



ОПЫТ РАЗРАБОТКИ ЦИФРОВЫХ ИНСТРУМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ВЫПЛАВКИ СТАЛИ В ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ЦЕХАХ ТМК

Ботников Сергей Анатольевич

Заместитель Директора по эффективности
сталеплавильного производства в направлении
технологии и качества, ПАО «ТМК»



ЧЕЛЯБИНСК





ТМК – ведущий игрок трубной промышленности России



ЧЕЛЯБИНСК



Ведущий игрок в сегменте бесшовных труб



Производитель бесшовных труб по объему продаж в мире



Производитель труб в мире по эффективности

~80%

Доля нефтегазовой продукции в выручке



Современная производственная база

50+

Заводов и сервисных предприятий в разных регионах России

2,1 млн т

Объем продаж труб, 1П'2023 г.

>60 тыс.

Численность персонала

Производство стали (заготовки) в год
4 500 тыс. тонн



Продажа трубы в год
4 260 тыс. тонн



Бесшовные трубы
82 % продаж



Сварные трубы
18 % продаж



Достижение роста экономической эффективности сталеплавильных производств ТМК



ЧЕЛЯБИНСК

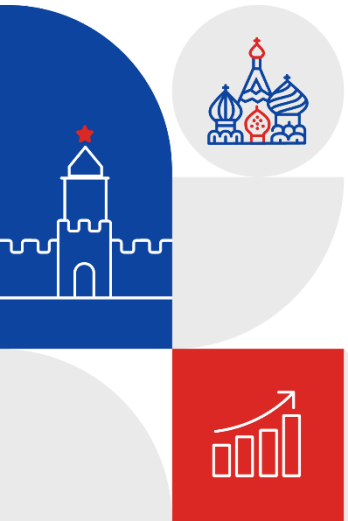
~75 %

Себестоимости трубной продукции составляет стоимость трубной заготовки



Себестоимость собственной НЛЗ ниже стоимости покупной трубной заготовки

Цель – снижение затрат на производство трубной продукции ТМК, уменьшение потребности в покупной заготовке в условиях сохранения и повышения качества стали и трубы





Текущее состояние сталеплавильных мощностей ТМК



ЧЕЛЯБИНСК

Баланс заготовки в год, млн. тонн

Металлошихта									
ЯМЗ		ДСП-35				УНРС / 2 ручья	кв. 125 мм		~ 0,3
СТЗ		ДСП-135				УНРС-1 / 5 ручьев	Ø 150 – 360 мм		~ 1,0
ТАГМЕТ		ДСП-135				УНРС / 5 ручьев	Ø 150 – 400 мм		~ 0,9
ПНТЗ		ДСП-120				УНРС-1 / 5 ручьев	Ø 145 – 600 мм кв. 150 мм		~ 1,3
ВТЗ		ДСП-150				УНРС-1 / 4 ручья	Ø 150 – 410 мм кв. 240, 300, 360 мм		~ 1,0
						УНРС-2 / 3 ручья			
						УНРС-2 / 4 ручья			
						УНРС-3 / 4 ручья			
Трубная НЛЗ Σ ~ 4,2									
На заводах ТМК всего в работе 32 ручья									



Инструменты управления процессами выплавки стали



ЧЕЛЯБИНСК

Счеты
и арифмометр



1930-1990 г

Логарифмическая линейка
и микрокалькулятор



1950-1990 г

Персональные
и промышленные
компьютеры



С 1980 г по настоящее время

Углубленная аналитика
с использованием
цифровых технологий



Настоящее время и будущее



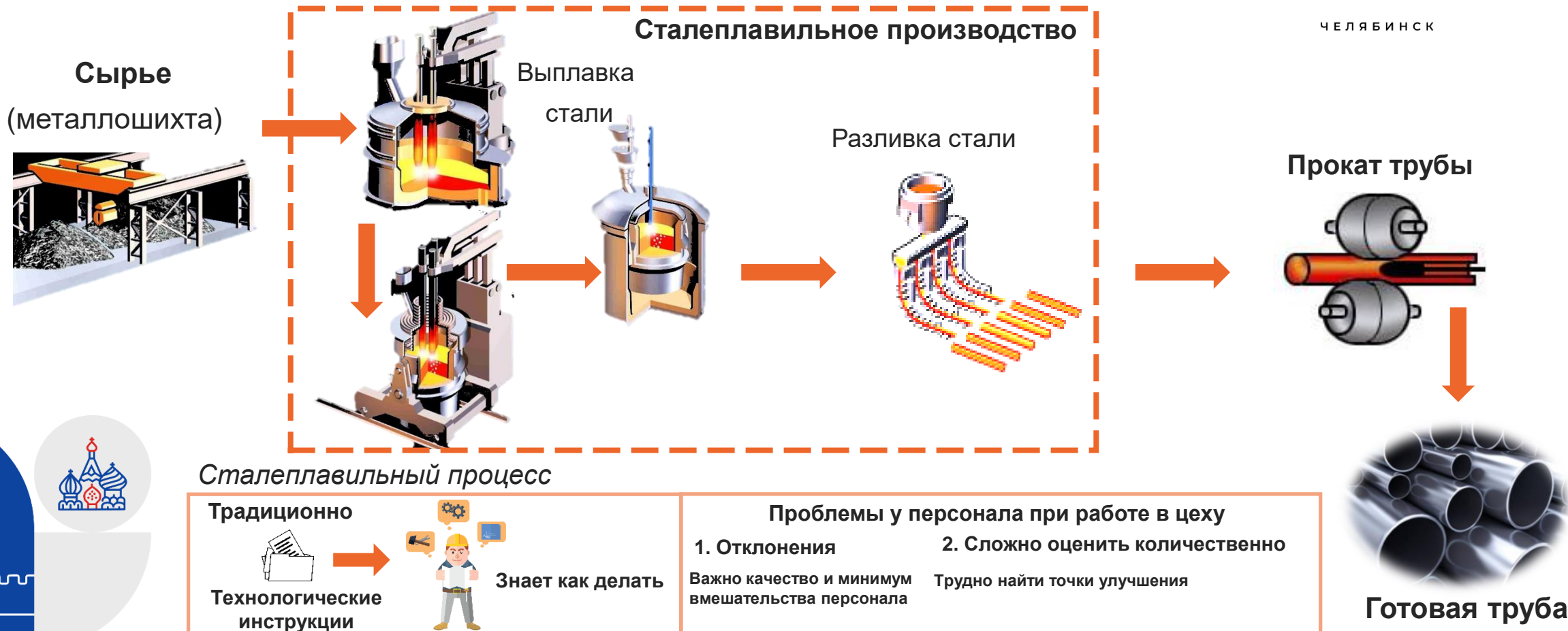


Характеристика сталеплавильных процессов



ЧЕЛЯБИНСК

Общая схема производства бесшовных труб



Характеристика сталеплавильного процесса:

1) Скрытый/невидимый → 2) Сложно измеримый → ТРЕБУЕТСЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА

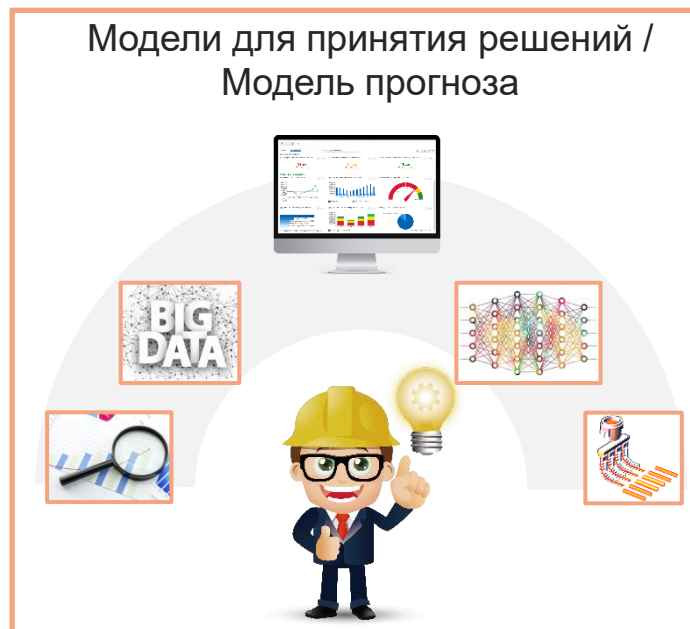


Цифровые инструменты управления процессами выплавки стали

Симуляция производства → Модель для принятия решений → «Умное» производство



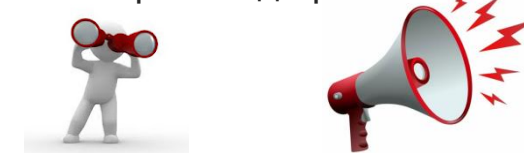
ЧЕЛЯБИНСК



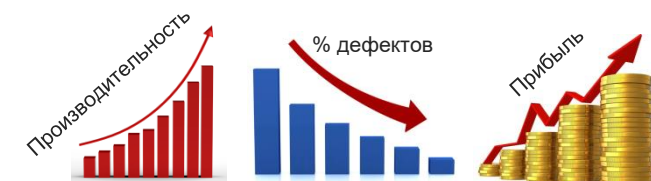
Новые производственные
стандарты



Прогноз дефектов



Повышение компетенций
и конкурентоспособности
производимой продукции



Химический состав стали,
температура, материалы и др.

Прогнозирование процессов
и своевременное реагирование на
изменения / отклонения

Стратегия «умного завода»:

- 1) Симулятор. Предварительное испытание для условий завода + обучение модели (новая марка стали, технология).
- 2) Модель управления производством в режиме реального времени: стандартизация-цифровизация-автоматизация



Цифровые инструменты управления процессами выплавки стали



ЧЕЛЯБИНСК

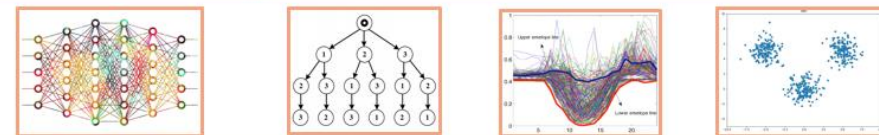
Производство стали и металлопродукции
(технологический процесс должен быть в порядке)



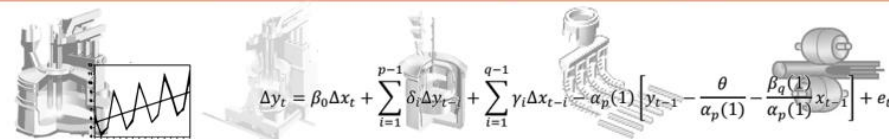
Цифровой двойник и программное обеспечение (ПО)
(подготовка качественных данных)



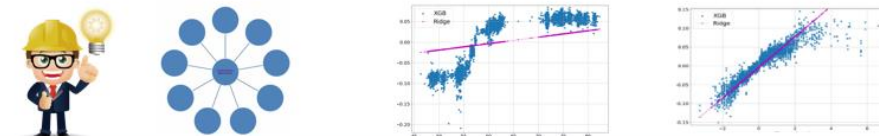
Инструмент – машинное обучение
(целевые и релевантные параметры)



Модели для принятия решений / Модель прогноза
(важность функций, степень влияния и др.)



Знаем «как делать сталь лучше»



**Помощники в виде ПО, цифровых
информационных досок и пр.**





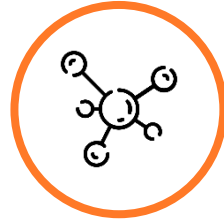
Автоматизированный алгоритм «помощник сталевара» для агрегата ковш-печь



ЧЕЛЯБИНСК



Разработан алгоритм расчета рекомендаций целевых значений навесок ферросплавов и других материалов



Настроен процесс взаимодействия по передаче сигналов между информационной системой «Цифровой помощник сталевара» и существующими информационными системами на заводе



Создан интерфейс и вывод необходимой информации на визуализацию сталевара установки ковш-печь



Автоматизированный алгоритм «помощник сталевара» для агрегата ковш-печь



ЧЕЛЯБИНСК

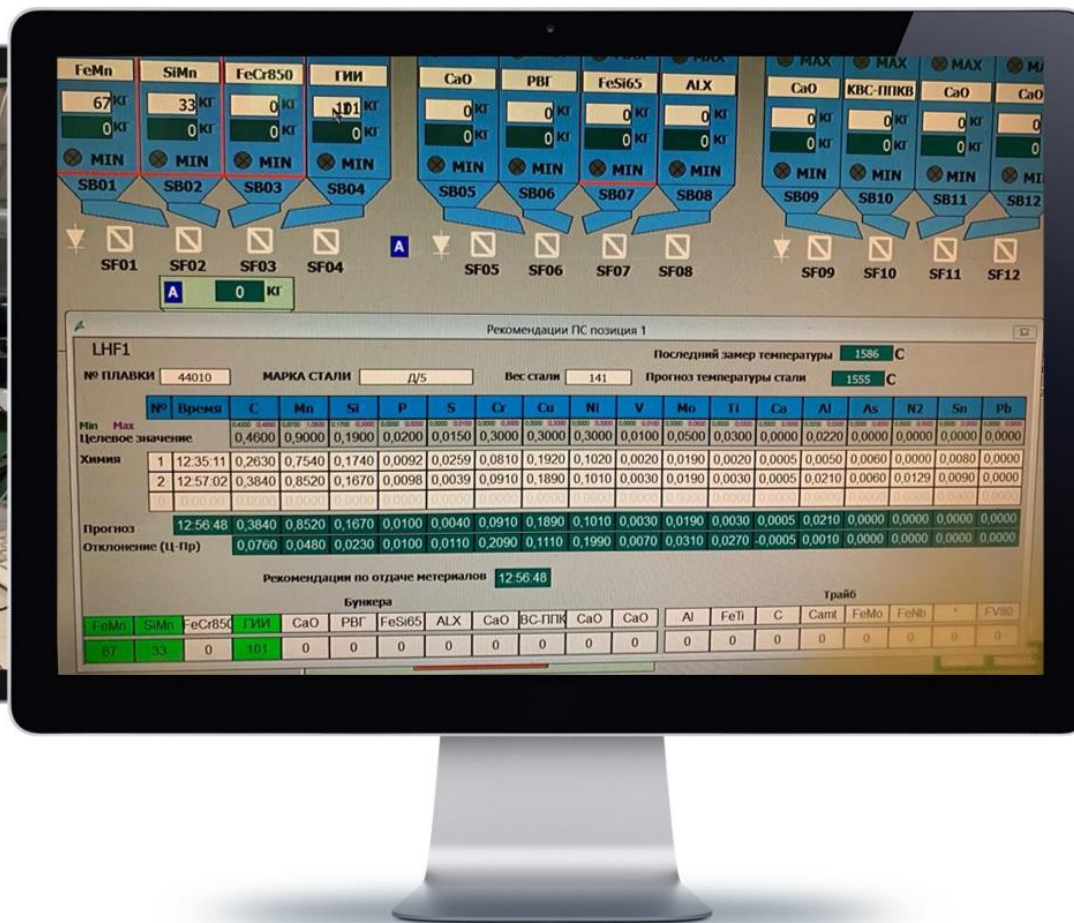




Автоматизированный алгоритм «помощник сталевара» для агрегата ковш-печь



ЧЕЛЯБИНСК





Модель прогноза качества стали на базе методов машинного обучения



ЧЕЛЯБИНСК



Сталеплавильное производство

Объём выборки составил более **27 200** плавов
Вес одной плавки около **120 тонн**
Объём исследования – **3,2 млн. тонн стали**



Дефекты стали



Разработана модель прогноза дефектов с помощью методов углубленного анализа данных по всей технологической цепочке.

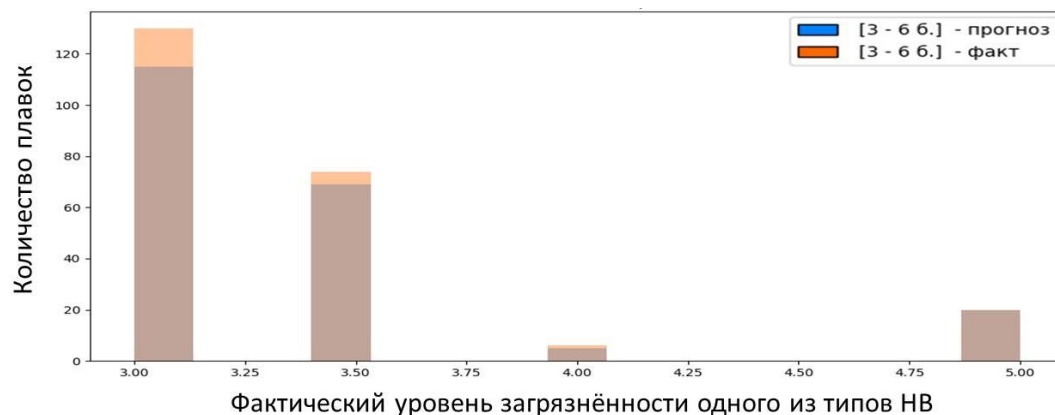


Модель прогноза качества стали на базе методов машинного обучения



ЧЕЛЯБИНСК

Сопоставление прогноза дефектов из-за неметаллических включений с фактическими данными

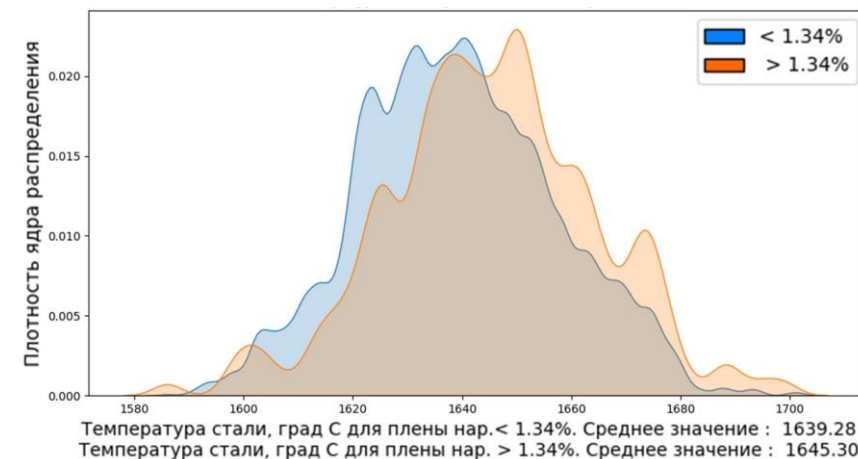


Выделение значимых технологических признаков на этапе:

- выплавки стали в электропечи;
- обработки стали на ковше-печи и вакууматоре;
- разливки стали.

Установлены важные признаки технологических параметров в электросталеплавильном цехе, влияющие на формирование дефектов готового проката, определены оптимальные интервалы изменения величин признаков и пути их достижения.

Пример влияния температуры стали (° С) на возникновения дефекта «плена наружная» (%)





Выводы



ЧЕЛЯБИНСК

1. Опыт разработки цифровых инструментов управления процессами выплавки стали в электросталеплавильных цехах ТМК показал свою результативность и возможность распространения внутри Компании и дальнейшее развитие.
2. С целью получения прикладного применения представленного подхода, необходима предварительная подготовка массива данных, а также осуществление интерпретации результатов машинного обучения, основывающихся на фундаментальных законах и физико-химических процессах, протекающих в сталеплавильном производстве.
3. ТМК уделяет особое внимание реализации сквозной технологии в ЭСПЦ с целью одновременной оптимизации затрат, производительности и качества непрерывнолитой заготовки и труб.





ЧЕЛЯБИНСК

Спасибо за внимание

