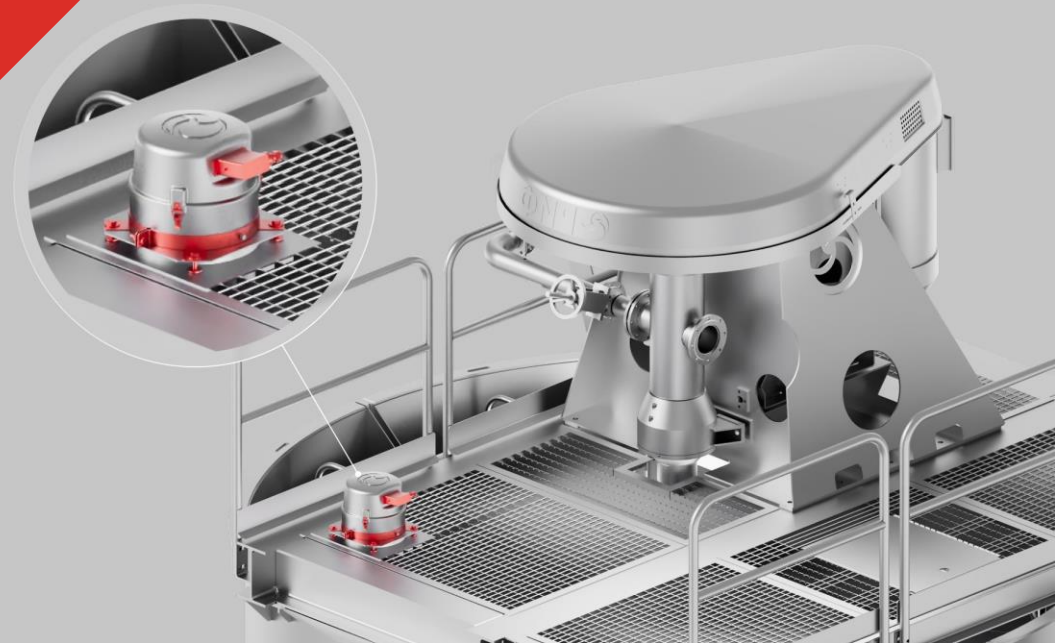


× × ×

Краткий обзор Релиза:

«Разработка алгоритмов
управления процессом флотации
на основе **системы машинного зрения**
с возможностью получения
концентратов заданного качества»



ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМЫ МЗ ПРОВЕДЕНЫ НА ОДНОЙ ИЗ ФАБРИК, ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ МЕДНЫЕ СУЛЬФИДНЫЕ РУДЫ РАЗЛИЧНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

МЕДНЫЕ РУДЫ, СОДЕРЖАЩИЕ ОТ НЕСКОЛЬКИХ ДЕСЯТЫХ ДОЛЕЙ ПРОЦЕНТА ДО НЕСКОЛЬКИХ ПРОЦЕНТОВ МЕДИ, ОТНОСЯТСЯ К ТРУДНОБОГАТИМЫМ И ХАРАКТЕРИЗУЮТСЯ МНОГОСОРТНОСТЬЮ, НЕРАВНОМЕРНОЙ ВКРАПЛЕННОСТЬЮ, ТЕСНОЙ АССОЦИАЦИЕЙ СУЛЬФИДОВ, РАЗНООБРАЗИЕМ ФОРМ ВЫДЕЛЕНИЙ МЕДИ

Последовательно перерабатываются на данной ОФ по разветвлённой гибкой коллективно-селективной схеме, с поэтапным раскрытием флотуруемых медных минералов и их выводом между стадиями измельчения в концентраты 1-ой и 2-ой медных «головок», являющиеся наиболее богатыми по содержанию меди

Наименование перерабатываемых руд	Массовая доля, %	
	Меди	Цинка
«Медная руда 1»	0,85-1,64	0,75-1,09
«Медная руда 2»	1,35-2,74	0,28-0,65
«Медная руда 3»	0,74-1,08	0,4-1,0
«Колчеданная медная руда»	0,58-0,62	0,41-0,56

01

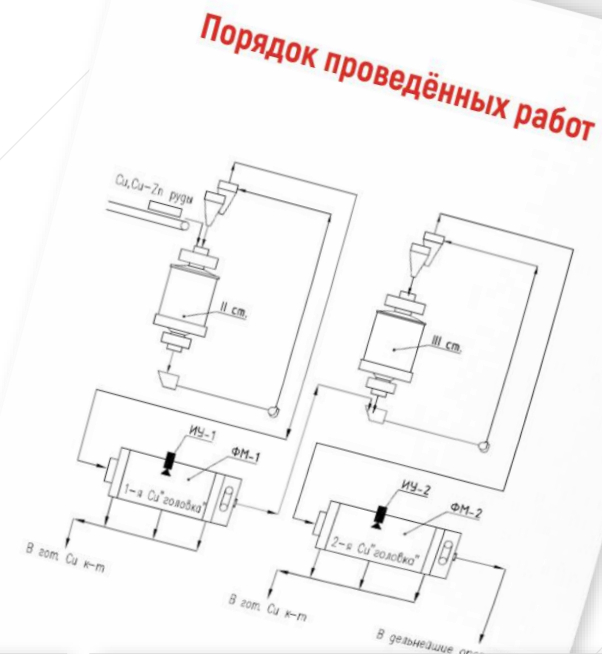
Операции «головок» наиболее целесообразны для сбора данных технологических параметров и параметров работы оборудования, их передачи в систему для обработки с целью прогнозирования и управления

02

Оптимизация процесса с начальных стадий максимально предотвращает нарушение кондиций товарного медного концентрата, а также потери в извлечении ввиду минимизации нарушений и более оперативного реагирования на них

ПОРЯДОК ПРОВЕДЁННЫХ РАБОТ

Первая и вторая медные «головки» проводятся во флотомашинах ФМ-1 и в ФМ-2 на сливах гидроциклонов мельниц второй и третьей стадий измельчения соответственно. Хвосты 1-ой медной «головки» подаются на третью стадию измельчения. Хвосты 2-ой медной «головки» направляются в дальнейшие операции. Концентраты 1-ой и 2-ой медных «головок» направляются в готовый медный концентрат на сгущение



01



Разработан план мероприятий по разработке алгоритмов управления процессом флотации с проведением опробования

02



Узлы системы МЗ размещены в оптимальных местах

03



Проведены опробования с отбором проб продуктов флотации – поиск зависимостей измеряемых СМЗ параметров и их влияния на процесс

04



Проведена аналитика данных результатов опробования и архивов систем МЗ и АССУТП фабрики

05



Разработана модель прогнозирования и поддержания содержания меди в концентратах «головок»

06

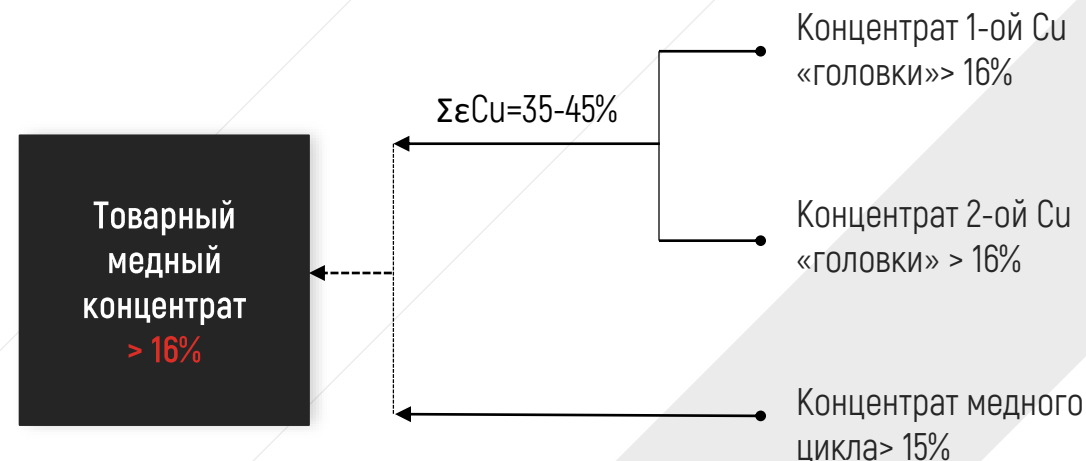


Разработаны алгоритмы управления процессом на основе СМЗ с возможностью получения концентратов заданного качества

ОБОСНОВАНИЕ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ. ТЕКУЩЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ ДЕЛ

Товарный медный концентрат включает

- концентраты 1-ой и 2-ой медных «головок»
- медный концентрат (второй или третьей медной перечистки), получаемый в медном цикле флотации



Содержание и извлечение меди в концентраты 1-ой и 2-ой медных «головок» регламентируется. При недоработках в цикле «головок» качество товарного концентрата добирается в медном цикле, что труднодостижимо без потерь меди с хвостами. Получение некондиционных концентратов и потери в извлечении приводят к снижению прибыли предприятия

01

Расходы реагентов и прочие параметры задаются и обеспечиваются согласно регламенту и изменяются лишь в случае невозможности обеспечить качество концентратов регулированием уровней

02

Воздух в операциях медных «головок» не используется для регулирования процесса ввиду резкого его влияния на выход

ОБОСНОВАНИЕ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ. ТЕКУЩЕЕ ПОЛОЖЕНИЕ ДЕЛ

Обеспечение регламентируемых технологических показателей цикла медных «головок»:

01



Требуемые содержания меди в 1-ой и 2-ой «головках» задаются технологом исходя из параметров руды

02



Обеспечиваются ручным регулированием уровней во флотомашинах ф/м №50 и №56

03



Обратной связью служат показания АСАК с дискретностью 20 минут

04



Извлечение оценивается субъективно по наблюдаемым визуально параметрам пены

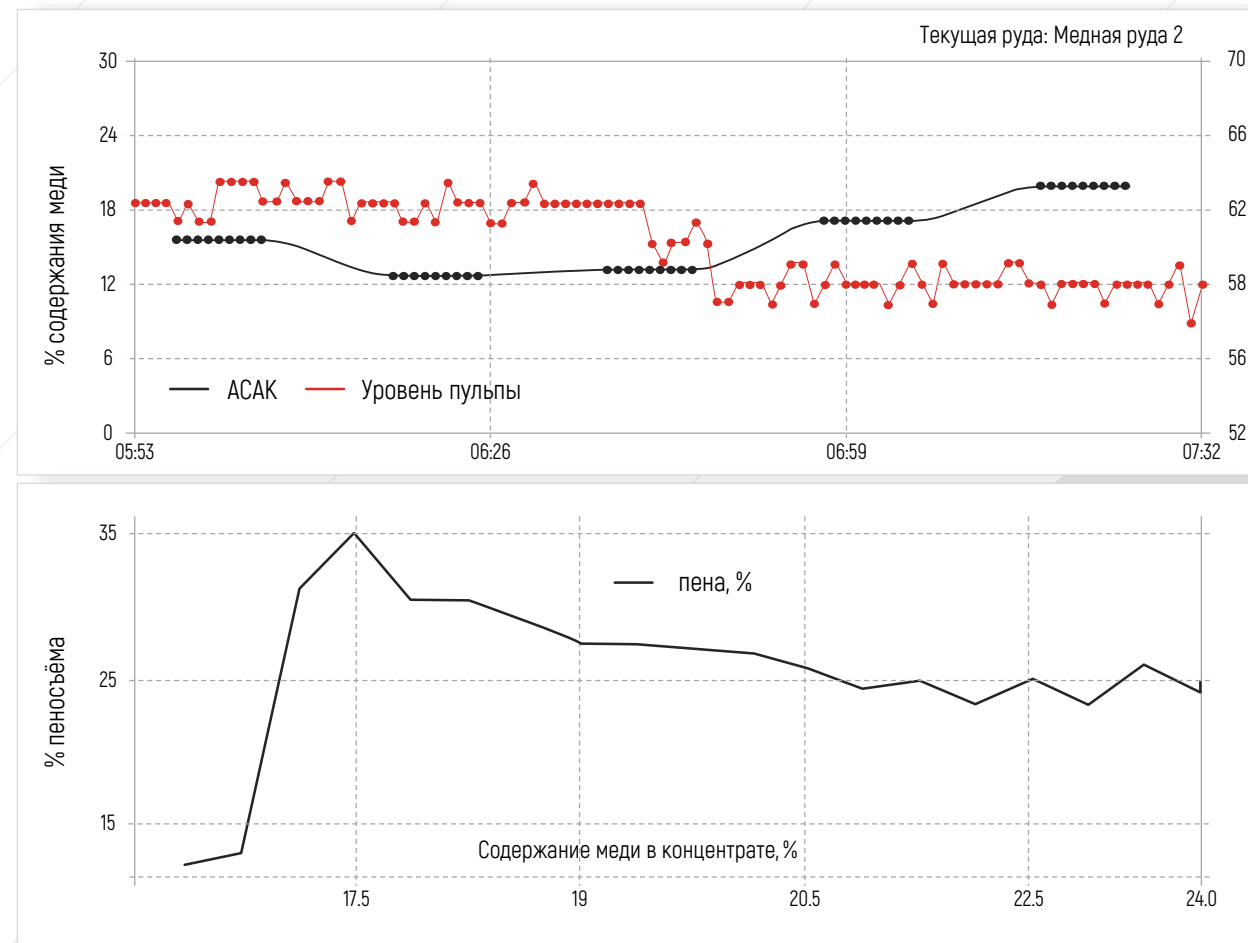
АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ УРОВНЕМ ПУЛЬПЫ И ПЕНОСЪЁМА С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ ААСУП-РВ И СМЗ

При обработке массивов данных на основании уровня пены, измеряемого системой МЗ и уровня пульпы от перелива, определённого системой ААСУП-РВ, рассчитан показатель пеносъёма

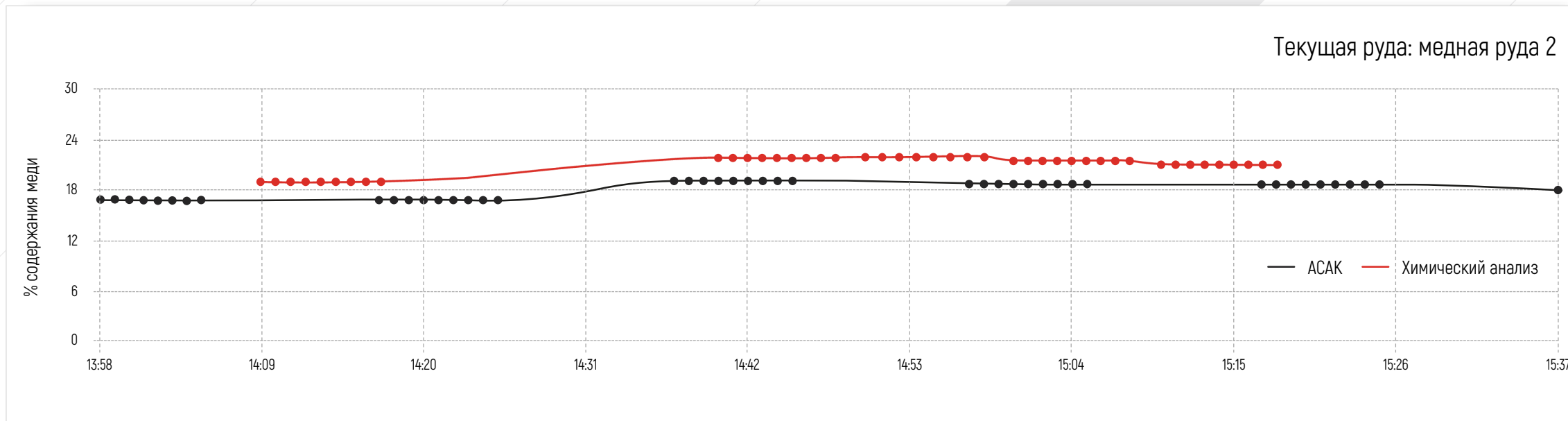
На примере ФМ-1 выявлена зависимость между содержанием меди в концентрате (по данным АСАК) и процентом выхода пены над переливом

Анализ архивных данных подтверждает зависимость между уровнем пульпы и качеством концентрата ФМ-1. При понижении уровня пульпы содержание компонентов увеличивается, при повышении уровня – понижается

Чёткая зависимость между содержанием меди (по АСАК) и уровнем пульпы во флотомашине ФМ-1 не всегда очевидна, в каких-то случаях уровень менялся в связи с качеством процесса на ФМ-2, а в каких-то наблюдались другие нарушения процесса или работы оборудования



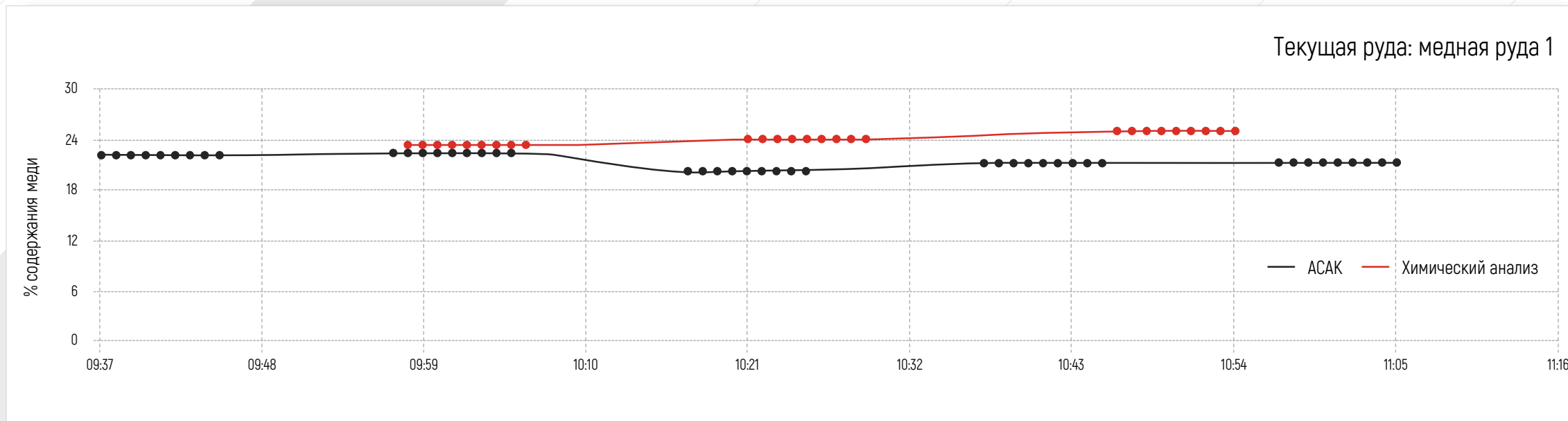
РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗОВ ПРОБ КОНЦЕНТРАТОВ ПЕРВОЙ МЕДНОЙ «ГОЛОВКИ» И СРАВНЕНИЕ С ДАННЫМИ АСАК



Пробы концентратов на химический анализ отбирались вручную в течение 3-5 минут с интервалом времени в одну минуту

В среднем, каждой пробе принято соответствие 9-ти минутам стабильного процесса

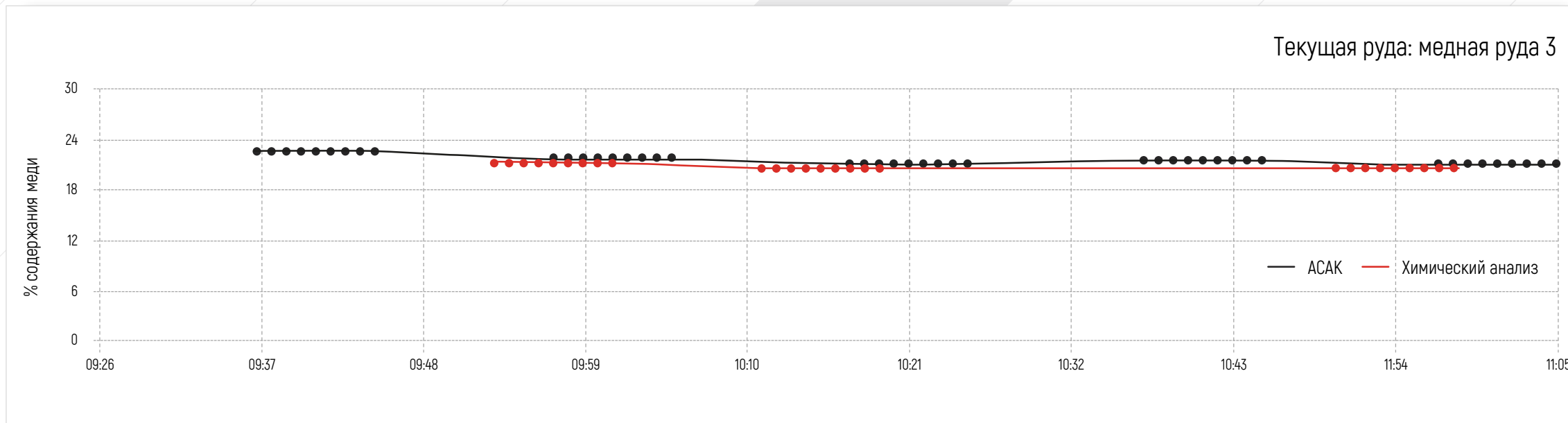
РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗОВ ПРОБ КОНЦЕНТРАТОВ ПЕРВОЙ МЕДНОЙ «ГОЛОВКИ» И СРАВНЕНИЕ С ДАННЫМИ АСАК



В связи с малым для набора статистики количеством отобранных проб за период опробования

В разработке моделей прогноза использовались данные системы АСАК продуктов первой и второй медных «головок»

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗОВ ПРОБ КОНЦЕНТРАТОВ ПЕРВОЙ МЕДНОЙ «ГОЛОВКИ» И СРАВНЕНИЕ С ДАННЫМИ АСАК



Проведённое опробование показало расхождение данных АСАК (синий тренд) и результатов химических анализов (красный тренд) при исследованиях проб концентрата первой «медной» головки

11,45%

среднее процентное отклонение (MAPE)

6,10%

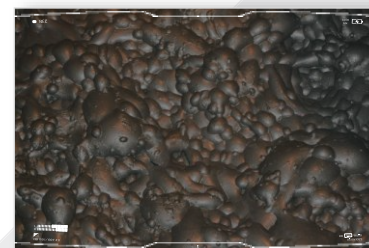
среднее квадратичное отклонение (MSE)

2,00%

средняя абсолютная ошибка (MAE)

ИСТОЧНИКИ ДАННЫХ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА КОНЦЕНТРАТОВ

Система машинного зрения (СМЗ) предоставляет следующие параметры с минутной дискретностью



01



Количество пузырей (общее на изображении)

02



Распределение пузырей по размерам:

- до 10 мм (мелкие)
- от 10 до 100 мм (средние)
- свыше 100 мм (большие)

03



Скорость пены, мм/сек

04



Уровень пены над переливом, мм

05



Цветовые характеристики пены (HSV, RGB)

ИСТОЧНИКИ ДАННЫХ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА КОНЦЕНТРАТОВ

АСУП-РВ предоставляет дополнительные параметры с минутной дискретностью

01

- уровень пульпы ниже перелива в камере
- положение донных затворов

Данные АСАК с 20-ти минутной дискретностью

02

- данные АСАК концентрата 1-ой медной «головки»
- данные АСАК концентрата 2-ой медной «головки»

Данные химических анализов отобранных проб

03

Из архивов исключены данные за периоды

зафиксированных случаев внештатных ситуаций, нарушений работы оборудования и технологического процесса, сбоев подачи реагентов и режима измельчения, а также периоды сбоев в работе систем АСАК по используемым точкам

Данные для обучения модели разделены на

- обучающую выборку, по которой модель будет сопоставлять входные данные выходным
- тестовую выборку, по ней модель проверяет качество обучения



ВИДЫ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА КОНЦЕНТРАТОВ И ОЦЕНКА ИХ ТОЧНОСТИ

Прогнозирование содержания меди по параметрам пенного продукта, измеряемым СМЗ, в режиме реального времени позволяет создавать алгоритмы оперативного управления флотацией

На основе накопленных данных создаётся модель машинного обучения, выходом которой является содержание меди



Используются
два вида моделей

01

Прогнозирование содержания меди в концентрате по изображениям. Каждому изображению присваивалось определённое усреднённое содержание меди (по данным химических анализов или АСАК)

02

Прогнозирование содержания меди в концентрате по цифровым параметрам пены – размеру пузырей, скорости, уровню пены. Ежеминутному архиву, как срезу процесса, присваивались интерполированные данные химических анализов или АСАК

ВИДЫ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КАЧЕСТВА КОНЦЕНТРАТОВ И ОЦЕНКА ИХ ТОЧНОСТИ

Способы оценки точности прогноза построенных моделей

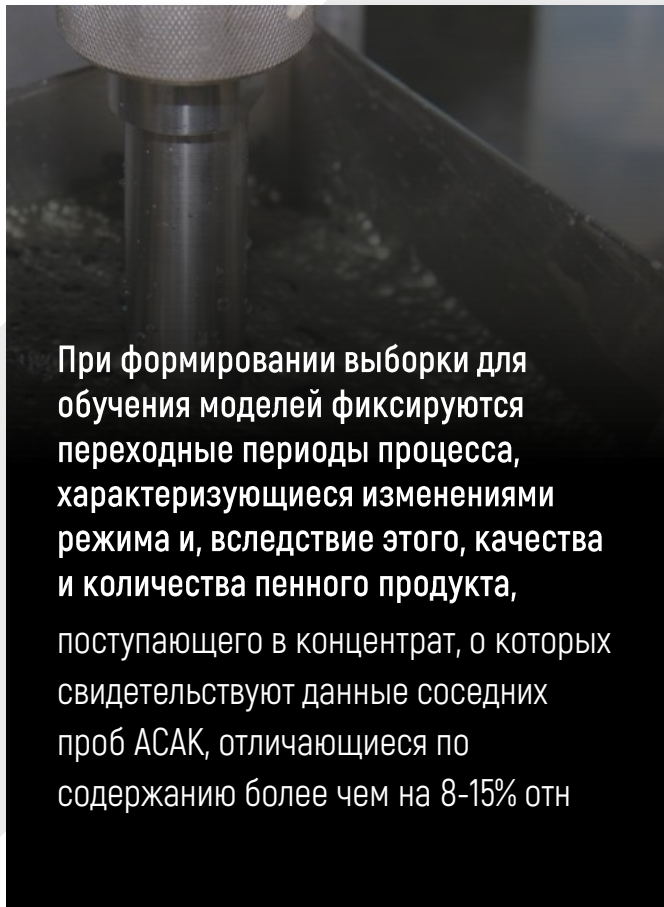
- 01 Средняя абсолютная ошибка (MAE) – среднее значение от всех ошибок, показывающих оценку близости прогнозируемых значений к фактическим
- 02 Оценка среднего квадратичного отклонения (ошибки MSE) подсвечивает большие ошибки и применяется в случаях, где они критичны, помогая выбрать модель, дающую меньшее их количество
- 03 Средняя процентная ошибка (MAPE) - оценивает на сколько велика дельта между фактом и прогнозом

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |\text{Реальное значение} - \text{прогнозируемое значение}|}{n}$$

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Реальное значение} - \text{прогнозируемое значение})^2}{n}$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|\text{Реальное значение} - \text{прогнозируемое значение}|}{\text{Реальное значение}}$$

ОБРАБОТКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ И СОСТАВЛЕНИЕ ОБУЧАЮЩИХ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СМЗ ВЫБОРОК



При формировании выборки для обучения моделей фиксируются переходные периоды процесса, характеризующиеся изменениями режима и, вследствие этого, качества и количества пенного продукта, поступающего в концентрат, о которых свидетельствуют данные соседних проб АСАК, отличающиеся по содержанию более чем на 8-15% отн

Способы фиксации проб переходных периодов процесса для обучения различных видов моделей

- исключение, для обучения используются данные усреднённых проб только на стабильных участках процесса
- линейная интерполяция, с преобразованием дискретности отбора усреднённой пробы в минутные интервалы, совместимые с данными системы МЗ и АССУП-РВ (для моделей прогнозирования по изображениям не подходит)

Метод исключения проб переходных периодов процесса

- недостаток - уменьшение выборки для обучения, вследствие чего - снижение точности прогноза
- преимущество - содержание усреднённой пробы соответствует каждому поминутному изображению или поминутным архивным данным
- использован для обучения моделей прогнозирования по фотоизображениям пенного слоя

Метод интерполяции данных соседних проб переходных периодов процесса

- недостаток - допущение, что рост или снижение качества концентрата происходит равномерно, что в реальности не соответствует действительности
- преимущество - при малой выборке, модели более вариативные в прогнозе содержания
- использован для обучения моделей по цифровым параметрам пены

ОБУЧЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Модели прогноза по изображениям

01



Предназначены для анализа изображений пенного слоя

текущего процесса и прогнозирования по ним содержания меди на основе их визуальных характеристик

02



Основаны на построении свёрточной нейронной сети

для задачи регрессии (выход модели – непрерывное цифровое значение)

03



Обучены присвоением поминутным изображениям

определённых химическими анализами или АСАК усреднённых содержаний меди (интервальный метод)

04



Переходные периоды процесса исключены

Из обучения исключены соседние пробы, отличающиеся в нижних регистрах содержаний (при содержаниях меди менее 15% в концентрате) по относительной разнице более чем на 15%, в верхних (при содержаниях меди более или равно 15% в концентрате) – более, чем на 8%

05



Введение в обучающую выборку некоторых моделей данных

по скорости схода пены и уровня пульпы повысило качество прогнозирования

ОБУЧЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Модели прогноза по цифровым параметрам пены

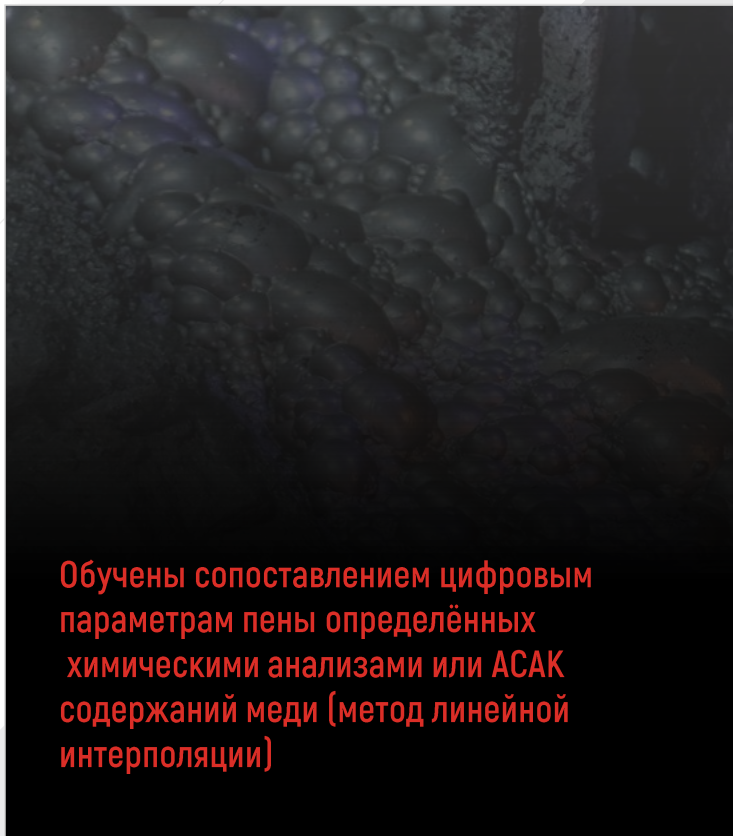
Предназначены для анализа измеряемых СМЗ цифровых параметров пенного слоя текущего процесса и прогнозирования по ним содержания меди

В обучении использованы рассчитанные параметры пены

- размер пузырьков и их количество
- скорость схода пены
- уровень пены над переливом
- параметры цветности

В обучении использованы параметры работы системы АССУП-РВ

- уровень пульпы
- положение донных затворов



Обучены сопоставлением цифровым параметрам пены определённых химических анализами или АСАК содержаний меди (метод линейной интерполяции)

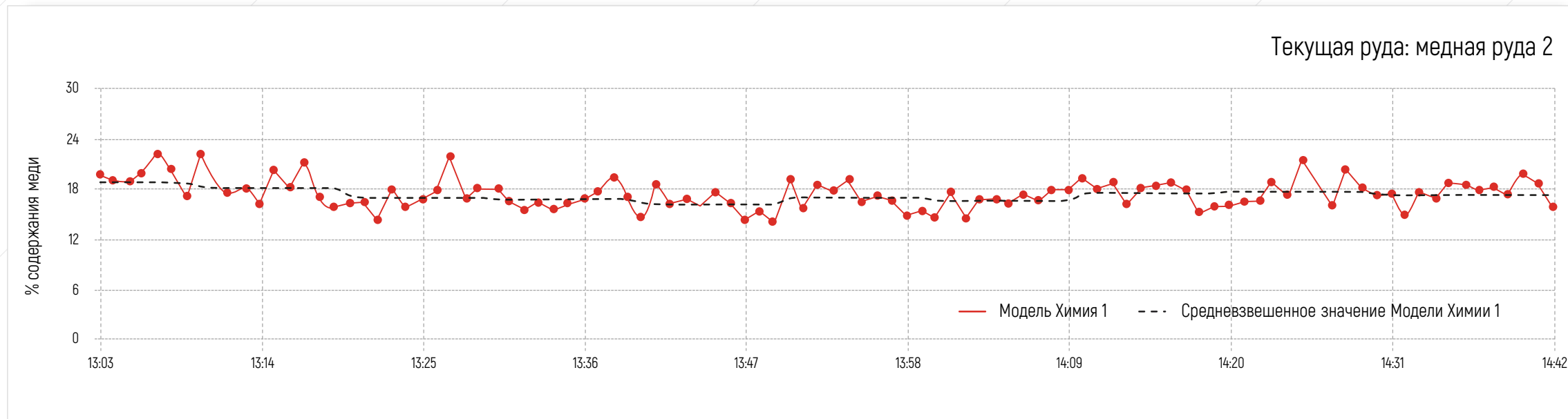
Переходные периоды процесса использовались в обучении после интерполяции разнящихся содержаний меди в соседних пробах

При использовании метода линейной интерполяции интервала дискретность отбора усреднённой пробы преобразуется в минутные интервалы, необходимые для построения совместного с СМЗ массива данных

То есть, если в 0 минут имеется значение 10, а в 20 минут – значение 30, то промежуточные минуты дополняются значениями:

- первая минута – 11
- вторая минута – 12 и т.д.

УСРЕДНЕНИЕ ПОМИНУТНЫХ ПРОГНОЗНЫХ ДАННЫХ



Для моделей прогноза по изображениям с исключением переходных периодов

Результатом работы модели является ежеминутный прогноз (зелёный тренд)

Прогнозные значения усредняются в условную средневзвешенную пробу за заданный период времени (пунктирный коричневый тренд)

$$\bar{\beta}_{Cu} = \frac{\sum_{i=1}^{10} \beta_i \cdot l_i \cdot v_i}{\sum_{i=1}^{10} l_i \cdot v_i}; \text{ в процентах}$$

l_i - уровень пены, v_i - скорость схода пены, β_i - минутное прогнозное содержание меди.

УСРЕДНЕНИЕ ПОМИНУТНЫХ ПРОГНОЗНЫХ ДАННЫХ

Результатом работы модели является ежеминутный прогноз, усреднённый за заданный промежуток времени

Для моделей прогноза по цифровым параметрам пены с интерполяцией переходных периодов

$$\bar{\beta}_{Cu} = \frac{\sum_{i=1}^N \beta_i}{N}; \text{ в процентах}$$

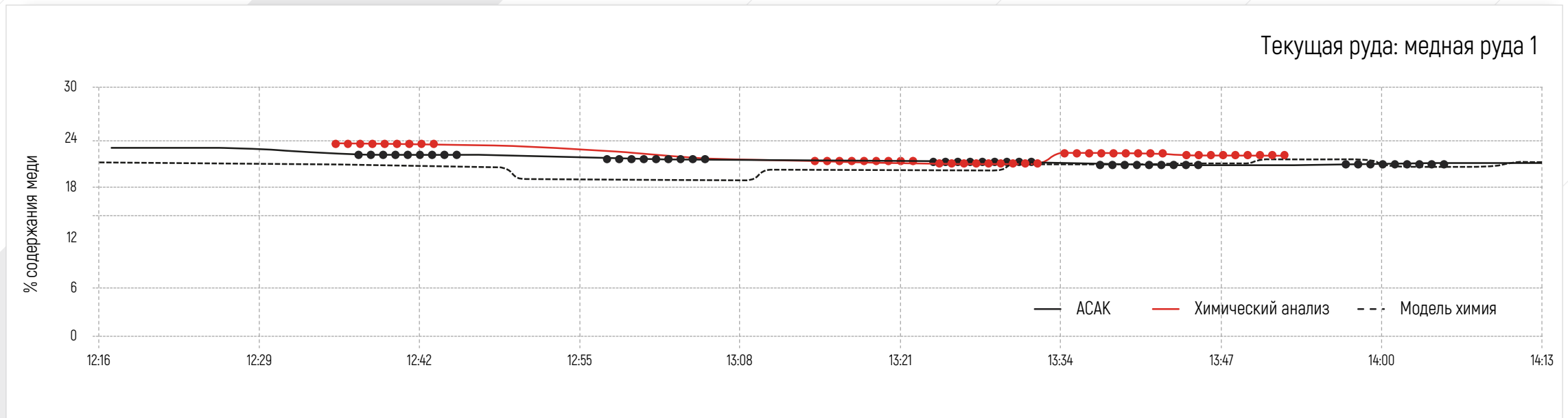
Среднее скользящее значение

отношение суммы предыдущих усредняемых значений β_i к их количеству, недостаток – искажается выбросами значений

Медиана

делящее поровну набор данных значение, более предпочтительна при наличие несимметричных данных и выбросов

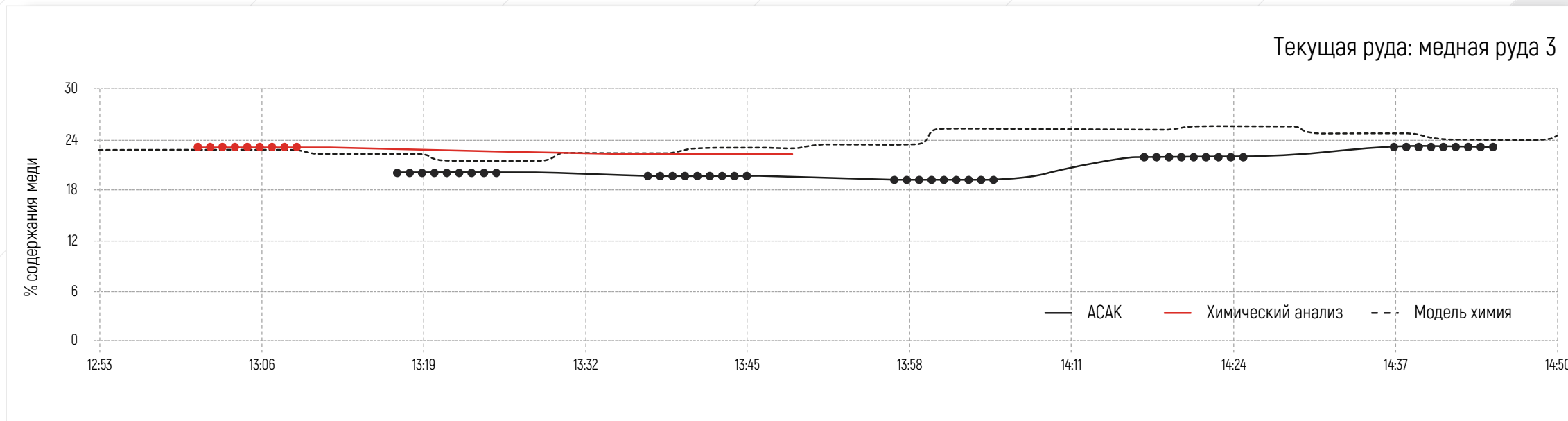
МОДЕЛЬ, ОБУЧЕННАЯ НА ДАННЫХ ХИМИЧЕСКИХ АНАЛИЗОВ



- Модель обучена на результатах химических анализов 96-ти отобранных в период опробования проб
- Каждой пробе присвоено 9 минут стабильного процесса
- Всего использовано 864 изображений пены
- На 795-ти из них модель прогнозирования обучалась

- На 69-ти из них (случайная выборка) модель тестировалась
- Минутные прогнозные значения (на обучающей выборке) усреднены за заданный период (в данном случае, 10 минут)
- Модель не тестировалась на новой выборке в связи с тем, что для подобного тестирования нужно повторное опробование

МОДЕЛЬ, ОБУЧЕННАЯ НА ДАННЫХ ХИМИЧЕСКИХ АНАЛИЗОВ



Точность прогнозирования содержания меди в условно усреднённой за 10 минут пробе концентрата 1-ой «головки» независимо от руды (обучающая выборка, зелёный тренд) относительно данных химических анализов

5,59%

среднее процентное отклонение (MAPE)

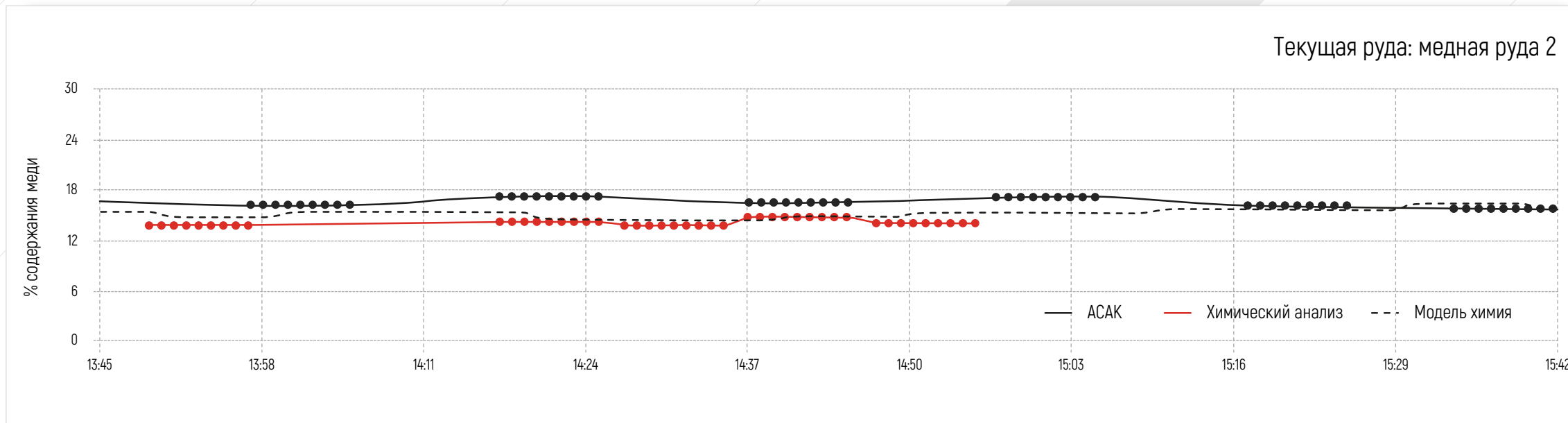
1,06%

средняя абсолютная ошибка (MAE)

Относительно АСАК

не определена ввиду разницы в способах отбора и методах анализа

МОДЕЛЬ, ОБУЧЕННАЯ НА ДАННЫХ ХИМИЧЕСКИХ АНАЛИЗОВ

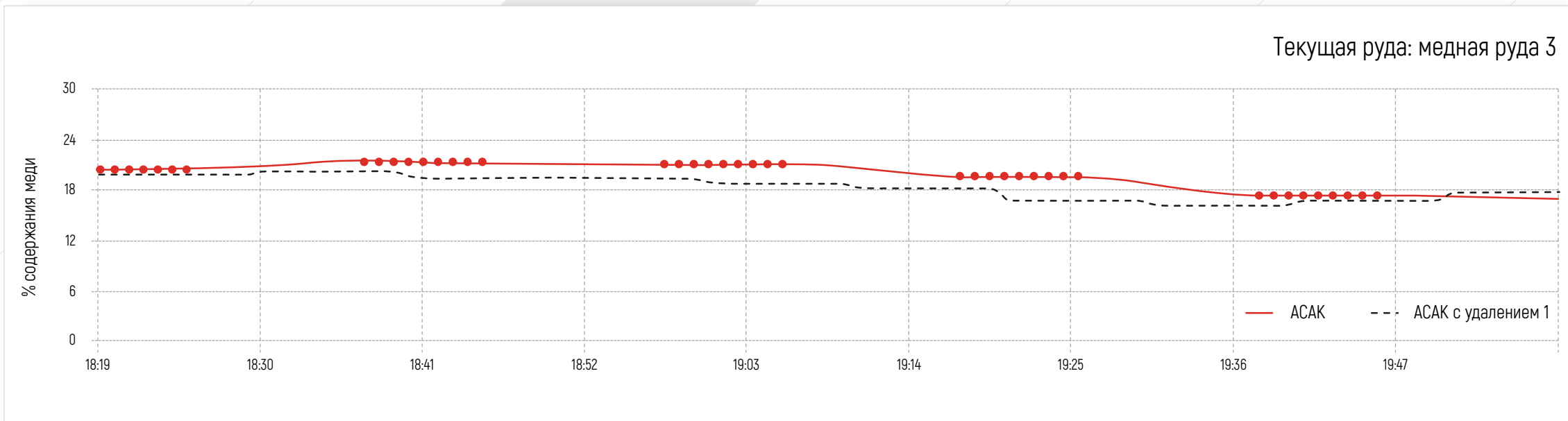


Точность модели на 69-ти изображениях, исключённых из обучения (минутные прогнозные содержания без усреднения)

8,95%
MAPE

1,65%
MAE

МОДЕЛИ, ОБУЧЕННЫЕ НА ДАННЫХ АСАК



Модели прогноза по изображениям

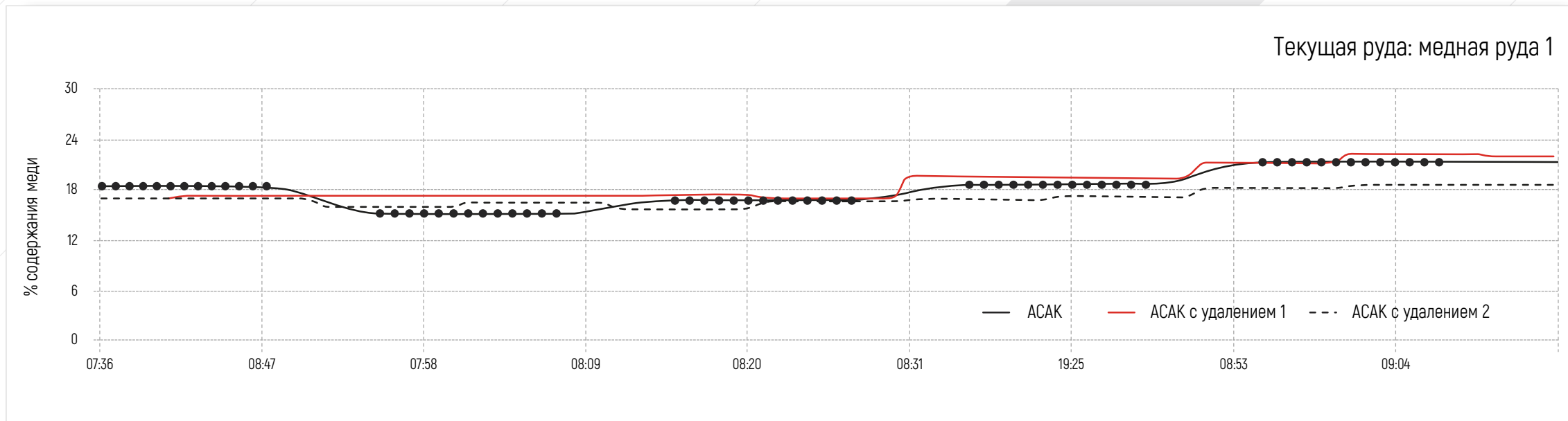
Модель АСАК_1. В обучении использована первая выборка из 816 проб АСАК с исключением переходных периодов

Точность прогноза на обучающей выборке (верхний рисунок, зелёный тренд)

5,2%
MAPE

1,0%
MAE

МОДЕЛИ, ОБУЧЕННЫЕ НА ДАННЫХ АСАК



Модель АСАК_2

Дообученная модель АСАК_1 на второй выборке данных из 600 проб

Точность прогноза на обучающей выборке (нижний рисунок, зелёный тренд)

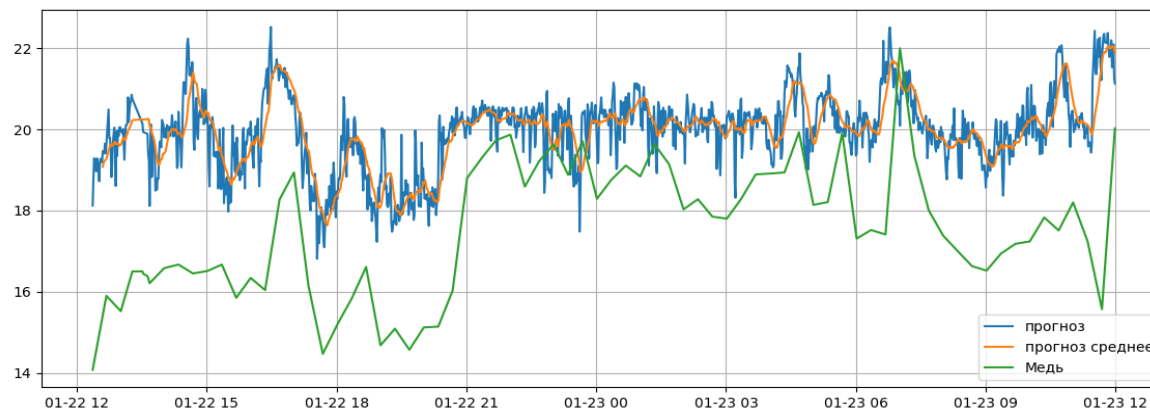
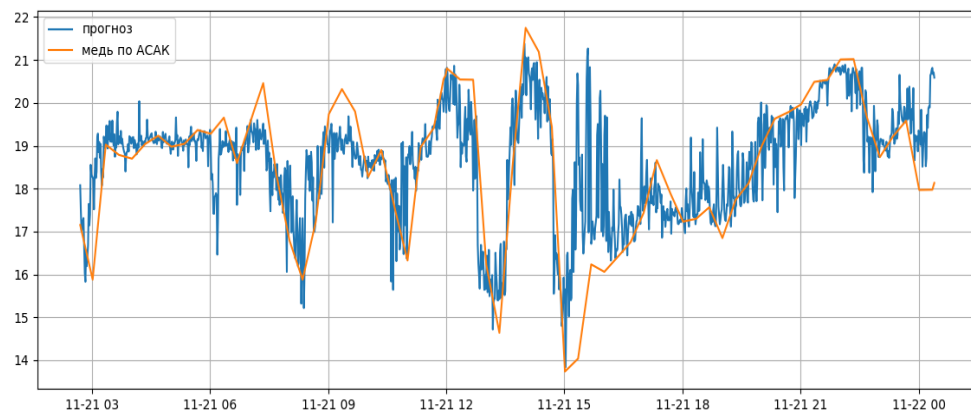
8,7%
MAPE

1,4%
MAE

МОДЕЛИ, ОБУЧЕННЫЕ НА ДАННЫХ АСАК

Модели прогноза по цифровым параметрам пены

Модель АСАК_1: в обучении использована выборка из 15000 строк интерполированных данных АСАК. Все руды



Точность прогноза на обучающей выборке (верхний рисунок, зелёный тренд)

4,9%
MAPE

0,9%
MAE

Точность прогноза на обучающей выборке (верхний рисунок, зелёный тренд)

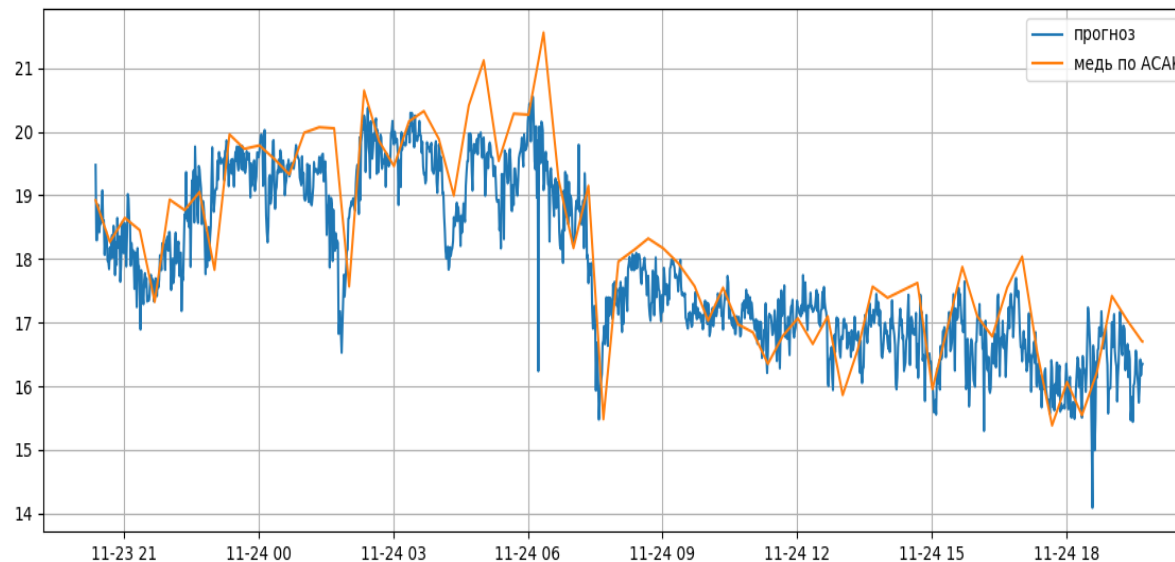
11,2%
MAPE

1,8%
MAE

МОДЕЛИ, ОБУЧЕННЫЕ НА ДАННЫХ АСАК

Модели прогноза по цифровым параметрам пены

Модель АСАК_2: Модель на выборке из 23000 строк интерполированных данных проб АСАК. Медная руда 2

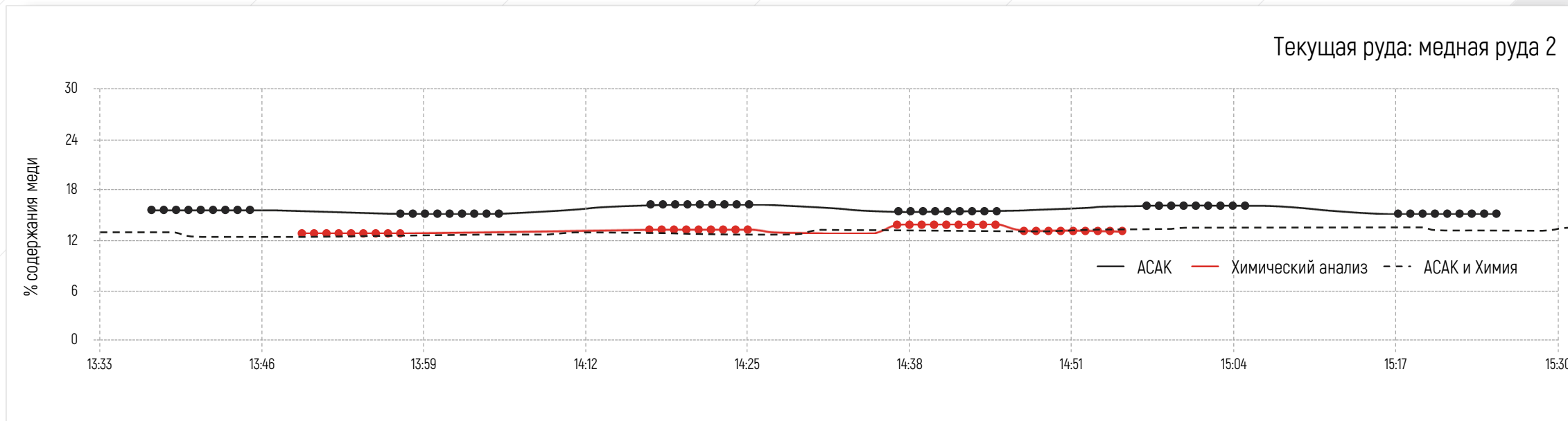


Точность прогноза на обучающей выборке
(верхний рисунок, зелёный тренд)

4,45%
MAPE

0,77%
MAE

КОМБИНИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ



01

Модель обучена на данных 780-ти проб АСАК и результатах х/а 96-ти отобранных в период опробования проб

02

На 69-ти снимках (случайная выборка, 8%) модель тестировалась относительно химических анализов

03

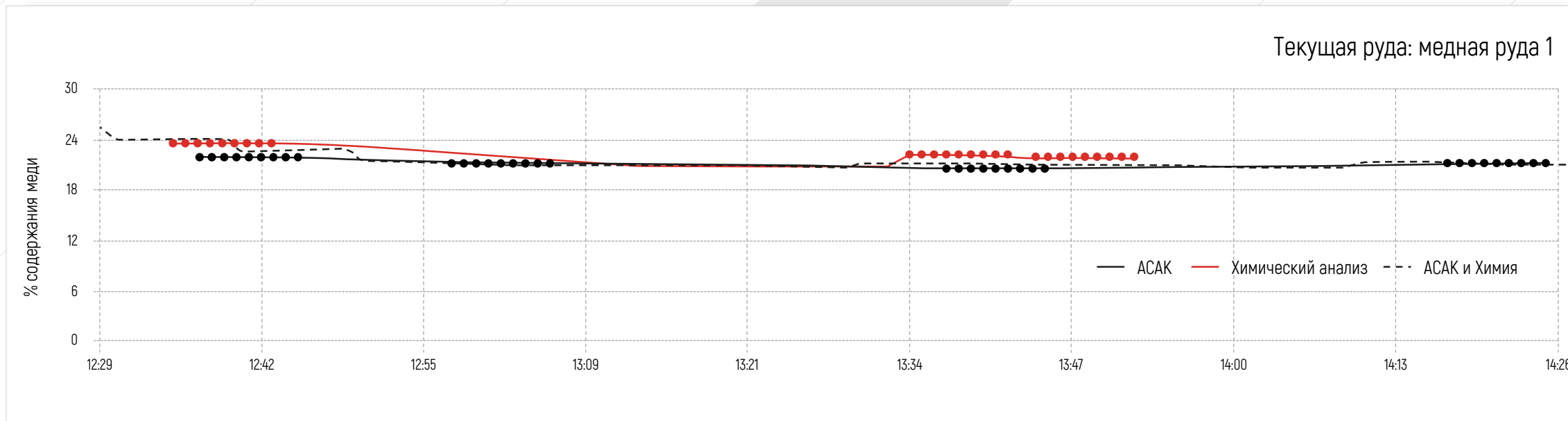
Минутные значения (на обучающей выборке) усреднены за 10 минут

04

Модель не тестировалась на новой выборке относительно х/а в связи с тем, что для подобного тестирования нужно повторное опробование.



КОМБИНИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ



Точность прогнозирования содержания меди в условно усреднённой за 10 минут пробе 1-ой «головки» независимо от руды (обучающая выборка, фиолетовый пунктирный тренд)

Относительно данных х/а

3,9%
среднее
процентное
отклонение (MAPE)

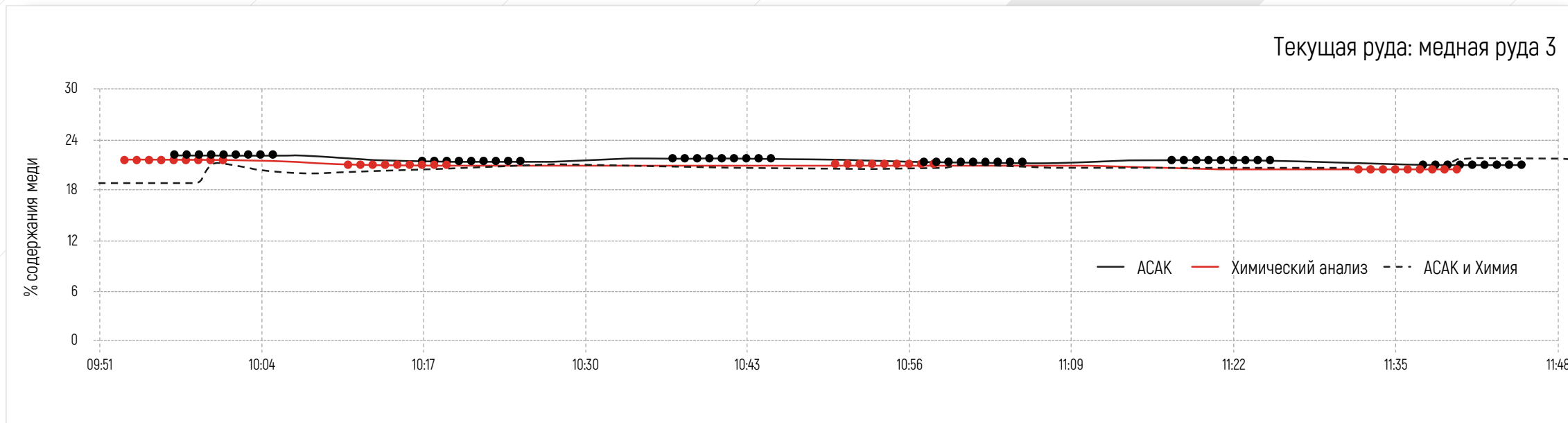
±0,7%
средняя
абсолютная
ошибка (MAE)

Относительно АСАК

9,3%
среднее
процентное
отклонение (MAPE)

±1,7%
средняя
абсолютная
ошибка (MAE)

КОМБИНИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ



Точность модели на 69-ти изображениях, исключённых из обучения (минутные прогнозные содержания без усреднения)

7,15% | MAPE

1,31% | MAE



ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ

Создан и обучен ряд принципиально разных моделей машинного обучения

01

прогнозирование содержания меди непосредственно по изображению пены

02

прогнозирование по расчетным параметрам пены

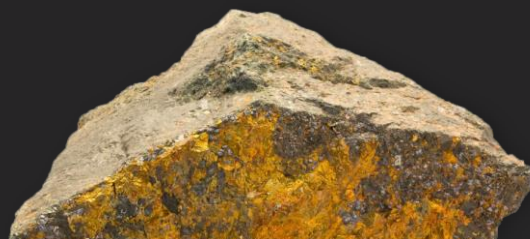
Перспективными для разработки и внедрения являются модели, обученные на данных химических анализов, т. к. исключают погрешность анализа пробы с использованием АСАК. Но получение данных химических проб является наиболее трудозатратным, поэтому компромиссным вариантом может быть комбинация использования АСАК и химического анализа

Важным представляется объём обучающей выборки. Для представительной выборки необходимо произвести не менее 300 отборов проб для каждой технологической точки в течении не менее 3-х месяцев

Создан алгоритм поддержания оптимального уровня пеносъёма

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМЫ МЗ В УПРАВЛЕНИИ ПРОЦЕССАМИ ФЛОТАЦИИ

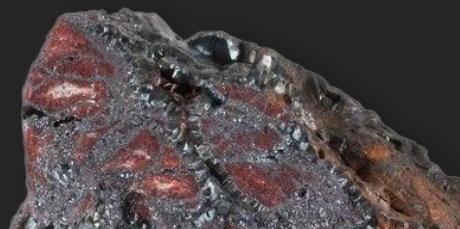
Золотосодержащие
сульфидные руды



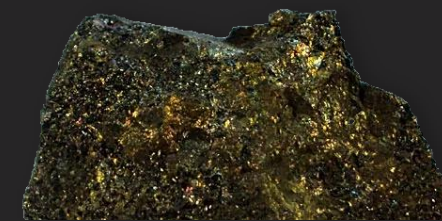
Полиметаллические
руды



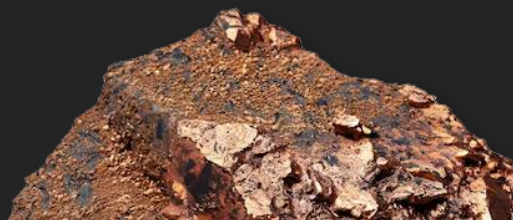
Обратная флотация магнетитовых
и гематитовых руд, доводка
железорудных концентратов



Медно-
никелевые руды



Медные руды



Медно-
молибденовые руды



ПРЕИМУЩЕСТВА ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ФЛОТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОФ

Непрерывный контроль параметров пенного слоя по всему фронту флотации (камера за камерой, каскад за каскадом)

- снижение потерь ценных компонентов, оптимизация циркуляции промежуточных продуктов, улучшение качества концентратов за счёт своевременных корректировок нарушений в нужной точке процесса
- оптимизация расходов реагентов (своевременное реагирование на нарушение процесса, требующие изменения реагентного режима)
- снижение влияния человеческого фактора (неопытность, отсутствие на рабочем месте в критические моменты, потери времени на поиск решений и ручное регулирование, и т.д.)
- снижение трудозатрат, вероятности технологических сбоев, ведущих к потерям

Прогнозирование* качества пенного продукта и возможность получения концентрата нужного качества

- прямое измерение без отбора и анализа проб, получение прогноза компонента в онлайн-режиме,
- снижение затрат на установку и обслуживание систем АСАК
- оптимизация технологических показателей (содержание флотируемого компонента в пенном продукте и извлечение в него)
- оптимизация реагентного режима
- снижение трудозатрат на контроль, управление и регулирование процессом, вероятности технологических сбоев, ведущих к потерям

Модели прогнозирования содержания компонентов возможны при наличии корреляции между параметрами цветности и распределением пузырьков по крупности с содержаниями в концентрате флотируемого компонента (флотация золотосодержащих сульфидных руд, руд чёрных металлов, медных, полиметаллических, медно-молибденовых и прочих руд). Разработка подобных моделей наиболее актуальна в случаях, где сложно или невозможно определение содержаний оперативно системами АСАК. Для разработки моделей требуется опробование

ПРЕИМУЩЕСТВА ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ФЛОТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОФ

Выдача результатов в реальном времени без запаздываний.
Возможность усреднения данных и гибкость усреднения

- архивирование: удобное хранение и анализ исторических данных
- оперативность реагирования на изменения процесса
- улучшение технологических показателей по операциям и в товарных продуктах

Адаптивность моделей

- возможность дообучения, например, при смене руд (провести опробование) или внесение улучшений, зафиксированных с опытом эксплуатации системы – для повышения точности прогноза и возможностей управления, в том числе автоматизированного
- анализ архивов позволит находить новые закономерности с возможностями вносить улучшающие алгоритмы прогноза и управления в систему

УНИКАЛЬНОСТЬ СИСТЕМЫ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ РИФ

Параметры, измеряемые СМЗ

01



Уровень пены выше перелива

02



Скорость схода пены

03



Параметры цветности пенного слоя

04



Количество и размеры пузырьков с задаваемым распределением по классам крупности



Датчик уровня пены

Поддержание пеносъёма стало возможным за счёт оснащения видеоузлов нашей системы МЗ датчиками пены, измеряющими высоту пенного слоя выше границы перелива. Данный функционал отсутствует у подобных разработок других производителей. Он настраивается на стадиях пуско-наладочных работ, не требует обучения и относительно простым методом в комплексе с показаниями уровня пульпы позволяет оценить не только наличие пеносъёма, но и процент снимаемой пены от общей её толщины

Особенности анализа пенного слоя

Прогнозирование качества протекания процесса по цветовым характеристикам пены и крупности и распределению в ней пузырьков стало возможным за счёт анализа всей поверхности пены в зоне видимости камеры, а не выделенного её участка, как, например, в системах МЗ производства Outotec и других аналогов

Особенности расчёта векторной скорости

Скорость пены рассчитывается анализом последовательности изображений и вычислением сдвига контрольных точек. Сопоставлением величины сдвига и частоты кадров (время между изображениями) рассчитывается скорость движения потока пены. Для компенсации турбулентности используются изображения со смещением только в сторону порога (векторная скорость). Величина скорости усредняется за последние 1000 изображений (примерно, минута)



2025
СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ
2025