



Прогнозирование технологических параметров ДП на несколько выпусков вперед

Сценарии использования
«больших данных» и «машинного
обучения» в аглодоменном
процессе (на примере Доменной
Печи объемом 2 тыс.куб.м)

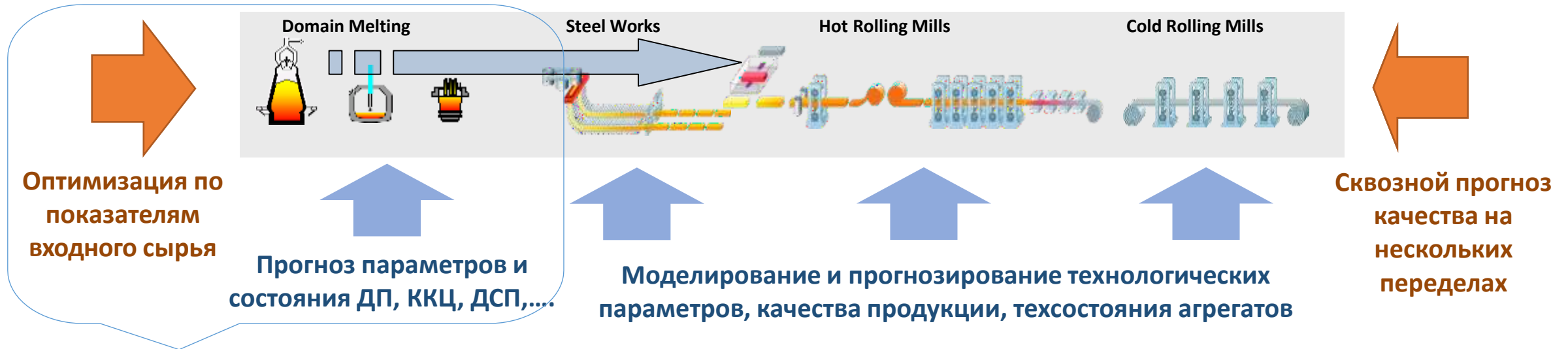
ПРОГНОЗ

Москва, июль 2020 г.

Содержание

- Сценарии применения «искусственного интеллекта» в металлургии
- Описание проекта «Прогнозирование содержания Si в чугунах на 2-3 выпуска вперед»
- Результаты проекта. Реализация

1. Применение «Искусственного интеллекта» в металлургии



Примеры сценариев для аглодоменного/сталеплавильного производства

1. Прогнозирование содержания химических элементов (например Si, S, Mg,
2. Прогнозирование технологического состояния (например, прогар фурм)
3. Прогнозирование качества продукции/потребительских свойств (например, неметаллические включения, механические свойства, химсостав,...)
4. Повышение эффективности производства (например, снижение энергозатрат, повышение производительности)

Алгоритмы и методы

Кластеризация
Регрессия
Временные ряды
Нейросеть
Машинное зрение

2. Прогнозирование Si. Постановка задачи

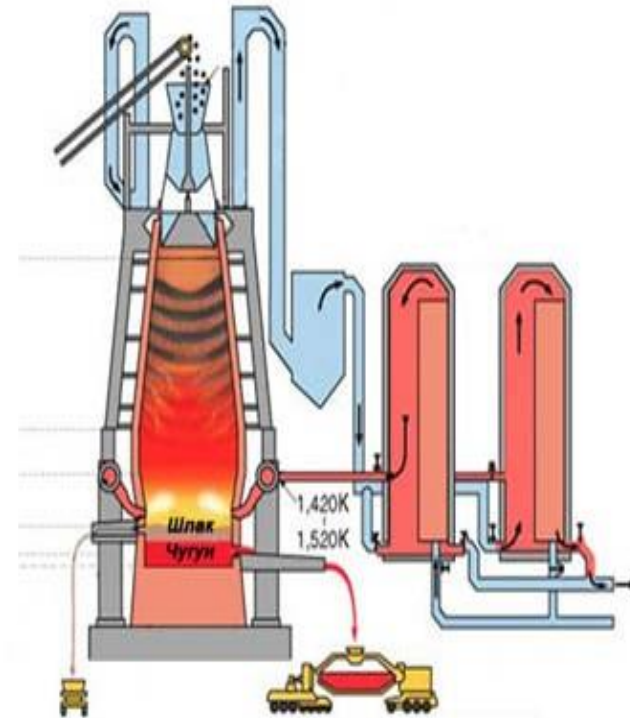
- Содержание кремния важно, т.к. характеризует энергоэффективность процесса
- Лабораторные анализы чугуна и шлака запаздывают на 3-5 часов (2-3 выпуска) по отношению к текущему выпуску
- Имеются 4 группы данных (9 различных баз данных):
 - входное сырье: объем (по скипам) без химсостава
 - АСУ ТП доменной печи
 - химический анализ газов в печи
 - лабораторные анализы чугуна и шлака

Цель

На основе статистических и оперативных данных создать модель(с использованием методов искусственного интеллекта и физических закономерностей),

предсказывающую содержание Si в чугуне
на несколько (до 3-х) выпусков вперед

с точностью выше «визуальной оценки мастера» в момент выпуска
Указанная цель позволит мастеру удерживать среднее значение Si ниже и снизить колебания Si



2.1. Этапы выполнения проекта



- Объект модели – доменная печь полезным объемом 2 тыс.куб.м
- Задача – за счет более точного прогноза точнее поддерживать Si в оптимальном диапазоне значений (снижение средних значений и колебаний Si)
- Имеются исторические данные АСУ ТП и химанализы чугуна и шлака за 2 года
- 1 этап - исследование данных, определение области применимости, выбор методов моделирования, согласование методики проверки результатов (типов метрик)
- 2 этап - подготовка данных с учетом специфики технологии, разработка моделей, анализ прогноза и проверка гипотез, проверка метрик качества моделей для различных периодов работы ДП
- 3 этап – проверка модели и метрик качества на «новых неизвестных данных» в режиме, приближенном к «он-лайн»

22. Ожидаемый эффект

Надежное прогнозирование уровня Si на несколько выпусков вперед дает возможность снизить отклонение Si от среднего значения за счет упреждающего управления режимом плавки.

Это помогает мастеру точнее стабилизировать тепловой режим печи, а также снижать среднее значение Si, что позволяет существенно экономить топливо. Снижение содержания кремния на 0,1 приводит к экономии кокса на **0,8%**, что эквивалентно сокращению потребления кокса до **5 кг/тонну чугуна**

При снижении среднего значения Si на 0,02-0,03 проект создания прогнозной модели окупается в течение 6 месяцев



2.3.Выбор параметров, влияющих на содержание Si в чугуне

Химия чугуна			АСУТП печи			Химический анализ газов в печи			Вес тележек				
Временной сдвиг	Химический анализ выхода		Временной сдвиг	АСУТП данные с датчиков в доменной печи		Временной сдвиг	Значения датчиков, замеряющих процентное содержание газов в печи		Временной сдвиг	Значение веса кокса, окатышей, агломерата, кварцита в тележках, загружаемых в			
0 (точка отсчёта времени)		1	-1 -2 -3 -4 -5 -6 -7 -8	Ед.изм Агрегация	1	-1 -2 -3 -4 -5 -6 -7 -8	Ед.изм Агрегация	1	-1 -2 -3 -4 5 -6 -7 -8	Ед.изм Агрегация	1		
Группировка по номеру выпуска. Минимальный масштаб значений.	Абс	1	% (Химия)	нижняя точка отклонение	1	Ед.изм Агрегация	Ед.изм Агрегация	1	Ед.изм Агрегация	1 итерация - за 4 часа	1		
		Давление (атм)	1									рассчитать кубометры	1
		(м3/час)	1										1
		Темп. (C)	1										1
Переменные		1	Переменные		1	Переменные		1	Переменные		1		
порядковый номер	CISR_NUMBER		Номер записи АСУТП			Время загрузки тележки	SO_LOADING_TIME		Время загрузки тележки				
номер выпуска	CISR_RELEASE_NO		Дата записи АСУТП			% содержание влаги	SO_MOISTURE_PT		% содержание влаги				
время_начало_выпуска	CISR_RELEASE_START		расход холода			Вес Михайловских окатышей - кг	SO_MPTS_WEIGHT_TN		Вес Михайловских окатышей - кг				
время_конец_выпуска	CISR_RELEASE_END		давление горячего газа			Вес Соколовских окатышей - кг	SO_NFSPTS_WEIGHT_TN		Вес Соколовских окатышей - кг				
Вес шлака при выпуске	CISR_SLAG_TN		температура горячего газа			Вес Костомукшинских окатышей - кг	SO_NFKPTS_WEIGHT_TN		Вес Костомукшинских окатышей - кг				
Выпуск_Номер отверстия	CISR_TAPHOLE_NO		расход природного газа			Вес Лебединских окатышей - кг	SO_LPTS_WEIGHT_TN		Вес Лебединских окатышей - кг				
Вес чугуна при выпуске	CISR_FOURED_IRON_TN	1	содержание кислорода в газе			Вес Агломерата - кг	SO_AGT_WEIGHT_TN		Вес Агломерата - кг				
% содержание углерода в чугуне	CISR_CAST_C_PT	1	расход увлажнителя			Вес Кварцита - кг	SO_QZT_WEIGHT_TN		Вес Кварцита - кг				
% содержание хрома в чугуне	CISR_CAST_CR_PT		перепад давления в газе			Вес малой фракции кокса (25-40мм) - кг	SO_CKNT_WEIGHT_TN		Вес малой фракции кокса (25-40мм) - кг				
% содержание меди в чугуне	CISR_CAST_CU_PT		перепад давления в газе			Вес кокса (40мм+) - кг	SO_CK_WEIGHT_TN		Вес кокса (40мм+) - кг				
% содержание марганца в чугуне	CISR_CAST_MN_PT		перепад давления в газе										
% содержание никеля в чугуне	CISR_CAST_NI_PT		перепад давления в газе										
% содержание фосфора в чугуне	CISR_CAST_P_PT		перепад давления в газе										
% содержание серы в чугуне	CISR_CAST_S_PT	1	перепад давления в газе										
% содержание кремния в чугуне	CISR_CAST_SI_PT	1	перепад давления в газе										
% содержание титана в чугуне	CISR_CAST_TI_PT												
% содержание ванадия в чугуне	CISR_CAST_V_PT												
% содержание Al2O3 в шлаке	CISR_SLAG_AL2O3_PT												
% содержание оксида кальция в шлаке	CISR_SLAG_CAO_PT												
% содержание оксида железа в шлаке	CISR_SLAG_FEO_PT												
% содержание оксида калия в шлаке	CISR_SLAG_KO_PT												

Исходные данные о техпроцессе в 9 базах 300+ параметров

Влияющие параметры – 35

Экспертная оценка металлургов-экспертов

за 4 часа до выпуска
Либо расчетный

Исходные данные о техпроцессе
в 9 базах 300+ параметров

Влияющие параметры – 35

Экспертная оценка
металлургов-экспертов

за 4 часа до выпуска
Либо расчетный

2.4. Приведение к единому временному горизонту

Процесс в ДП – инерционный. Для всех параметров, влияющих на содержание Si, разработаны формулы по привязке временного диапазона данных к моменту выпуска в соответствии с технологической схемой доменной печи.

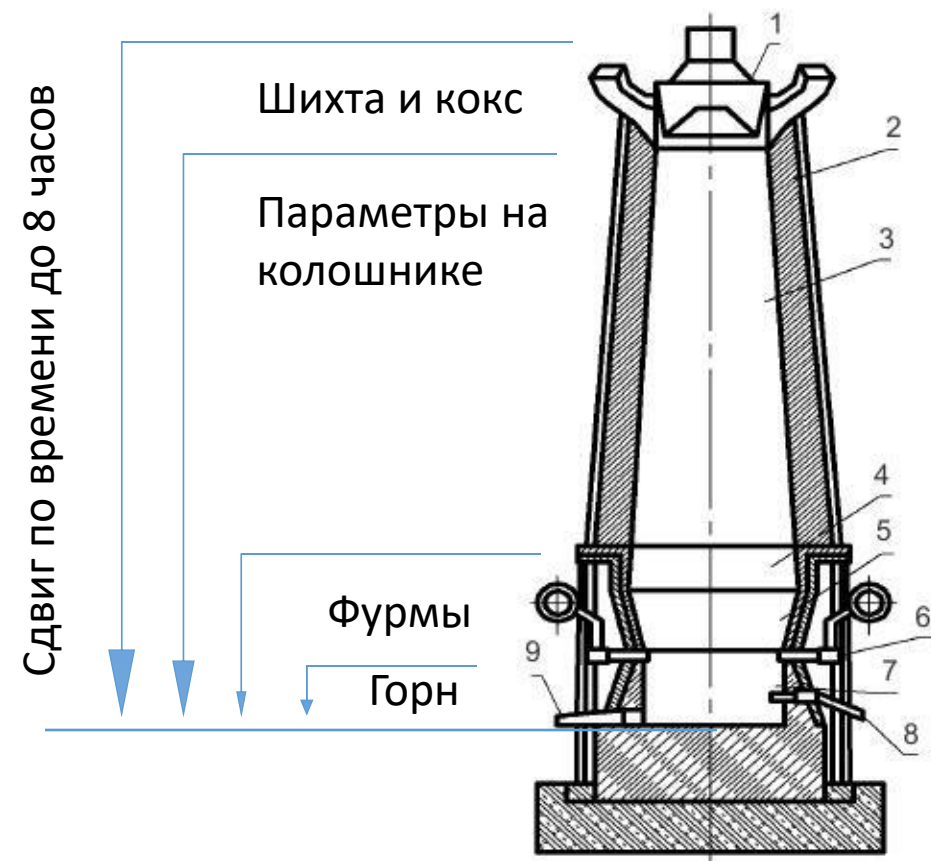
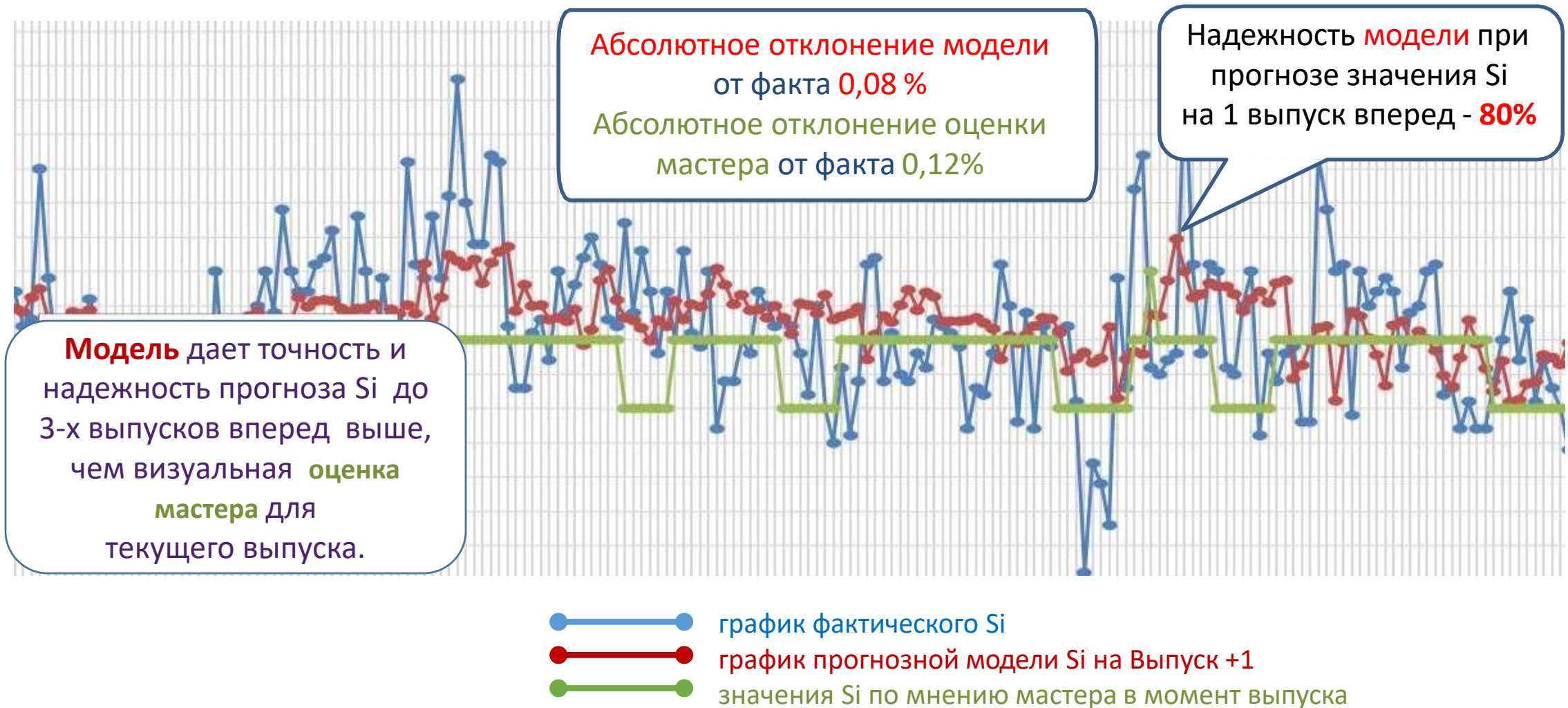


Рис. 9.17. Схема доменной печи:
1 – засыпной аппарат; 2 – колошник; 3 – шахта; 4 – распар;
5 – заплеки; 6 – воздушные фурмы; 7 – горн; 8 – отверстие для выпуска шлака; 9 – отверстие для выпуска чугуна

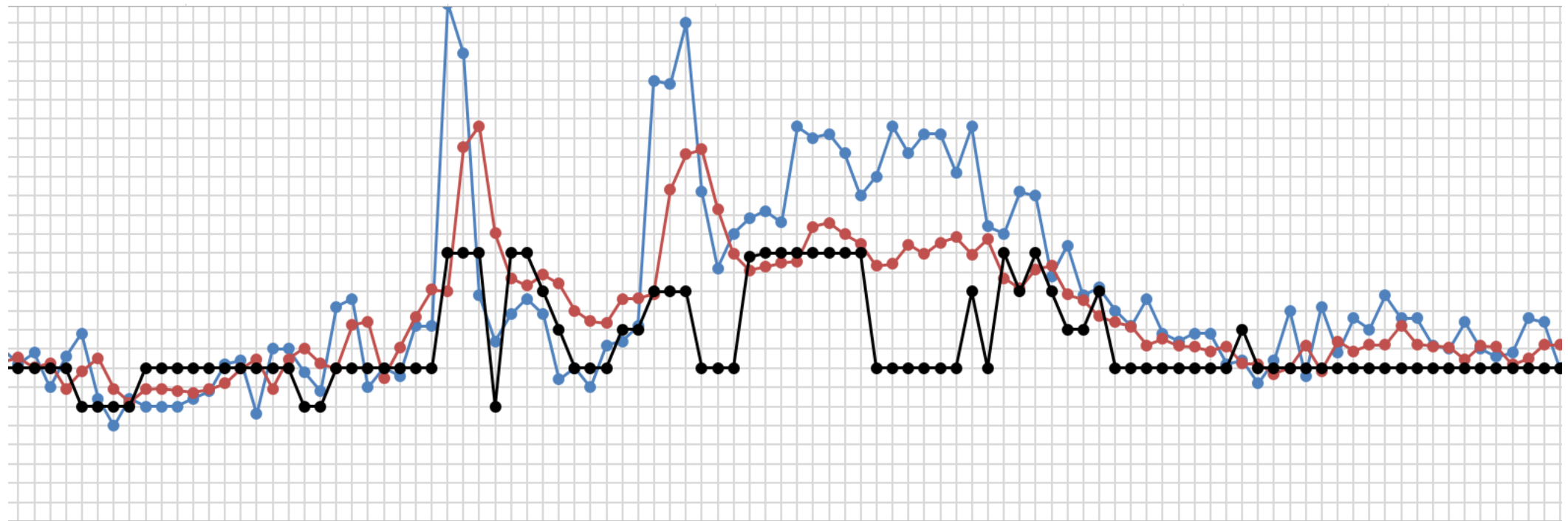
2.7. Результаты моделирования

Прогноз на текущий выпуск + 1



2.8. Результаты моделирования

Прогноз на выпуск + 2



- график фактического Si
- график прогнозной модели Si на Выпуск +1
- значения Si по мнению мастера в момент выпуска

3. Результаты проекта

1. Разработанные модели обеспечивают следующие показатели:
при надежности 80% точность прогноза содержания Si от 0,07 до 0,12
в зависимости от полноты данных
2. Прогноз изменения уровня Si показал результаты, превосходящие по
надежности оценки «опытного» мастера, и позволяющие формировать
рекомендации по упреждающему воздействию на ход печи
3. Определены критерии стационарного режима работы ДП, применение
которых повышает точность и надежность прогноза (7 критериев)
4. Разработанные модели позволяют надежно прогнозировать другие
параметры доменного процесса, в том числе решать «обратные задачи»,
например, определять какой агломерат подается в ДП
5. По результатам НИР Заказчик принял решение о разработке
АРМ «Советчик мастера» с применением разработанных моделей

АКТ ВЫПОЛНЕНИЯ НИР

«Исполнитель» _____ «Заказчик» _____
Адрес: _____ Адрес: _____

АКТ
Результатов научно-исследовательской работы
«Разработка и внедрение математической модели прогнозирования содержания кремния в
лите в зависимости от полноты данных»
от _____ г. № _____

Настоящий акт составлен совместной комиссией представителей «Исполнителя» и
«Заказчика» с результатами выполнения НИР.

1. В рамках НИР по теме «Разработка и внедрение математической модели прогнозирования содержания кремния в чугуне» Исследователями выполнены работы по исследованию влияния различных факторов на уровень кремния до перелива области применения. Целевые показатели были достигнуты: Т3 составил 0,05, надежность 80%.
2. Для проведения НИР Заказчик предоставил 9 баз данных, содержащих более 300 тысяч статистических параметров, характеризующих доменный процесс за период 2017-2018 гг. Исследователями составлен ГИИТ ЛМД.С, проанализирован исходный материал всего массива данных и сформирован Детектор для исследования с набором более 4000 точек данных.
3. В результате статистических исследований (регрессионный анализ, создание регрессионных моделей, использование методов машинного обучения, кластеризация) выявлены статистически значимые факторы (предикторы), которые были использованы для моделирования. На 3-м этапе разработаны типы моделей и собраны предикторы для прогноза Si текущего выпуска. В качестве базовой была выбрана модель без использования данных чугуна и шлама трех предыдущих выпусков. Кроме того, для исследования всего массива данных выявлены статистически значимые факторы, характеризующие доменный процесс чугуна и шлама в целом.
4. Для создания модели прогнозирования использовались методы многофакторной кластеризации данных, линейной регрессии (регрессия), обучения на основе искусственного интеллекта. Проведено более 100 сеансов моделирования.
5. Выявлены ограничения исходных данных:
 - нестабильность состава шихты. Температурная стабильность системы не превышает 2-3 месяца, разброс по некоторым параметрам шихты и компонентов чугуна и шлама от месяца к месяцу варьируется примерно 20%.
 - отсутствие данных о химическом составе шихты в целом, непосредственно поступающих в ДП (имеются только данные о химическом составе шихты в жидком состоянии).
 - доменные процессы: сравнение состава шихты и текущей смеси мастера, проанализирован и выявлен разброс. Для прогнозирования состава шихты и мастера были разработаны и составлены методики анализа уровня температуры Si.
 - 6. Выявлены статистически значимые факторы, влияющие на процесс.
 - 7. Выявлены статистически значимые факторы, влияющие на процесс:
 - а. Обеспечение стабильности статистически значимых параметров: безаварийность и стабильность режима работы ДП, который характеризуется 7 параметрами, а именно: Si, ДП, доменным составом шихты, поступающей с кластерных агрегатов, указанным весом (долей) кластера. См. Отчет 4. Раздел 3.
 - б. На данных с марта 2017 г. до мая 2018 г. выявлены 3 области стационарного режима, связанные с кластерным составом шихты. См. Отчет 4. Раздел 3.
 - в. При обучении и тестировании модели на данных одного кластера параметры точности и надежности прогноза лучше (на 5-7%)

Имя кластера	На текущий выпуск	На 1 выпуск вперед
Базовый. Обучение без учета кластера. Не учитываются химические составы чугуна и шлама трех предыдущих выпусков.	0,11	79%
Базовый. Обучение без учета кластера. Не учитываются химические составы чугуна и шлама трех предыдущих выпусков.	0,14	80%
Обучение без учета кластера. Используются химические составы чугуна и шлама всех предыдущих выпусков.	0,09	79%
Базовый. С учетом кластера. Не учитываются химические составы чугуна и шлама трех предыдущих выпусков.	0,089	79%
Базовый. С учетом кластера. Не учитываются химические составы чугуна и шлама трех предыдущих выпусков.	0,12	80%

Имя кластера	На текущий выпуск	На 1 выпуск вперед
Базовый. Обучение без учета кластера. Не учитываются химические составы чугуна и шлама трех предыдущих выпусков.	0,11	79%
Базовый. Обучение без учета кластера. Не учитываются химические составы чугуна и шлама трех предыдущих выпусков.	0,14	80%
Обучение без учета кластера. Используются химические составы чугуна и шлама всех предыдущих выпусков.	0,09	79%
Базовый. С учетом кластера. Не учитываются химические составы чугуна и шлама трех предыдущих выпусков.	0,089	79%
Базовый. С учетом кластера. Не учитываются химические составы чугуна и шлама трех предыдущих выпусков.	0,12	80%

Итого в ТЗ (точность 0,05, надежность 80%).

ит ограничивают, обеспечивая соблюдение
акт прогноза от 0,095 до 0,14 в зависимости
от данных (Таблица №1).

а. «Сравнение» модели при выполнении ограничений (ограничение
нагрузки, при котором 80% точность прогноза от 0,07 до 0,12 в зависимости
от полноты исходных данных (Таблица №1).

б. Прогнозы модели при прогнозе равномерного режима работы,
осуществленного на выходе состава сырьевого мастера на текущий выпуск.
(Таблица №2).

в. Прогнозы модели при прогнозе равномерного режима работы,
осуществленного на выходе состава сырьевого мастера на текущий выпуск.
(Таблица №2).

участия точности и надежности прогноза

«Исполнитель» _____ «Заказчик» _____
Генеральный директор Начальник научно-технического отдела

«____» _____ «____» _____

3.2.Дополнительные результаты

Прогнозирование параметров продукции по составу входного сырья

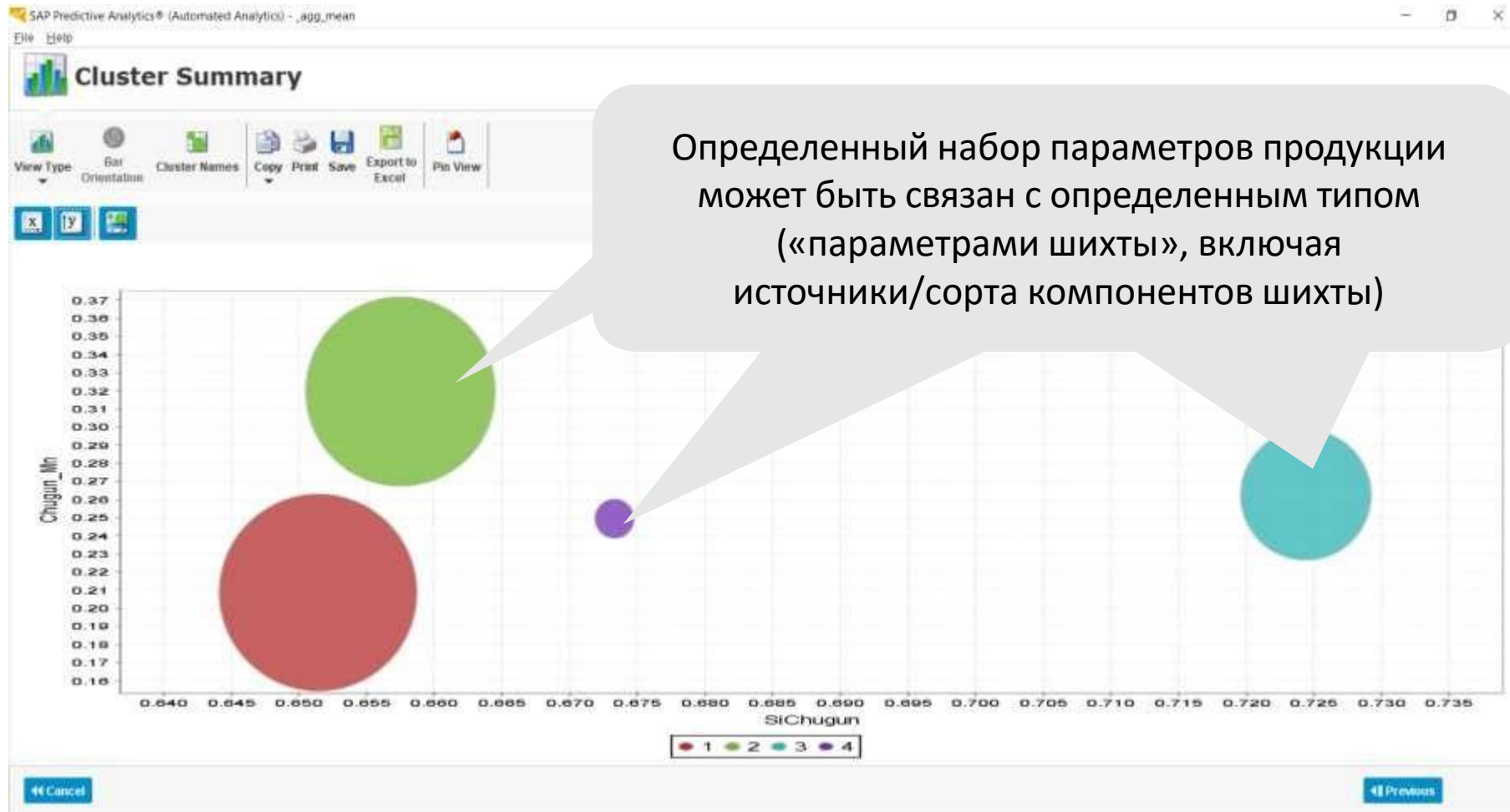
Поступающее на склад сырье, как правило, считается «однородным», если попадает по химсоставу в диапазон допустимых значений.

- При этом химсостав чугуна и шлака по результатам лабораторных анализов достаточно четко разделяется на группы значений (кластеры).
- Модель надежно прогнозирует параметры выходной продукции в зависимости от групп входного сырья в пределах допустимых значений, что позволяет:
 - скорректировать рекомендации (инструкции) мастеру по работе с «планируемым диапазоном» значений выходных химанализов
 - повысить точность прогноза конкретных значений технологических параметров выходной продукции



3.3. Дополнительные результаты

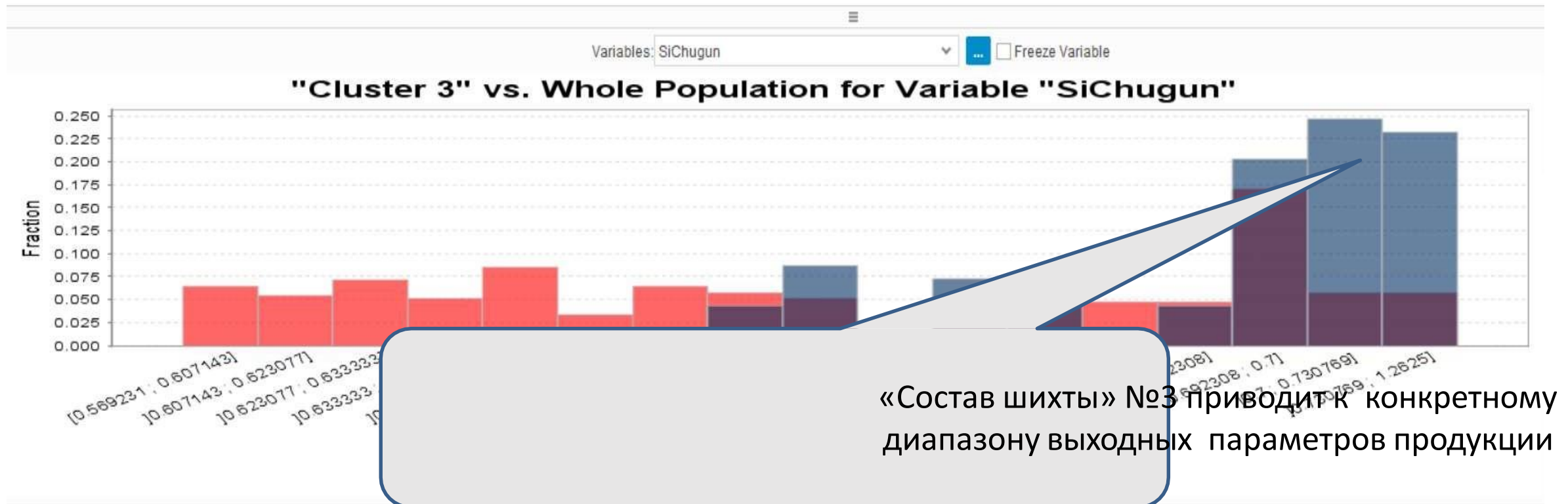
Идентификация «типа шихты» по «химсоставу выходной продукции»



3.4.Дополнительные результаты

Анализ состава шихты

Модель позволяет определить конкретные значения «химсостава выходной продукции» по каждому типу входной шихты



Прогнозы для
промышленности
с помощью
искусственного
интеллекта



info@promprognoz.ru



+7 977 418 7081

