i$ -ого ферросплава в тоннах

# РЕКОМЕНДАТЕЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

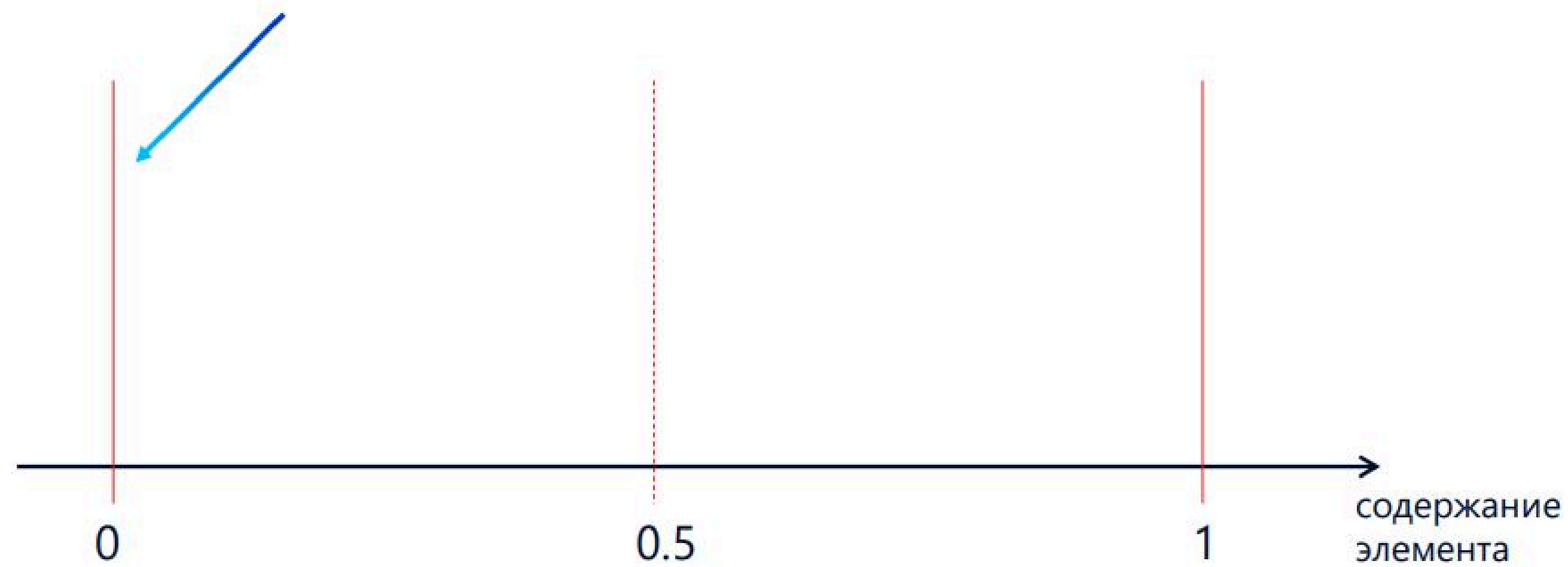
КУДА ЦЕЛИМСЯ?





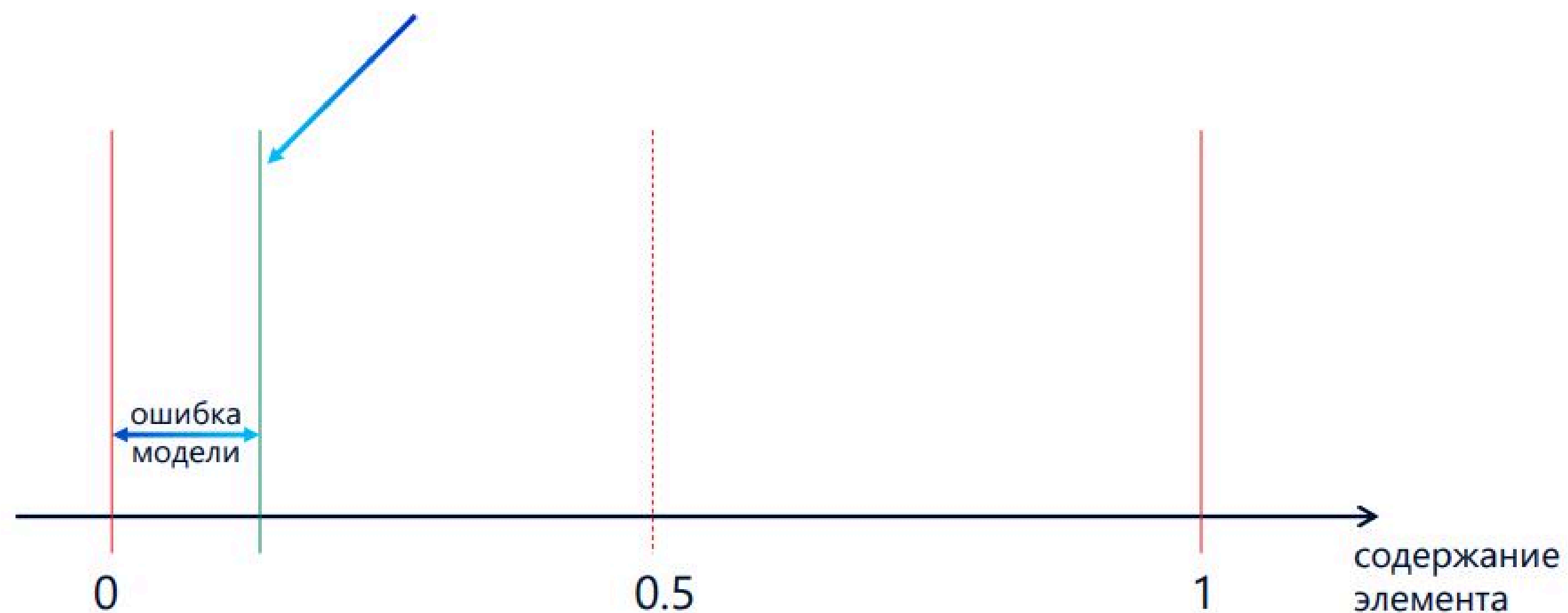
# РЕКОМЕНДАТЕЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

КУДА ЦЕЛИМСЯ?



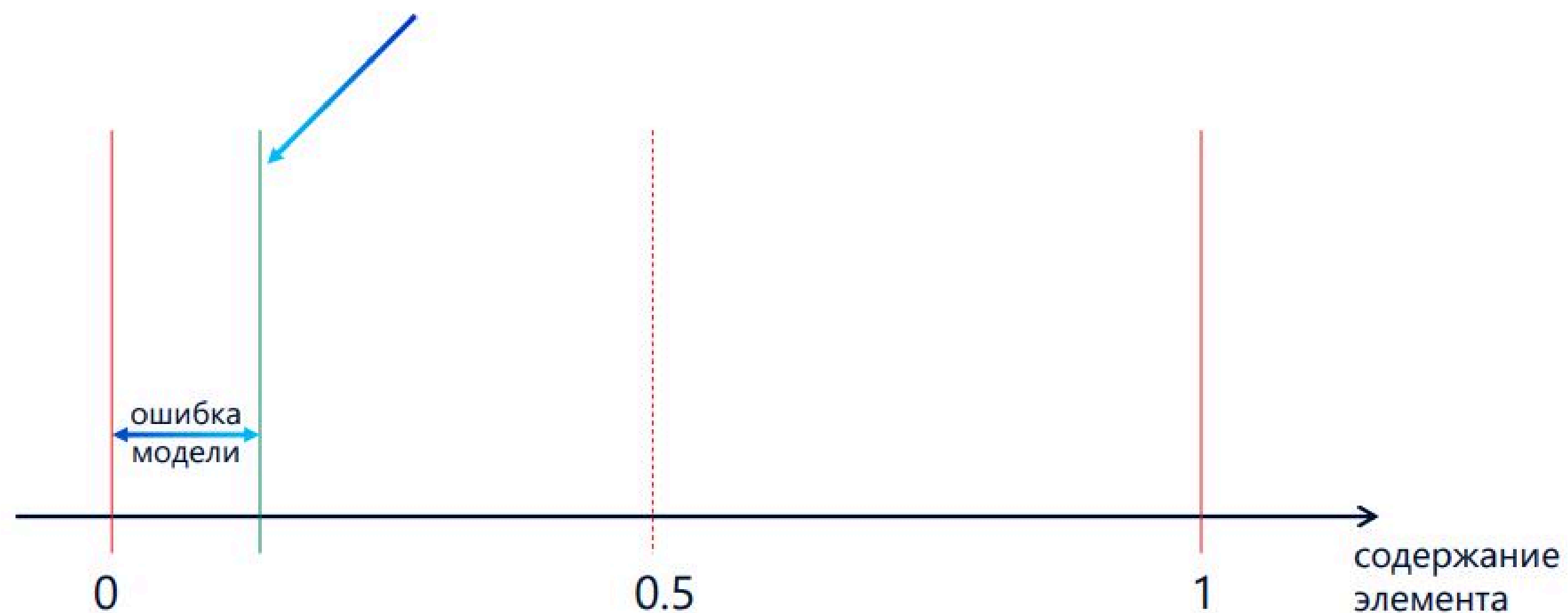
# РЕКОМЕНДАТЕЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

КУДА ЦЕЛИМСЯ?



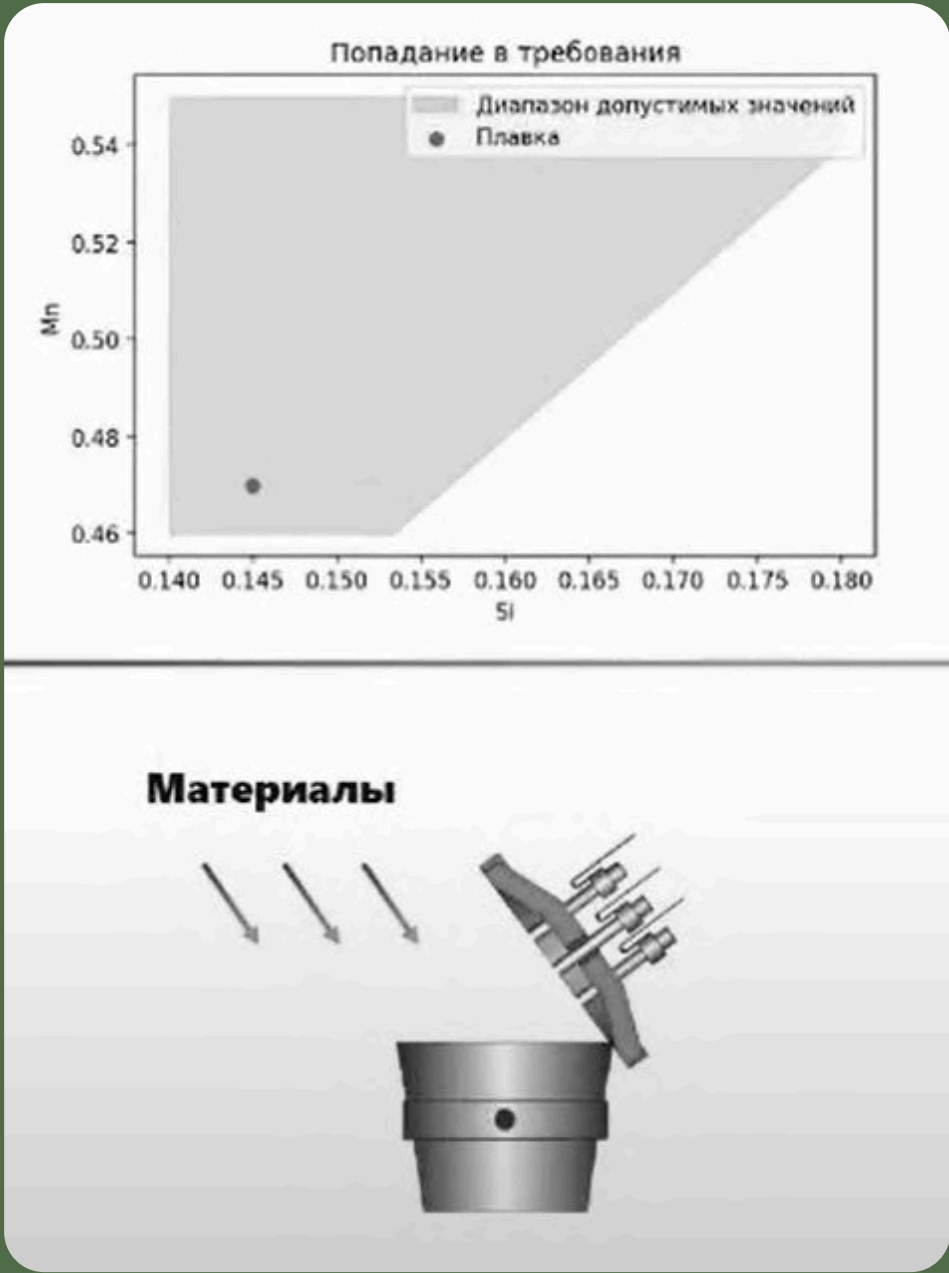
# РЕКОМЕНДАТЕЛЬНАЯ МОДЕЛЬ

КУДА ЦЕЛИМСЯ?



# КАКИЕ ЗАДАЧИ У СТАЛЕВАРА?

- 1 ПОПАСТЬ В ТРЕБОВАНИЯ  
ПО СОСТАВУ СТАЛИ
- 2 ВЫПОЛНИТЬ ПЛАВКУ  
ЗА НАИМЕНЬШЕЕ ВРЕМЯ
- 3 ЭКОНОМНО РАСХОДОВАТЬ  
МАТЕРИАЛЫ



# КАКИЕ ЗАДАЧИ У СТАЛЕВАРА?

1

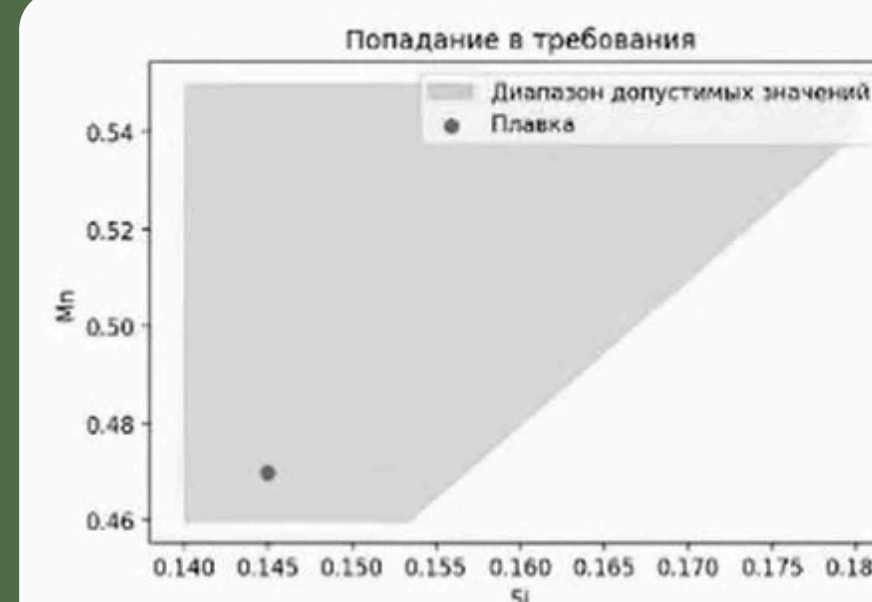
**ПОПАСТЬ В ТРЕБОВАНИЯ  
ПО СОСТАВУ СТАЛИ**

2

**ВЫПОЛНИТЬ ПЛАВКУ  
ЗА НАИМЕНЬШЕЕ ВРЕМЯ**

3

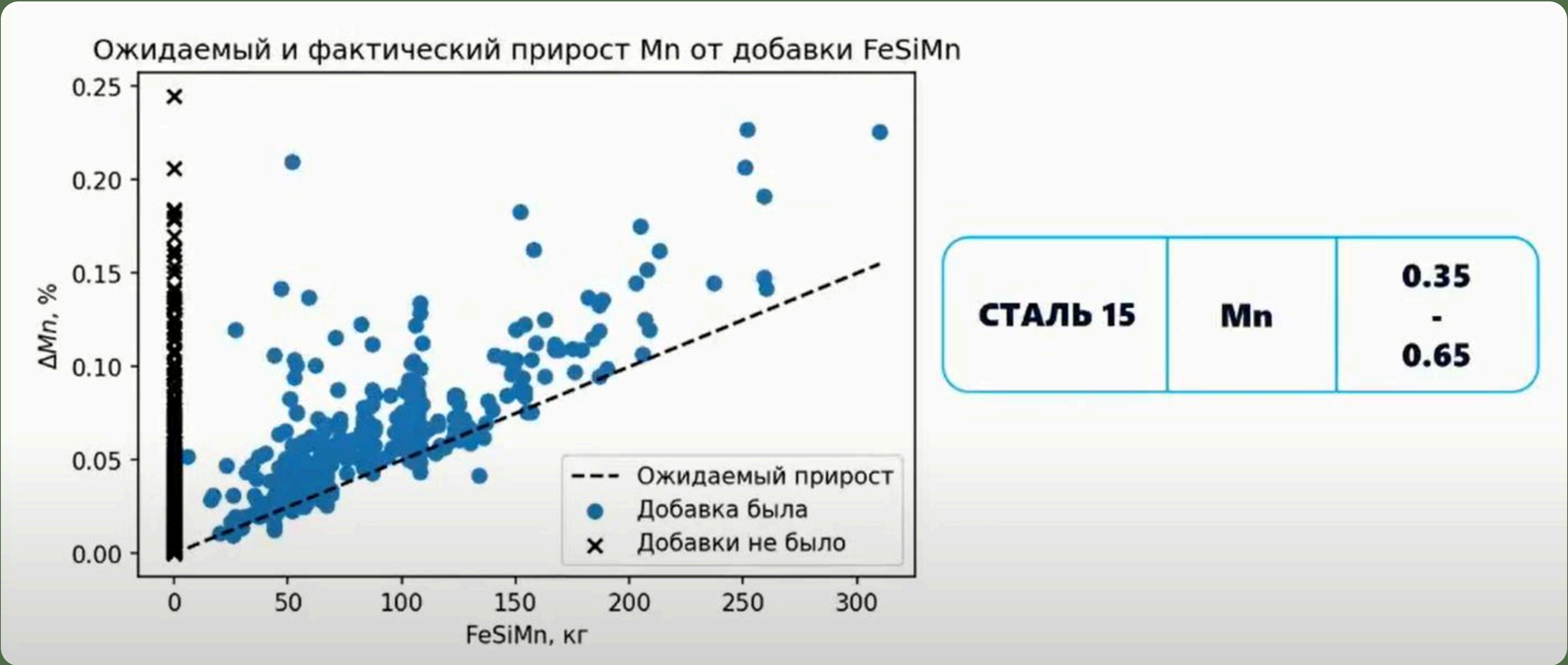
**ЭКОНОМНО РАСХОДОВАТЬ  
МАТЕРИАЛЫ**



Материалы



# СЛОЖНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ



# ПОДВОДНЫЕ КАМНИ ПРОГНОЗНОЙ МОДЕЛИ

**В ОСНОВЕ ХОРОШИХ РЕКОМЕНДАЦИЙ ДОЛЖНА ЛЕЖАТЬ  
ХОРОШАЯ ПРОГНОЗНАЯ МОДЕЛЬ**



**ПРОСТАЯ МОДЕЛЬ**



**СЛОЖНАЯ, НО МОЩНАЯ МОДЕЛЬ**



**ГИБРИД СЛОЖНОЙ И ПРОСТОЙ**



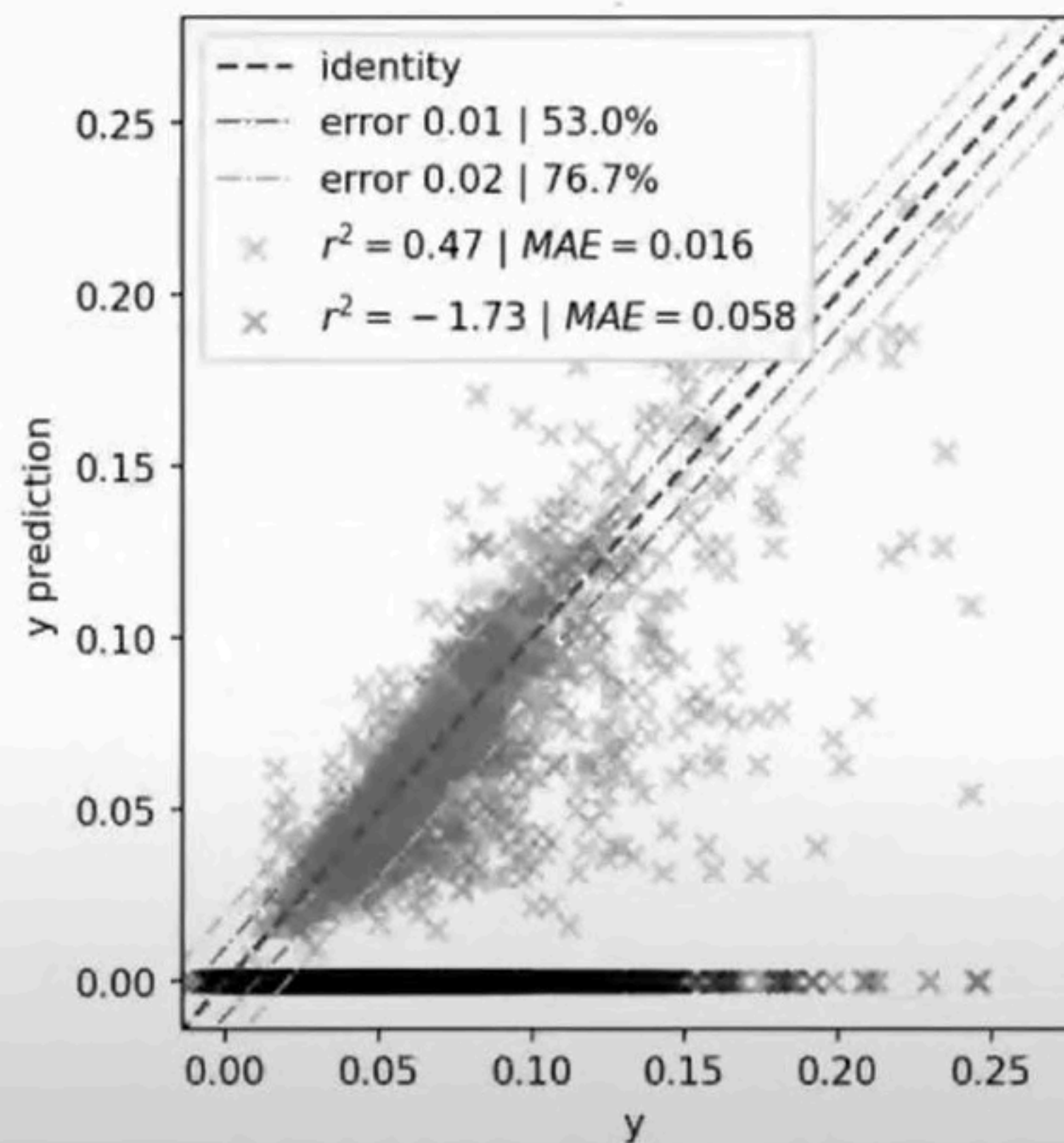
# ПРОСТАЯ МОДЕЛЬ



$$\Delta Mn = \frac{\boxed{\beta}}{\boxed{m}} \cdot FeSiMn$$

Содержание Mn  
в материале

Масса расплава

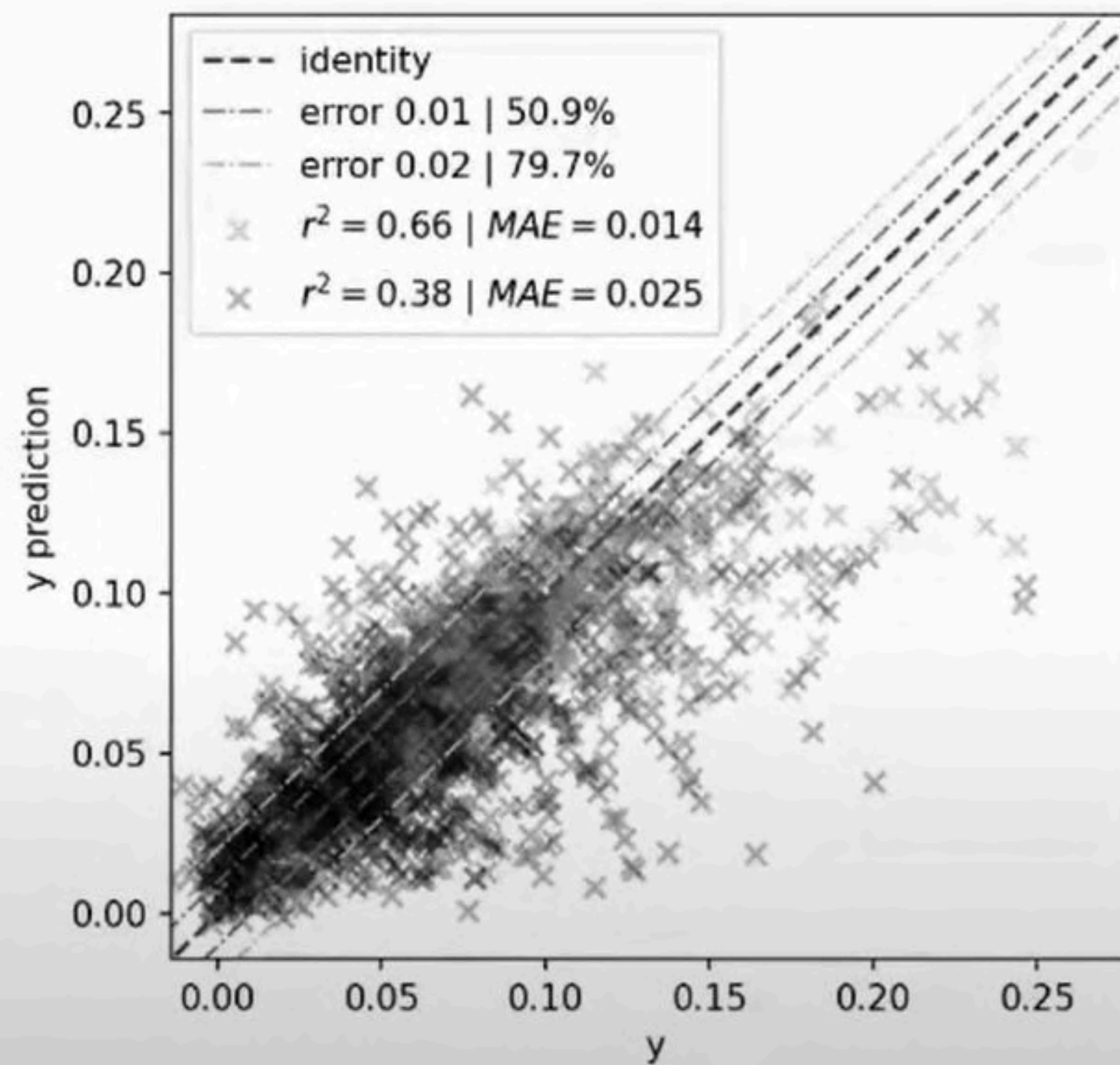
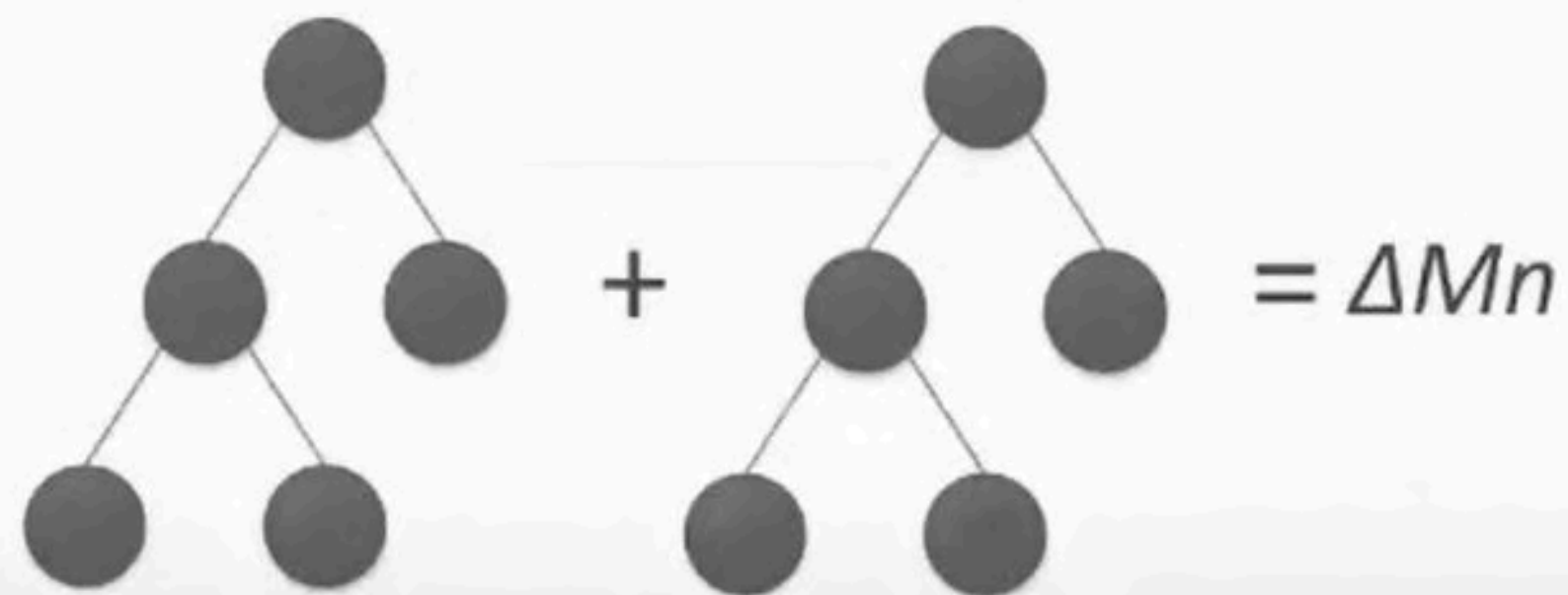




# СЛОЖНАЯ МОДЕЛЬ



## Алгоритм градиентного бустинга



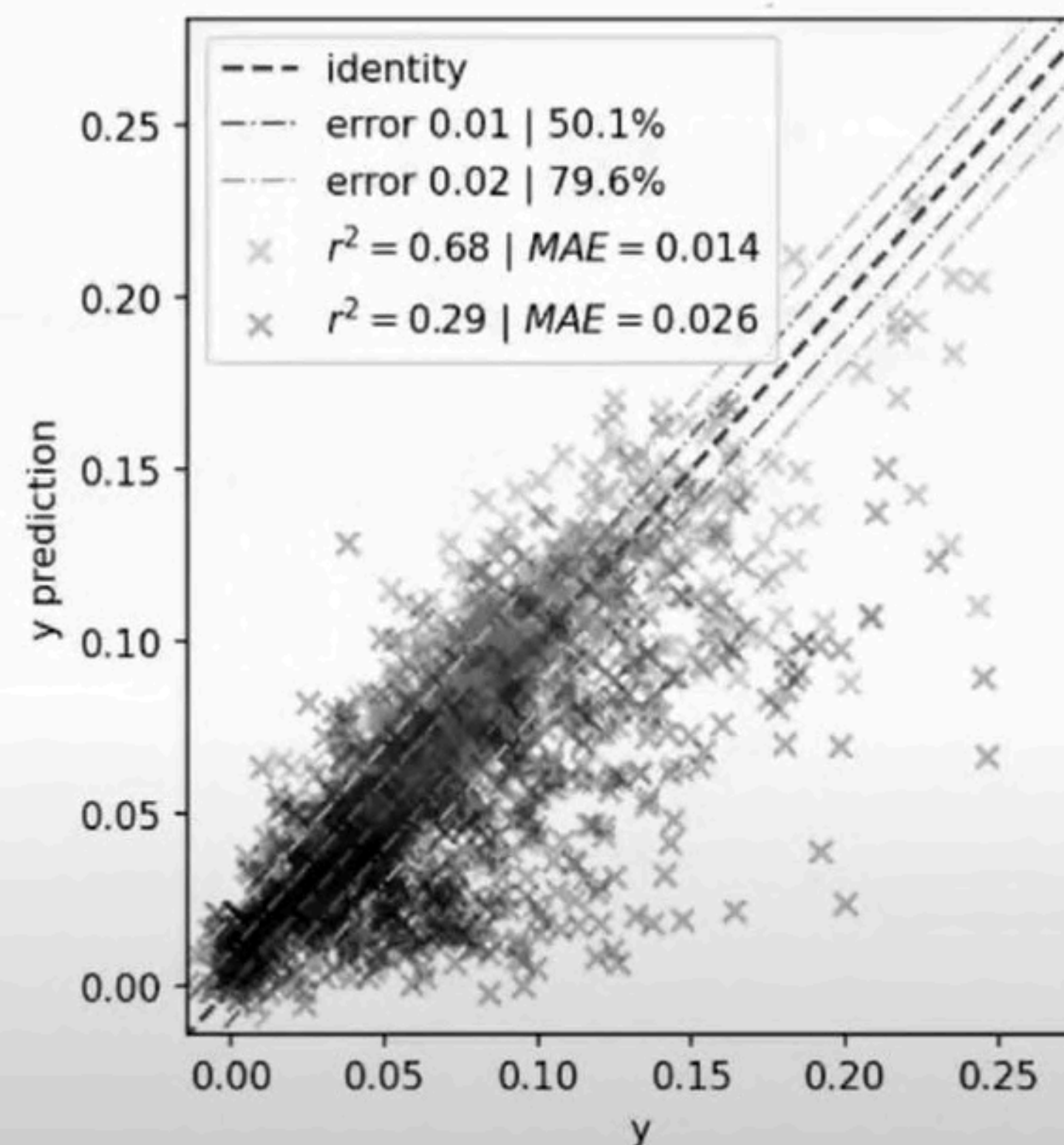
# НАШЕ РЕШЕНИЕ-ГИБРИД



Прогноз простой  
«физической» модели

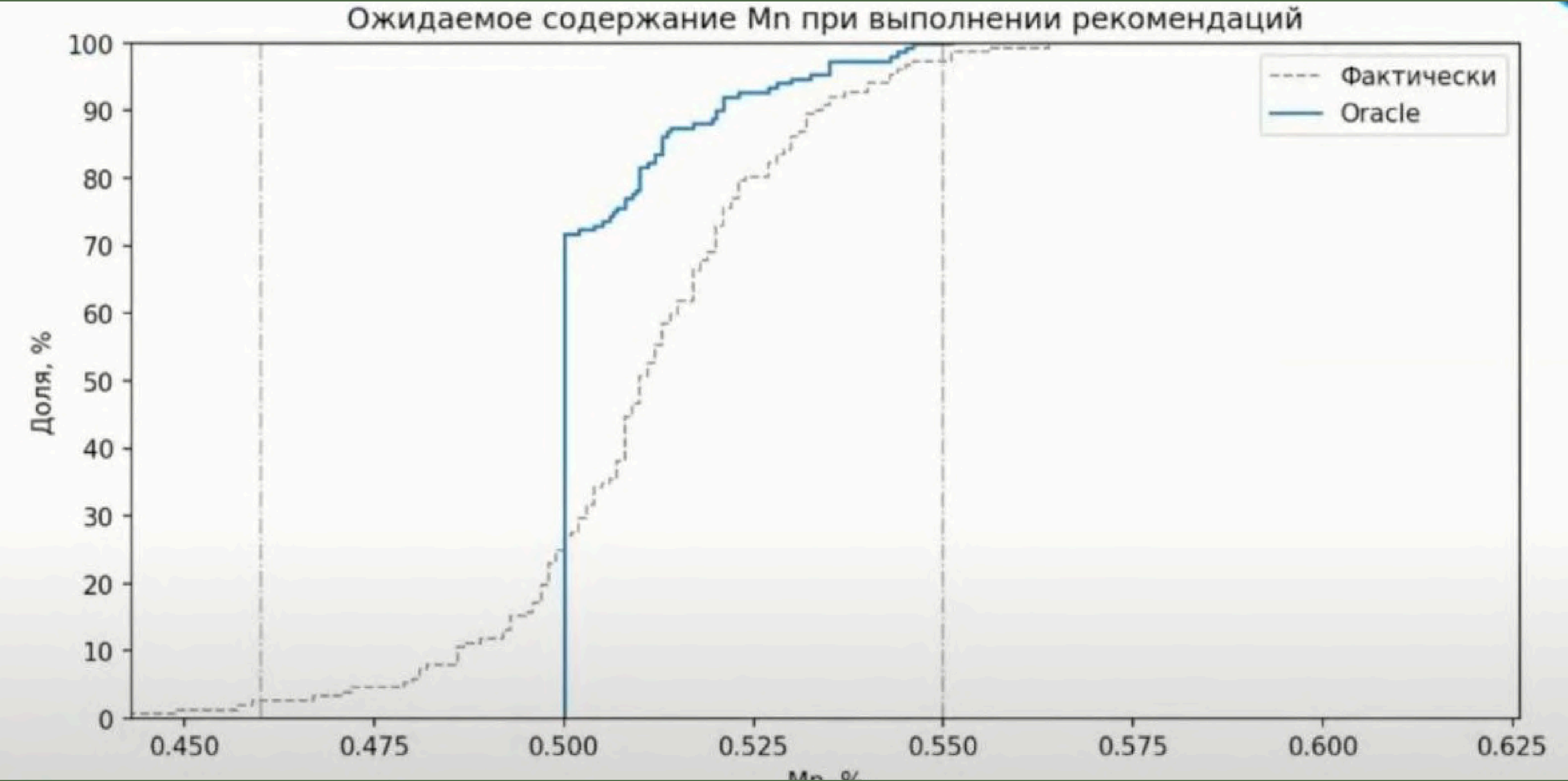
$$\Delta Mn = \frac{\beta}{m} \cdot FeSiMn + \Delta Mn_e$$

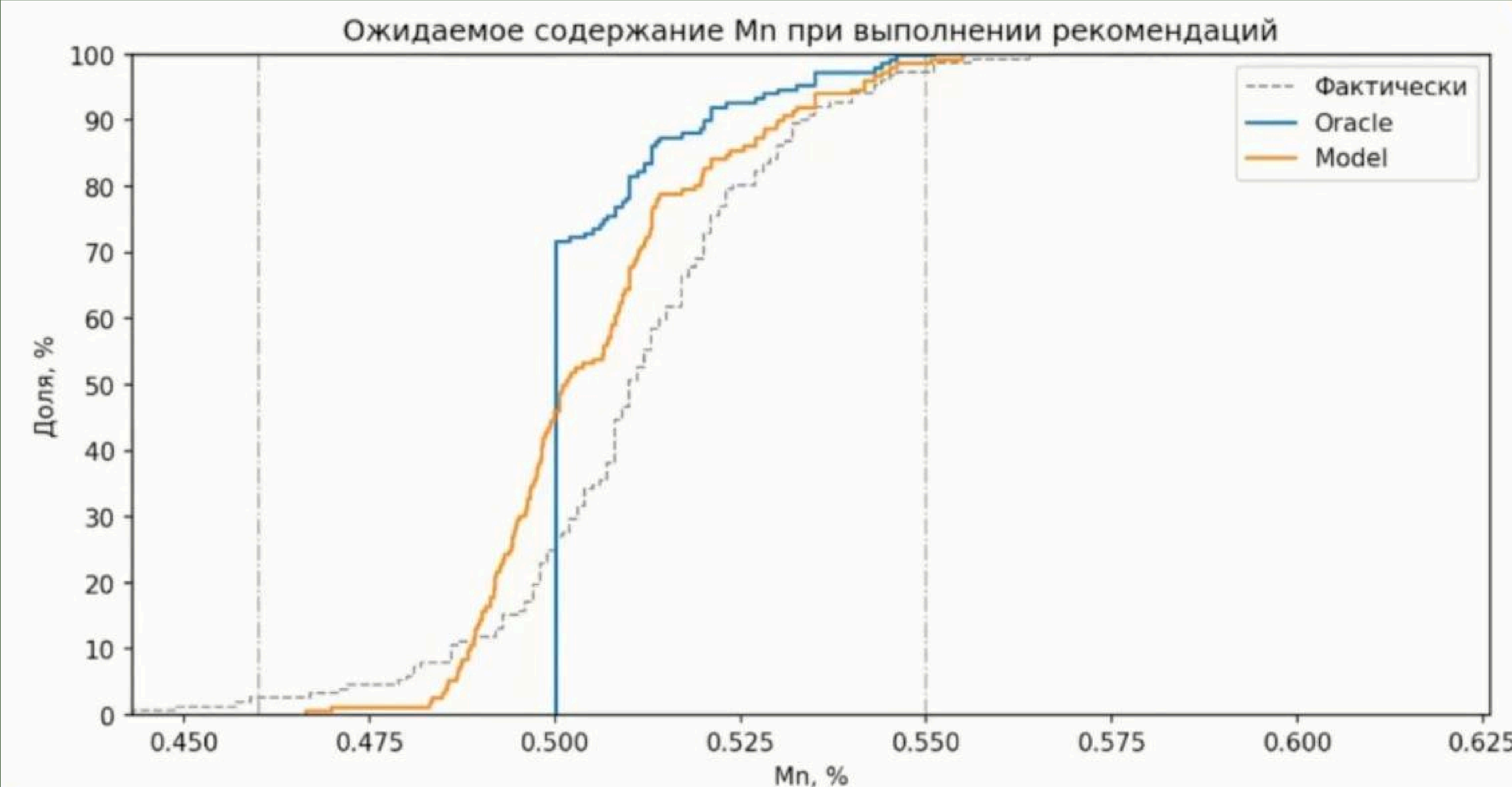
Корректировка  
прогноза сложной  
моделью

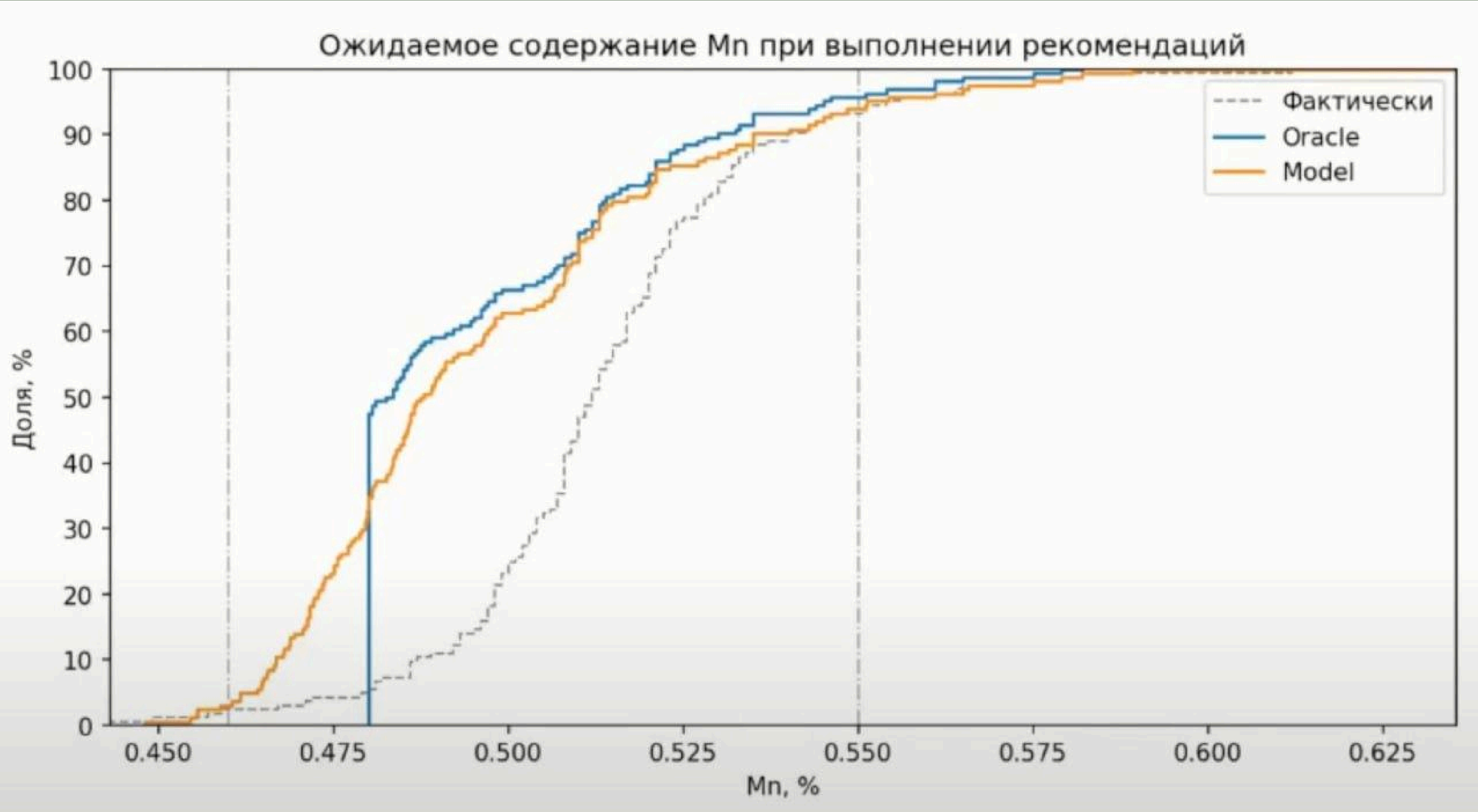


# РЕКОМЕНДАТЕЛЬНАЯ МОДЕЛЬ











# Контакты

