

# **Автоматизация производства на цементном заводе с помощью интуитивной системы управления качеством сырьевой смеси**

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ЭНЕРГЕТИКИ

26 августа 2022 г.

с. Усть-Инза, Пензенская область, РФ



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 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)

# Готовое решение – 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 шихты)

## МИНУСЫ:

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

# Решение на заводе – лабораторный XRF-анализатор



**Назначение:**  
входной  
контроль  
сырья и  
добавок

**Проблема:**  
человеческий  
фактор

## 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

# 4-х компонентная шихта



МЕЛ + МЕРГЕЛЬ + БОКСИТЫ + ОГАРКИ

ДААННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА

? ХИМ. СОСТАВ

? ХИМ. СОСТАВ

? ХИМ. СОСТАВ

? ХИМ. СОСТАВ

ЗАДАННЫЕ ПАРАМЕТРЫ КАЧЕСТВА ШИТХЫ (Кн, n, p)

% ввода

% ввода

% ввода

% ввода

КАЧЕСТВЕННАЯ СМЕСЬ

# 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

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, адморгы 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 имела, 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, и 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 прокалываю 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.

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

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

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

# 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.
- × **От фамилии** сменного оператора зависит качество шихты.

## Работа 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...



←  
Подробности обследования процессов описаны в моей статье на «Хабре»  
<https://habr.com/ru/post/596701>

# Идея системы – **делать интуитивно** с более точными расчетами

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

Дата	Профиль	Вариант	Показатель	Анализатор	Анализ
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...
31.01.2022 14:14...	04-MER	bunker	SO3	Axios	Мергель с мергельного доза...
31.01.2022 14:14...	04-MER	bunker	Sum	Axios	Мергель с мергельного доза...
31.01.2022 14:14...	03-MEL	bunker	Al2O3	Oxford	Мел с мелового дозатора
31.01.2022 14:14...	03-MEL	bunker	CaO	Oxford	Мел с мелового дозатора
31.01.2022 14:14...	03-MEL	bunker	Fe2O3	Oxford	Мел с мелового дозатора

## Цель разработки системы:

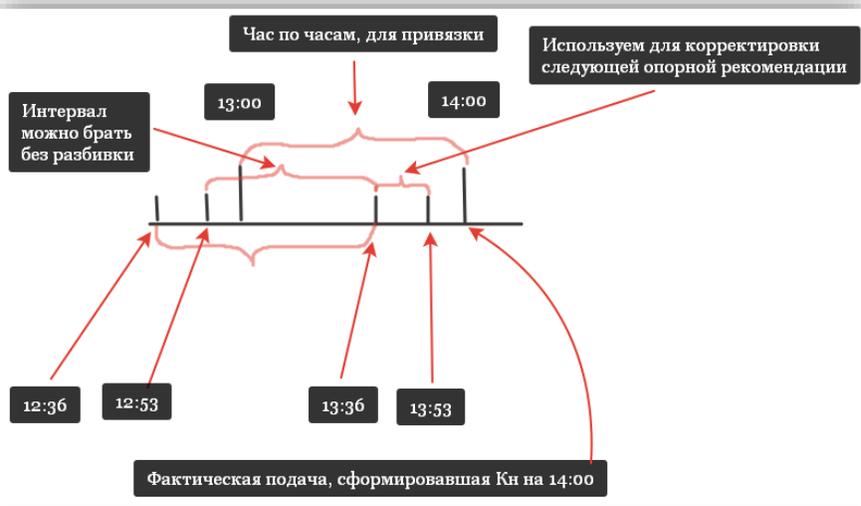
- ✓ Проверить гипотезы.
- ✓ Протестировать алгоритмы.
- ✓ Стабилизировать показатели.
- ✓ Автоматически управлять качеством шихты.

## Источники данных:

- XRF-анализаторы лаборатории (**неактуальные**).
- АСУТП SIEMENS (актуальные).

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

**Производственные такты** для определения фактического сбора муки в пробоотборнике и движения материалов по линии



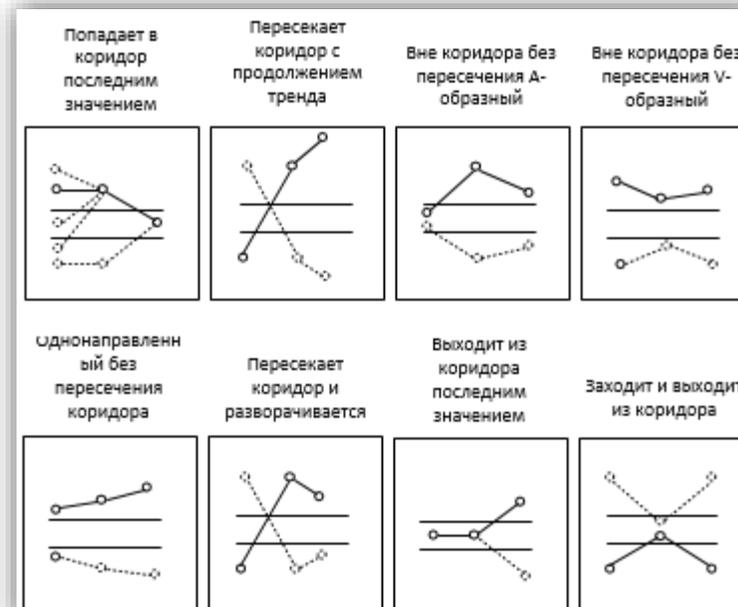
Наименование	Значение
Технологические параметры СД	
Такты	
Время отбора проб с линии в пробоотборник, мин	60
Время отбора стакана с пробой из пробоотборника, мин	17
Время прохождения сырья и добавок от дозаторов до пробоотборника	7

**Неактуальные данные** за прошедшие 1,5 часа

**Заданное качество**

Качество муки		
Кн	п	р
0,99 - 1,03	2,35 - 2,45	1,4 - 1,6

**Примеры паттернов**, когда изменяется пропорция шихты, а не каждый новый час, как это обычно делает оператор



**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

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**

# Исключен человеческий фактор

0 Лаборатория В 15:13 на калибровке сырьевой муки SD2 ошибочно промерили клинкер.

0 Лаборатория В 13:35 при измерении проверочного образца сырьевой муки ,при наборе обозначения ошибочно указали sd1

← **Ошибки** лаборантов при анализе проб

**Автоматическая отбраковка (деактивация) ошибочных проб по заданным пределам**

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
p		1,60438	2,50000
SiO2		7,96290	
SO3		0,06548	

08:13 - НОВАЯ РЕКОМЕНДАЦИЯ

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

← Оператор **пропускает** или **не вводит** новую рекомендацию

**Автоматический режим ввода в АСУТП новых рекомендаций**

08:23 - УСТАНОВЛЕНА (А)

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

# Автоматическая шихтовка и корректировка муки в силосах

Линия 2 Автоматически

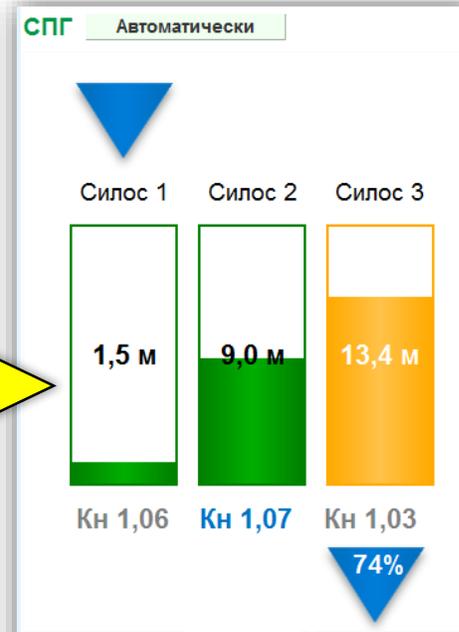
⌚	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	Кн	п	р	Мел	Мергел...	Огарки	Бокситы
11:41								63,4	31,6	1,6	3,4
11:55								64,0	31,0	1,6	3,4
12:00	13,36	3,30	2,23	43,73	1,00	2,42	1,48	64,0	31,0	1,6	3,4
12:03								65,6	29,3	1,7	3,4
12:18								65,4	29,5	1,7	3,4
12:32								63,9	31,0	1,7	3,4
12:46								63,3	31,6	1,7	3,4
13:00	13,36	3,35	2,24	43,68	1,00	2,39	1,50	63,3	31,6	1,7	3,4
13:03								64,2	30,6	1,7	3,5
13:18								63,2	31,6	1,7	3,5
13:32								63,8	31,0	1,7	3,5
13:46								63,5	31,3	1,7	3,5
13:58	13,36	3,34	2,25	43,72	1,00	2,39	1,48	63,5	31,3	1,7	3,5
14:01								64,2	30,6	1,7	3,5

Мука с 2-х линий производства



Попадает в силоса и скачивается из них в СОГ

Происходит автоматическая корректировка качества шихты путем смешивания при скачивании



14:49 - УСТАНОВЛЕНА (А)

100%

С1

С2

С3

60%

## Система АЦТЕК:

- Автоматический расчет оптимальной пропорции шихты для двух линий производства.
- Автоматический режим управления дозаторами подачи мела, мергеля, бокситов и огарков.
- Режим рекомендаций оператору на случай аварийных ситуаций.
- Автоматический режим корректировки качества шихты в силосах предварительной гомогенизации.

17:14 - УСТАНОВЛЕНА (А)

МЕЛ

64,7

МЕРГЕЛЬ

30,0

ОГАРКИ

1,8

БОКСИТЫ

3,5

# Сравнение качества за сутки

**Диапазон колебаний качества шихты по Кн:**

◀ Слева – оператор

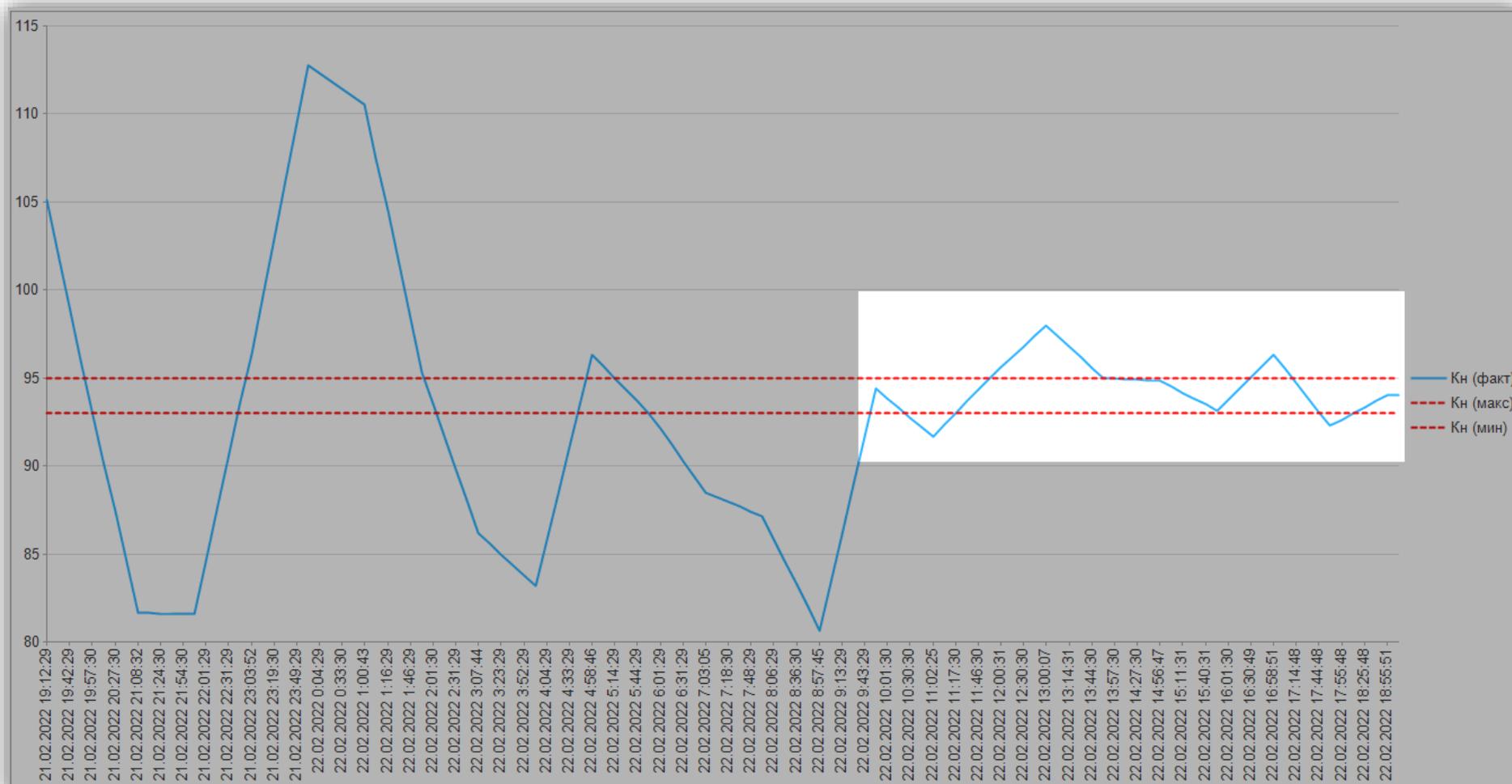
▶ Справа – система

На графике показатели качества в масштабе x100.

Заданный диапазон качества 3-4 сотых доли.

**Система АЦТЕК стабилизирует качество шихты лучше оператора.**

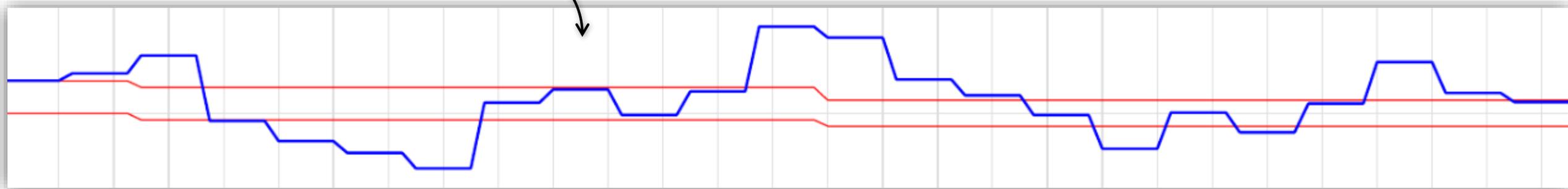
Задача оператора – **анализ и мониторинг** отклонений тех. процесса и работы оборудования.



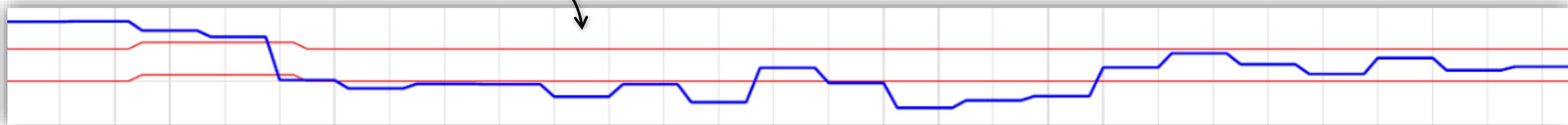
# Сутки оператор VS Сутки система

Оператор сырьевого отделения

красные линии – заданное качество шихты, синие линии – фактическое



Автоматический режим работы



Система АЦТЕК обеспечивает более стабильное качество шихты и более прогнозируемый результат

# Спасибо за внимание!



**Березин Евгений Александрович**

Директор по информационным технологиями

Цементный завод «Азия Цемент»

Мои статьи о цифровой трансформации

[https://habr.com/users/e\\_berezin/posts](https://habr.com/users/e_berezin/posts)

