Автоматизация производства с помощью собственной MES-системы для управления качеством

Роботизация бизнес-процессов для цифровой трансформации: как выбрать и окупить RPA-платформы

9 февраля 2023 года

с. Усть-Инза, Пензенская область
asiacement.ru

«Азия Цемент» в цифрах

- Сухой способ производства
- Ежегодная выручка ~ 7 млрд. руб.
- Производственная мощность ~ 2 млн. т. в год
- Непрерывное производство и отгрузка– 24/7
- Производство и продажа продукции ~ 100%
- Штат сотрудников ~ 550 человек

Технологии производства портландцемента ~ 200 лет

Почему возникают вопросы качества?

Моя статья на «Хабре»
с подробным описанием проблемы
https://habr.com/ru/post/596701

Технологии производства портландцемента ~ 200 лет

Вопросы качества –
факторы производства:

- Вариативное качество сырья и добавок
- Погодные условия (сухо, мокро, мороз)
- Несколько этапов производства
- Работа пром. оборудования…

Рассматривается только одно решение.

Решение опирается на входные данные.

На рынке есть готовое решение (PGNAA).

Пока PGNAA нет на предприятии:

- Проблемы качества обобщаются
- Производственные процессы не обследуются
- «Качество» = качество конечной продукции (цемент)

Расчет 4-х компонентной смеси

ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА, КОТОРЫХ НЕТ

МЕЛ + МЕРГЕЛЬ + БОКСИТЫ + ОГАРКИ

? ХИМ. СОСТАВ

? ХИМ. СОСТАВ

? ХИМ. СОСТАВ

? ХИМ. СОСТАВ

ЗАДАННЫЕ ПАРАМЕТРЫ КАЧЕСТВА ШИТХЫ (Кн, n, p)

% ввода | % ввода | % ввода | % ввода

КАЧЕСТВЕННАЯ СМЕСЬ

Готовое решение на рынке – поточный анализатор (PGNAA)

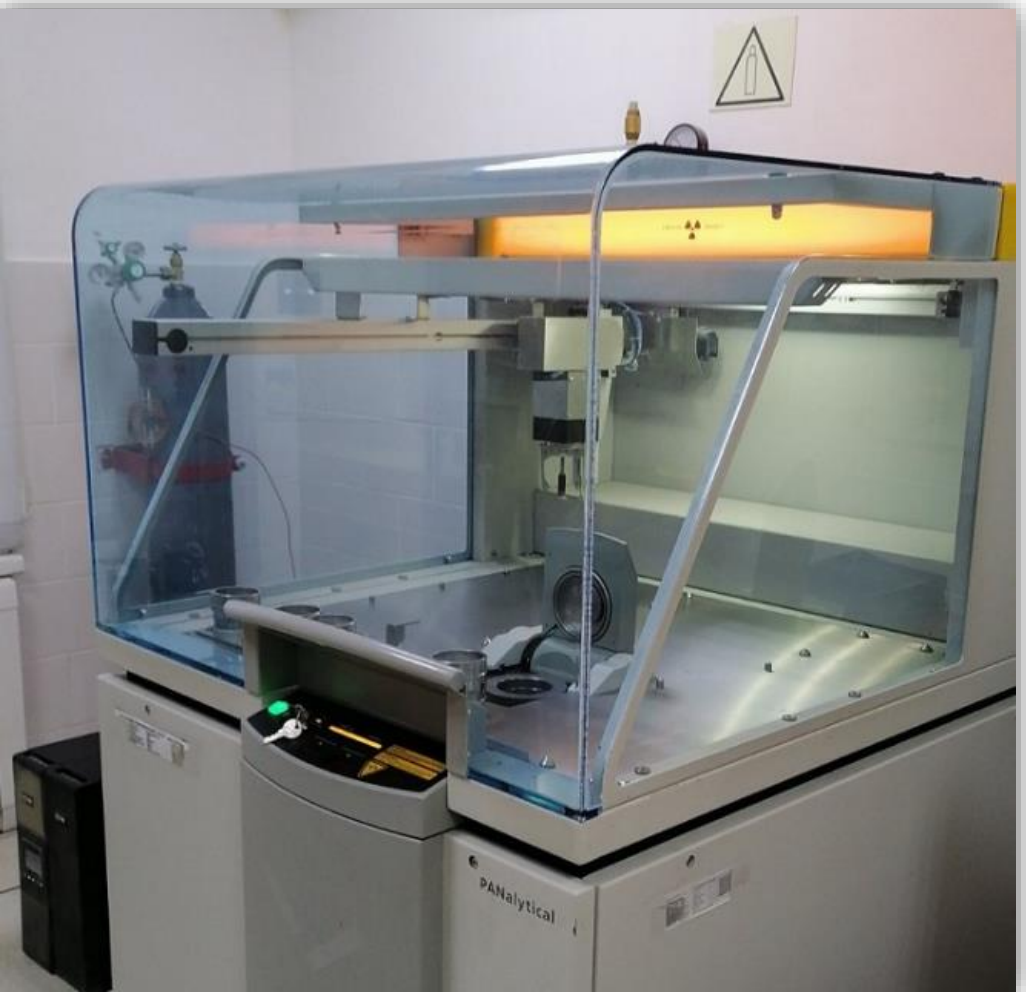
ПЛЮСЫ:

- ✓ **Автоматический онлайн** анализ сырья (линия 200 т/ч)
- ✓ **Хим. состав сырья** (входные данные для расчета шихты) известен при подаче на линию
- ✓ **Автоматический расчет** оптимальной пропорции сырья и добавок (качественной муки)

МИНУСЫ:

- × **Высокая стоимость** от 200 млн. руб. за 2 установки (2 линии)
- × Срок внедрения **от 1 года**
- × **Импортный** комплекс

Что используется на заводе – лабораторный XRF-анализатор



Назначение: входной контроль сырья и добавок лаборантом

ПЛЮСЫ:

- ✓ **Автоматически** анализирует хим. состав загруженного сырья
- ✓ **Подключается** в локальную сеть, есть выгрузка данных

МИНУСЫ:

- × **Не онлайн** анализ сырья
- × **Нет автоматического расчета** оптимальной пропорции сырья и добавок (качественной шихты)
- × **Хим. состав сырья** (входные данные для расчета шихты) известен **через 1,5 часа** после подачи на линию

1824 год, патент каменщика

Технология шихтовки
в XIX веке:

- Взять определенное количество материалов и смешать
- Интуитивно, по опыту

Технология шихтовки
в XX-XXI веке:

- Определить хим. состав материалов, рассчитать качество, определить пропорцию и смешать
- По данным и формулам

$$Кн = \frac{C - 1,65 * A - 0,35 * F}{2,8S}$$

$$n = \frac{S}{A + F}$$

$$p = \frac{A}{F}$$

ВСЕМ, КОМУ ДОСТАНУТСЯ ЭТИ ПОДАРКИ, я, Джозеф Аспдин, каменщик из Лидса, графство Йорк, посылаю привет. ПРИНИМАЯ ВО внимание, что Его нынешнее Превосходительнейшее Величество король Георг Четвертый Своими Грамотами, заверенными Большой печатью Великобритании и датированными в Вестминстере двадцать первым днем октября на пятом году Своего правления, от Себя, Своих наследников и преемников передал и даровал мне, упомянутый Джозеф Аспдин, Его специальная лицензия, с которой я, упомянутый Джозеф Аспдин, мои бывшие, адморы и правопреемники, должен в любое время соглашаться, и никто другой, время от времени в любое время в течение указанного в ней срока лет, должен и может на законных основаниях использовать, использовать, осуществлять, и венд, в пределах Англии, Уэльса и города Бервик-апон-Твид, мое изобретение "УЛУЧШЕНИЕ СПОСОБА ПРОИЗВОДСТВА ИСКУССТВЕННОГО КАМНЯ", в котором упомянутые Патентные письма содержат условие, обязывающее меня, сказал Джозеф Аспдин, посредством письменного документа под моей рукой и печать, в частности, для описания и выяснения природы моего упомянутого изобретения, и каким образом то же самое должно быть выполнено, и для того, чтобы оно было передано в Верховный канцлерский суд Его Величества в течение двух календарных месяцев, следующих и сразу после даты упомянутой части, приведенной в Патентных письмах (как в и тем же), ссылка на которые имелась, появится более полно и в целом.

ТЕПЕРЬ ЗНАЙТЕ, что в соответствии с указанным условием я, упомянутый Джозеф Аспдин, настоящим заявляю, что природа моего упомянутого Изобретения и способ, которым оно должно быть выполнено, подробно описаны и подтверждены в следующем его описании (то есть):

Мой метод изготовления цемента или искусственного камня для оштукатуривания зданий, гидротехнических сооружений, цистерн или любых других целей, для которых он может быть применим (и который я называю портландцементом), заключается в следующем: - Я беру определенное количество известняка, такого, который обычно используется для строительства или ремонта дорог, иЯ беру его с дорог после того, как он превращается в лужу или порошок; но если я не могу получить достаточное количество вышеуказанного с дорог, я беру сам известняк и прокаливаю лужу или порошок, или известняк, в зависимости от обстоятельств. Затем я беру определенное количество глинистой земли или глины и смешиваю их с водой до состояния, близкого к неосязаемости, либо с помощью ручного труда, либо с помощью машин. После этого я помещаю вышеуказанную смесь в поддон для выпаривания, либо нагревая на солнце, либо подвергая ее воздействию огня или пара, подаваемого по дымоходам или трубам под поддоном или рядом с ним, пока вода полностью не испарится. Затем я измельчаю указанную смесь в подходящие комки и обжигаю их в печи, подобной печи для обжига извести, до полного удаления углекислоты. Прокаленную таким образом смесь измельчают, взбивают или раскатывают в мелкий порошок, после чего она пригодна для изготовления цемента или искусственного камня. Этот порошок следует смешать с достаточным количеством воды, чтобы придать ему консистенцию строительного раствора, и, таким образом, применять для желаемых целей.

В удостоверение чего я, упомянутый Джозеф Аспдин, настоящим ставлю свою ручную печать, пятнадцатого декабря, в год от Рождества Господа нашего Одна тысяча восемьсот двадцать четвертый.

Подпись: *Джозеф Аспдин*

И ДА БУДЕТ ВАМ ИЗВЕСТНО, что в пятнадцатый день декабря, в год от Рождества Христова 1824, вышеупомянутый Джозеф Аспдин предстал перед нашим упомянутым господином Королем в Его Канцелярии и признал вышеупомянутое Описание и все, что в нем содержится и указано, в форме, изложенной выше. А также вышеупомянутая Спецификация была проштампована в соответствии с содержанием устава, созданного для этой цели.

Наступил восемнадцатый день декабря, в год от рождества Господа нашего Одна тысяча восемьсот двадцать четвертый.

Проверить на заводе:
как шихтуется без хим. состава?

Как определяется пропорция шихты на производстве?

Как поддерживается заданная пропорция?

× **Оператором:** интуитивно, по опыту, без сложных расчетов и глубокого анализа данных.

× **От фамилии** сменного оператора зависит качество сырьевой смеси.

Принцип работы оператора:

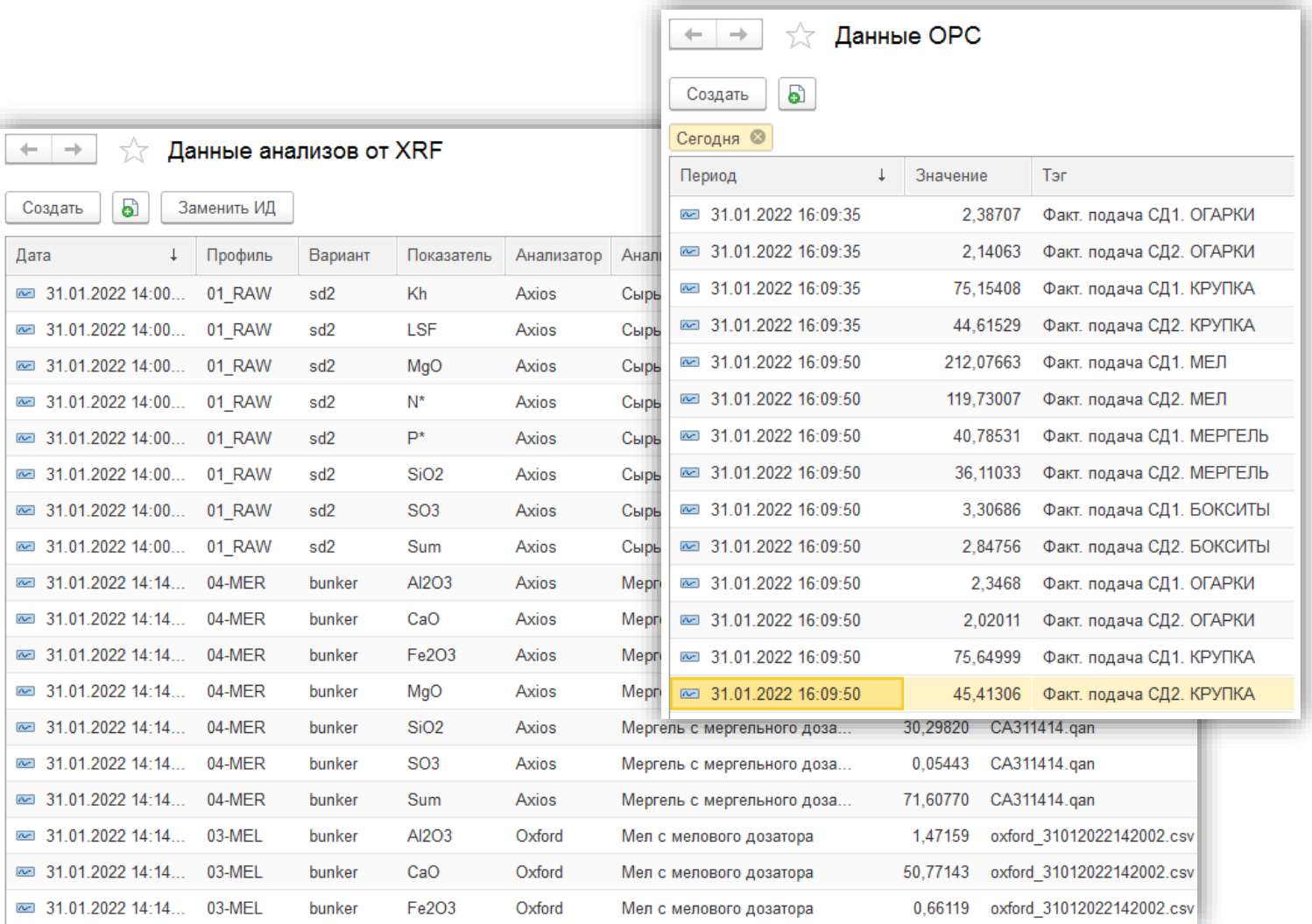
- Получить анализ хим. состава муки от лаборатории **за прошедшие 1,5 часа.**
- Задать новую пропорцию шихты.

× Восприятие анализа – как **входные данные.**

? Качество шихты: вариативное, плавающее.

› Проблема качества: «зависание» материала, негабариты, некачественное сырье…

Идея системы – делать интуитивно с более точными расчетами



Данные анализов от XRF

Создать | Заменить ИД

Дата	Профиль	Вариант	Показатель	Анализатор	Анал		
31.01.2022 14:00...	01_RAW	sd2	Kh	Axios	Сырь		
31.01.2022 14:00...	01_RAW	sd2	LSF	Axios	Сырь		
31.01.2022 14:00...	01_RAW	sd2	MgO	Axios	Сырь		
31.01.2022 14:00...	01_RAW	sd2	N*	Axios	Сырь		
31.01.2022 14:00...	01_RAW	sd2	P*	Axios	Сырь		
31.01.2022 14:00...	01_RAW	sd2	SiO2	Axios	Сырь		
31.01.2022 14:00...	01_RAW	sd2	SO3	Axios	Сырь		
31.01.2022 14:00...	01_RAW	sd2	Sum	Axios	Сырь		
31.01.2022 14:14...	04-MER	bunker	Al2O3	Axios	Мерг		
31.01.2022 14:14...	04-MER	bunker	CaO	Axios	Мерг		
31.01.2022 14:14...	04-MER	bunker	Fe2O3	Axios	Мерг		
31.01.2022 14:14...	04-MER	bunker	MgO	Axios	Мерг		
31.01.2022 14:14...	04-MER	bunker	SiO2	Axios	Мергель с мергельного доза...	30,29820	CA311414.qan
31.01.2022 14:14...	04-MER	bunker	SO3	Axios	Мергель с мергельного доза...	0,05443	CA311414.qan
31.01.2022 14:14...	04-MER	bunker	Sum	Axios	Мергель с мергельного доза...	71,60770	CA311414.qan
31.01.2022 14:14...	03-MEL	bunker	Al2O3	Oxford	Мел с мелового дозатора	1,47159	oxford_31012022142002.csv
31.01.2022 14:14...	03-MEL	bunker	CaO	Oxford	Мел с мелового дозатора	50,77143	oxford_31012022142002.csv
31.01.2022 14:14...	03-MEL	bunker	Fe2O3	Oxford	Мел с мелового дозатора	0,66119	oxford_31012022142002.csv

Данные OPC

Создать

Сегодня

Период	Значение	Тэг
31.01.2022 16:09:35	2,38707	Факт. подача СД1. ОГАРКИ
31.01.2022 16:09:35	2,14063	Факт. подача СД2. ОГАРКИ
31.01.2022 16:09:35	75,15408	Факт. подача СД1. КРУПКА
31.01.2022 16:09:35	44,61529	Факт. подача СД2. КРУПКА
31.01.2022 16:09:50	212,07663	Факт. подача СД1. МЕЛ
31.01.2022 16:09:50	119,73007	Факт. подача СД2. МЕЛ
31.01.2022 16:09:50	40,78531	Факт. подача СД1. МЕРГЕЛЬ
31.01.2022 16:09:50	36,11033	Факт. подача СД2. МЕРГЕЛЬ
31.01.2022 16:09:50	3,30686	Факт. подача СД1. БОКСИТЫ
31.01.2022 16:09:50	2,84756	Факт. подача СД2. БОКСИТЫ
31.01.2022 16:09:50	2,3468	Факт. подача СД1. ОГАРКИ
31.01.2022 16:09:50	2,02011	Факт. подача СД2. ОГАРКИ
31.01.2022 16:09:50	75,64999	Факт. подача СД1. КРУПКА
31.01.2022 16:09:50	45,41306	Факт. подача СД2. КРУПКА

Цель разработки системы:

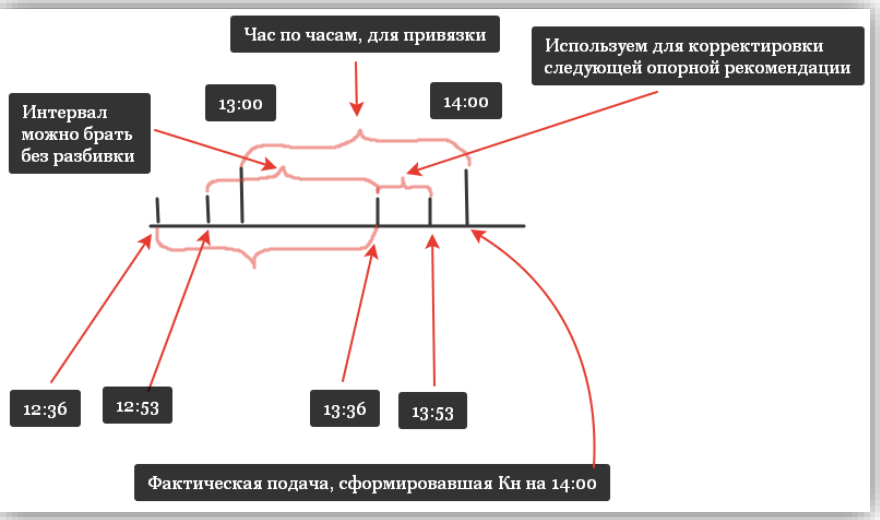
- ✓ Проверить гипотезы.
- ✓ Протестировать алгоритмы.
- ✓ Стабилизировать показатели.
- ✓ Автоматически управлять качеством сырьевой муки.

Источники данных:

- XRF-анализаторы, устаревшие данные.
- АСУТП SIEMENS, актуальные данные

Ядро системы – алгоритмы, такты, паттерны, вычисления, реакции

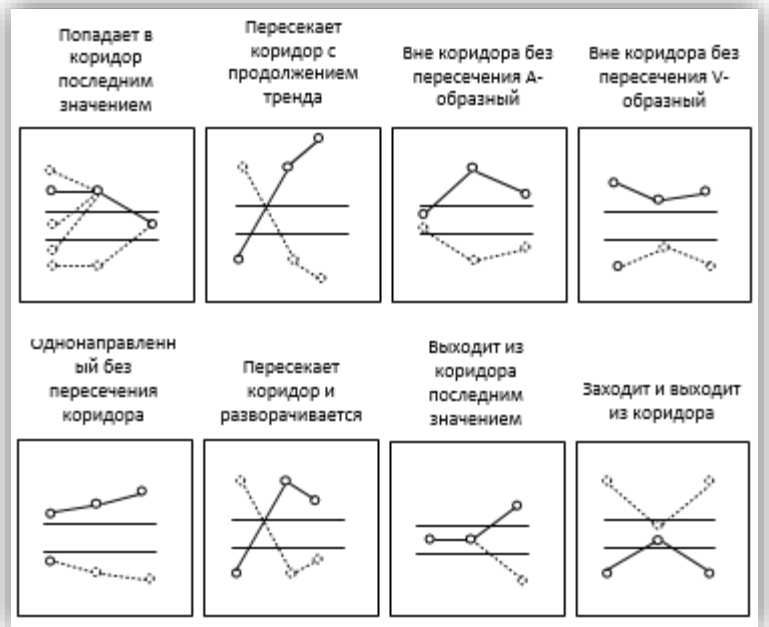
Производственные такты для определения времени сбора муки в пробоотборнике и массы движения сырьевых материалов по линии



Наименование	Значение
Технологические параметры СД	
Такты	
Время отбора проб с линии в пробоотборник, мин	60
Время отбора стакана с пробой из пробоотборника, мин	17
Время прохождения сырья и добавок от дозаторов до пробоотборника	7

Устаревшие данные о хим. составе муки за прошедшие 1,5 часа

Примеры паттернов, когда изменяется пропорция дозировок сырьевых материалов



Заданное **качество**

Качество муки		
Кн	n	p
0,99 - 1,03	2,35 - 2,45	1,4 - 1,6

Пример настроек реакции на отклонение Кн от заданного диапазона качества

Настройки реакции на отклонение Кн

Реакция на отклонения Кн | Дополнительный механизм

Номер линии: Линия 1 Линия 2

Добавить | Еще

Кн от (вкл...	Кн до (иск...	Изменить мел на	Изменить бокситы на	Изменить огарки на
	0,01			
0,01	0,02	0,3	0,1	0,1
0,02	0,04	0,5	0,1	0,1

Отклонения в фактической подаче компенсируются **каждые 15 минут**

1-й этап разработки АЦТЕК – цифровой помощник оператора

Возникает человеческий фактор

0 Лаборатория	(Без темы)	За 5:55 ошибочно промерили клинкер на sd1. Оператора предупредили. По…	Входящие	28 янв
0 Лаборатория	(Без темы)	За 10:00 ошибочно промеряли 2 линии с/д как sd1, а СОГ как sd2	Входящие	16 янв
0 Лаборатория	(Без темы)	В 5:05 ошибочно промерили цемент на калибровке МЕЛ. Оператора предуп…	Входящие	16 янв

Ошибки лаборантов при анализе проб

Ошибочные измерения лаборантов влекут за собой ошибочные расчеты в алгоритмах системы

08:13 - НОВАЯ РЕКОМЕНДАЦИЯ

МЕЛ	МЕРГЕЛЬ	ОГАРКИ	БОКСИТЫ
72,9	24,0	1,1	2,0

Оператор пропускает или не вводит новую рекомендацию в АСУТП

Пропуск ввода в АСУТП рекомендаций системы не позволяет получить муку заданного качества

2-й этап разработки АЦТЕК – автоматическая MES-система

Исключен человеческий фактор

0 Лаборатория	(Без темы)	За 5:55 ошибочно промерили клинкер на sd1. Оператора предупредили. По…	Входящие	28 янв
0 Лаборатория	(Без темы)	За 10:00 ошибочно промеряли 2 линии с/д как sd1, а СОГ как sd2	Входящие	16 янв
0 Лаборатория	(Без темы)	В 5:05 ошибочно промерили цемент на калибровке МЕЛ. Оператора предуп…	Входящие	16 янв

Ошибки лаборантов при анализе проб

Автоматическая отбраковка ошибочных проб лаборанта

Активность: ☐

Это копия: ☐

Дата: 05.08.2022 14:12:00

Вид лабораторного исследования: Сырьевая мука 2 линия

Показатель	Min	Значение	Max
Al2O3		1,78508	
CaO		50,77910	
Fe2O3		1,11263	
Кн	0,65000	2,12586	1,36000
LSF		202,10000	
MgO		0,44408	
n		2,74799	3,00000

08:13 - НОВАЯ РЕКОМЕНДАЦИЯ

МЕЛ	МЕРГЕЛЬ	ОГАРКИ	БОКСИТЫ
72,9	24,0	1,1	2,0

Оператор **пропускает** или **не вводит** новую рекомендацию В АСУТП

Автоматический режим ввода в АСУТП новых дозировок (управление дозаторами)

08:23 - УСТАНОВЛЕНА (А)

МЕЛ	МЕРГЕЛЬ	ОГАРКИ	БОКСИТЫ
67,5	27,2	1,9	3,4

3-й этап разработки – «Вивальди» для автоматического смешивания

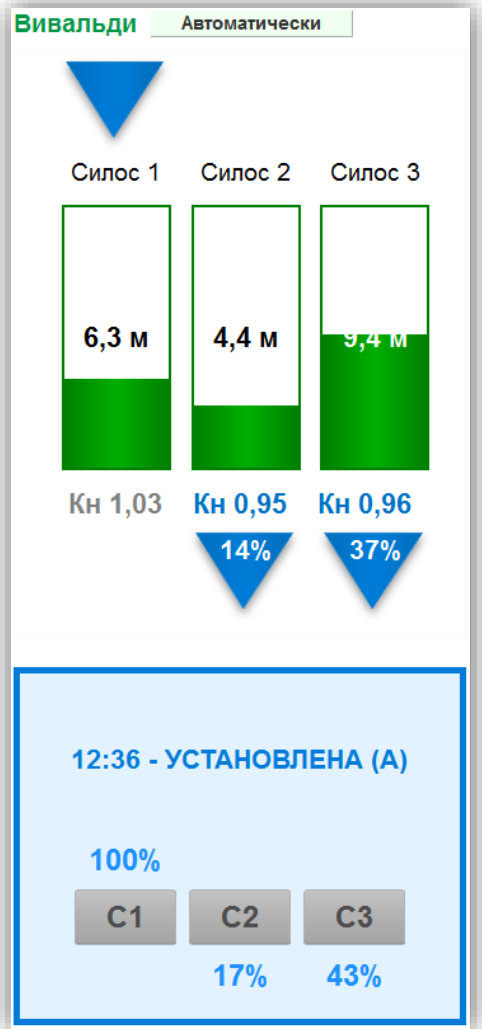
Линия 1

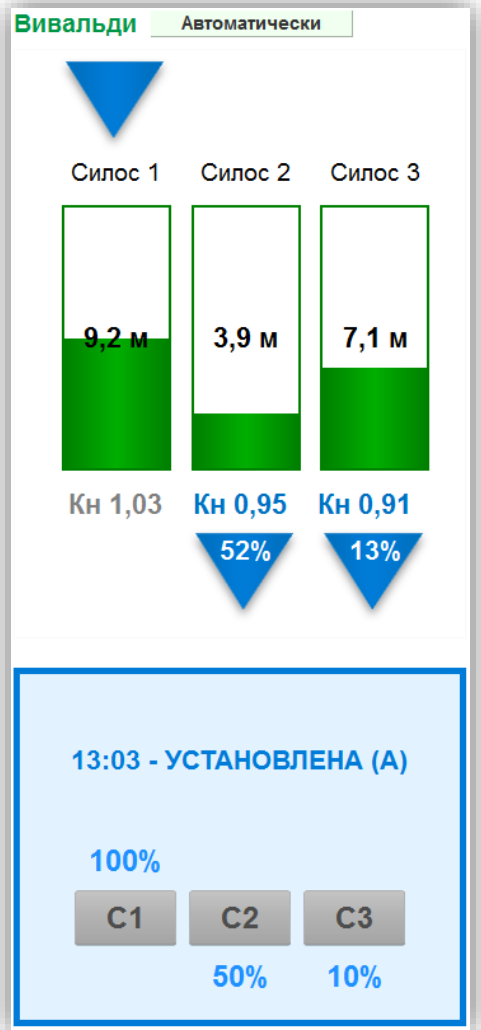
Мука с двух линий производства попадает в один из трех силосов

Линия 2

И скачивается из одного или двух силосов одновременно

Происходит **корректировка качества муки** – смешиванием в оптимальной пропорции





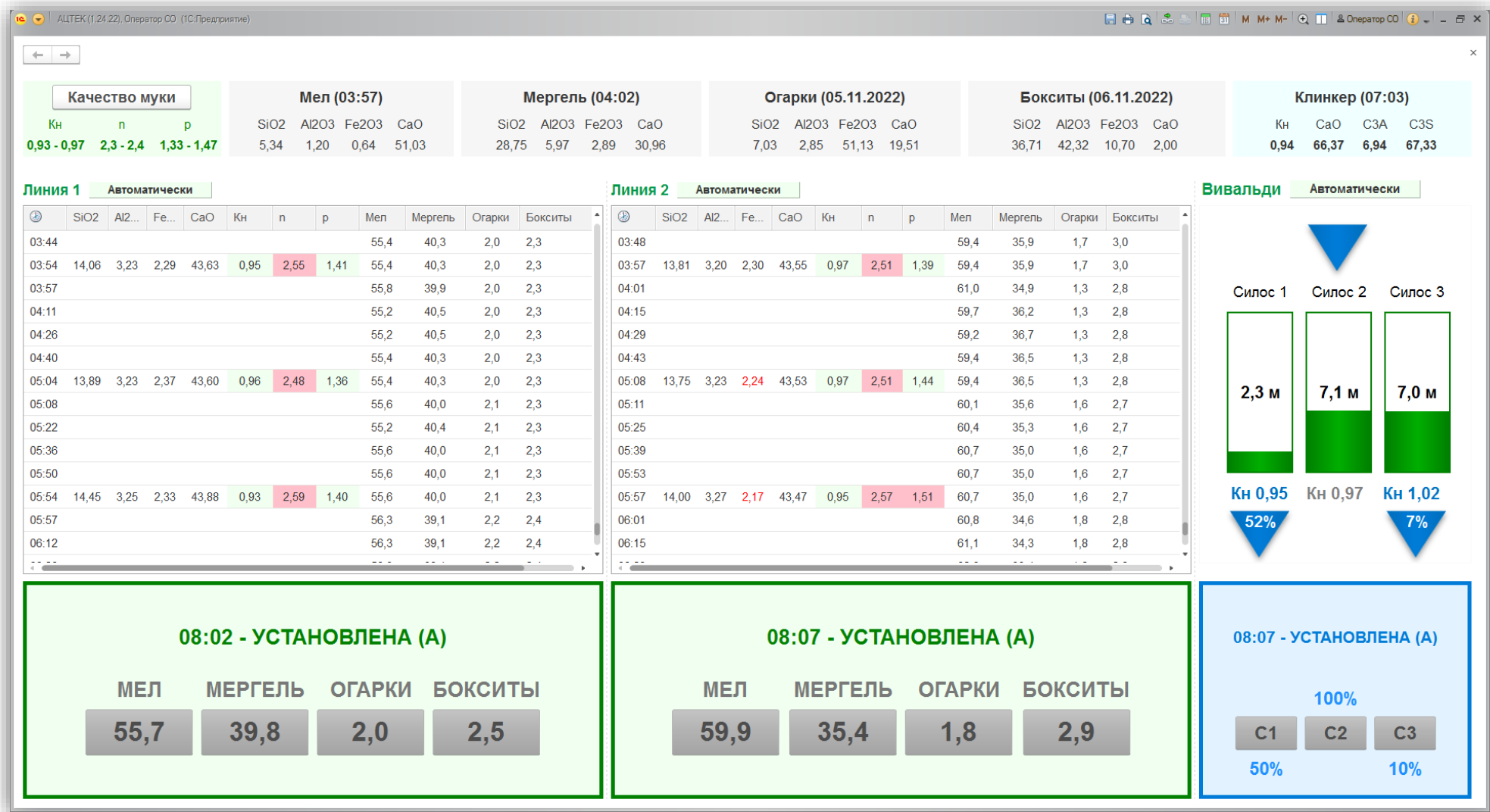
Системы АЦТЕК и «Вивальди»:

- Автоматический **расчет оптимальной пропорции** шихты для двух линий производства.
- Автоматический **режим управления дозаторами** подачи мела, мергеля, бокситов и огарков.
- Автоматический **режим корректировки качества** шихты в силосах предв. гомогенизации - смешиванием.
- Режим рекомендаций оператору **на случай аварийных ситуаций.**
- Автоматическая **рассылка рапорта качества** за истекшие сутки.
- Гибкие **настройки алгоритмов** и параметров функционирования.

Что видит на экране оператор

Интерфейс системы:

- Полноэкранный режим и легенда.
- Задание параметров качества муки по КН, n, p и содержанию оксидов.
- Расшифровка показателей, вызов отчетов и графиков.
- Динамическая индикация панелей при изменении данных.
- Аварийная индикация при нештатных ситуациях.



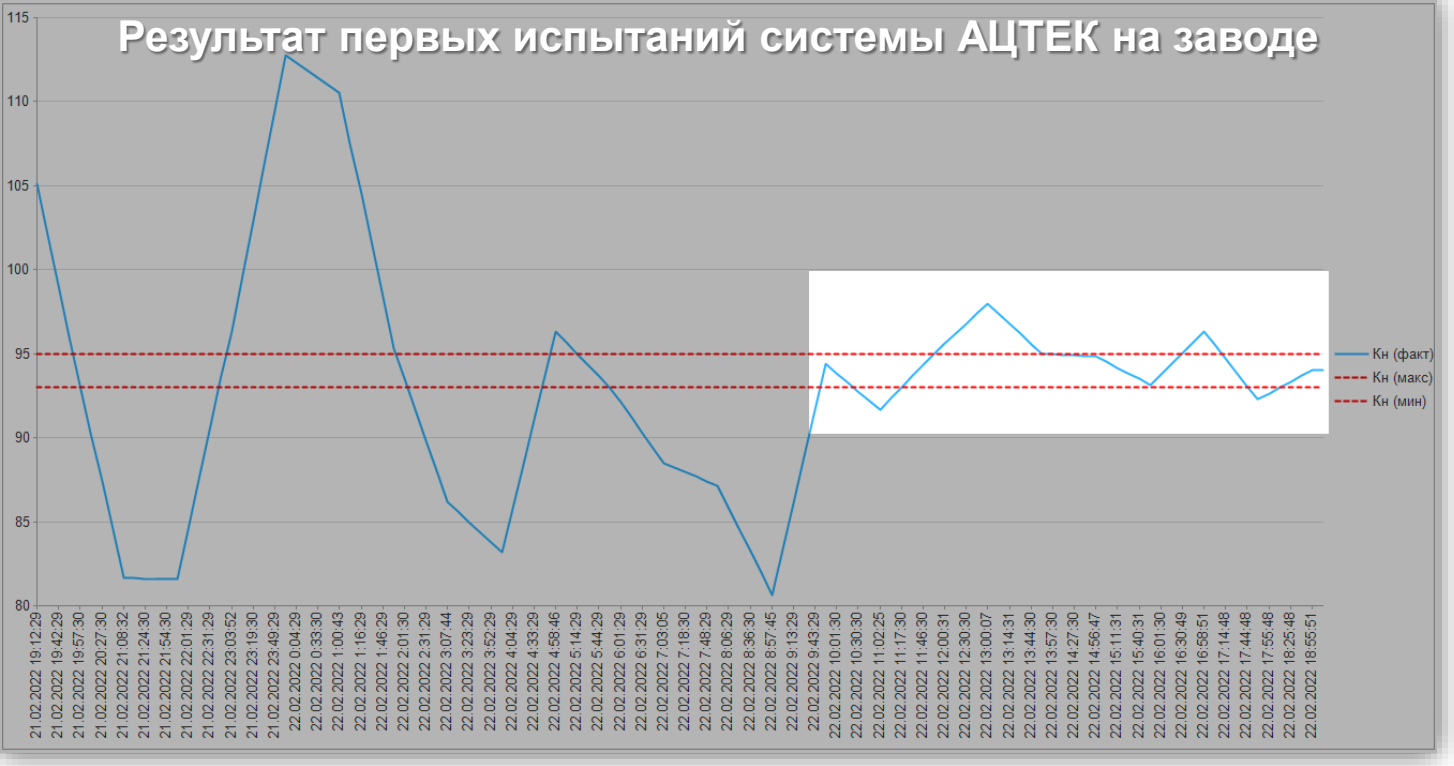
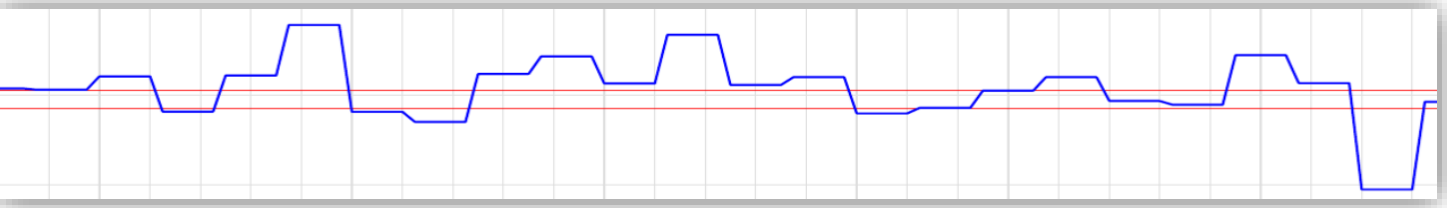


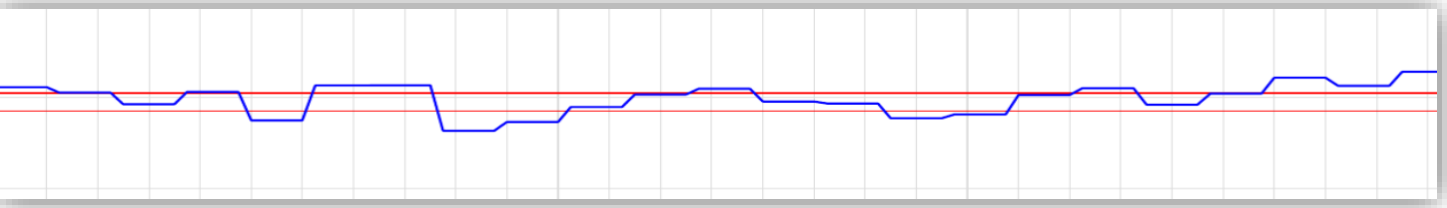
График колебаний качества муки за производственные сутки:

- Слева – работа оператора
- Справа – система АЦТЕК

Заданный технологом диапазон качества по Кн **4-5 сотых доли.**

Оператор сырьевого отделения (график за 24 часа)





Автоматический режим АЦТЕК (график за 24 часа)

АЦТЕК и «Вивальди» обеспечивают **стабильное качество сырьевой муки,** управляемый и прогнозируемый результат

PGNAA vs АЦТЕК – разница технологий

PGNAA
(программно-аппаратный комплекс)

Основан на входных данных
о хим. составе сырья и добавок,
поступающих в производство

$$Кн = \frac{C - 1,65 * A - 0,35 * F}{2,8S}$$

$$n = \frac{S}{A + F}$$

$$p = \frac{A}{F}$$

VS

АЦТЕК и «Вивальди»
(программно-аппаратный комплекс)

Основан на выходных данных
о хим. составе сырьевой муки,
полученной при производстве

Спасибо за внимание!

Березин Евгений Александрович

Директор по информационным технологиям

Цементный завод «Азия Цемент»

Мои статьи о цифровой трансформации

https://habr.com/users/e_berezin/posts