

Система непрерывного дозирования шихты с точностью порционных дозаторов. Опыт внедрения на Аксуском заводе ферросплавов.

Авторы статьи:

Головачев Н.П., Привалов О.Е., Трапезин В.А.

Хлыст С.В., Гонтарь В.И., Пшеничников П.А.

Вводная часть

В 2001г. перед специалистами Аксуского завода ферросплавов филиала АО «ТНК «Казхром» встала задача по переводу печей №№15,16 цеха №1 на выпуск марганцевых ферросплавов.

Существующая система регулирования, контроля и блокировок дозирочного оборудования представляла собой систему дозирования шихты, состоящую из 18 тензометрических дозаторов порционного типа – 4312 Д1, рассчитанных на загрузку шихтой печей №№15,16 по выпуску феррохрома. При выпуске марганцевых ферросплавов производительность прежней системы дозирования ограничивалась наличием промежуточного взвешивающего бункера в дозаторах порционного типа, который требовал двойную пересыпку материала, что особенно влияло на дозирование вязких компонент шихты.

Механическое оборудование прежней системы технически и морально устарело, имело большой процент износа и требовало капитального ремонта. Выполнить требование по выпуску марганцевых ферросплавов при работе на старой системе дозирования, без полной модернизации механической части весодозирующего оборудования и системы управления оказалось невозможным.

Из результатов тщательного анализа информации по системам дозирования следует, что более производительными по отношению к порционным являются дозаторы непрерывного действия. Однако, учитывая предыдущий опыт работы с системами непрерывного дозирования на АЗФ, реализованных на базе рычажных дозаторов консольного типа «4195 Пр» Одесского производства, были выявлены следующие отрицательные стороны данного решения:

1. Малый динамический диапазон и нестабильность регулировки потока шихты с помощью электровибропитателя и переходного лотка, вследствие чего возможны неуправляемые процессы залипания на переходном лотке вязких компонент и самотек хорошо сыпучих материалов, что:
 - затрудняет поддержание заданных соотношений компонент;
 - вызывает длительный выход на заданный режим регулирования;
 - ограничивает производительность дозатора.
2. Большой механический гистерезис измерений веса по причине большой массы рычажной системы дозатора, что:
 - ухудшает точность дозирования и учета компонент шихты;
 - увеличивает отклонение регулировок системы АСАД и время выхода ее на режим регулирования.
3. Необходимо точное расположение подающего лотка относительно конвейера для подачи шихты в область точки опоры весов, что не всегда выдерживается.
4. Вследствие больших нагрузок периодически разрывает ярмо вибропитателей, что требует усиления конструкции; для ремонта катушек вибропитателей необходимы применение спец.провода и качественная укладка витков, что не всегда выполнимо в условиях завода.
5. Работа дозатора сопровождается высокими уровнями шума и запыленности, что приводит к проф.заболеваниям и не соответствует современным требованиям.

В дополнение выделим основные недостатки системы управления дозаторами «4195 Пр»:

1. Система управления, реализованная на аналоговых электронных компонентах и электромеханических устройствах, предназначена для управления непосредственно дозаторами и не допускает изменений или внесения новых функций (учет отгруженной

- шихты производится электромеханическим счетчиком, задание режимов производится с помощью ступенчатых механических переключателей).
2. Адаптивное регулирование производительностью группы дозаторов (АСАД) так же является аналоговым и замкнутым, отсутствует возможность ввода/вывода информации из системы управления для использования ее в создаваемой АСУ ТП.
 3. Продолжительное время выхода на режим регулирования, которое достигает от 3 до 5 минут.
 4. Ограничение величины сигнала от тензодатчика при перегрузке дозаторов, в результате чего происходит подача неучтенных шихтовых материалов.
 5. Отсутствуют функции контроля работоспособности устройств и действий оператора.
 6. Дрейф нуля аналоговых устройств управления дозаторами требует регулярного проведения тарирования, и также бесконтролен.
 7. Громоздкая схема управления автоматики дозирования реализована на электромагнитных реле и имеет малую надежность.

По результатам проведенного тендера на комплектную поставку технологической линии дозирования для ДО-3 цеха №1 была выбрана НПП «Томская электронная компания» совместно с ЗАО «Сибтензоприбор», при этом учитывался их большой положительный опыт в области весодозирования сыпучих и жидких компонент, как дискретного, так и непрерывного типа, и комплектной поставке подобных систем «под ключ» с профессиональным проведением инжиниринговых работ.

В ходе работы над созданием технологической линии дозирования были поставлены следующие задачи:

1. Автоматически обеспечить высокую точность заданного в рецепте соотношения отгружаемой шихты в режимах прерывистой и непродолжительной подачи материала при:
 - неравномерности подачи материалов за счет плохой сходимости и широком разбросе гранулометрического состава отгружаемых материалов (до 300мм);
 - изменении количества поданного восстановителя (уголь, кокс) с учетом влажности;
 - изменении процентного содержания основного компонента в руде.
2. Вести учет расхода материалов из накопительных дозаторов с заданной метрологической точностью (от 0,5 до 1 %).
3. Обеспечить высокий уровень надежности оборудования.
4. Обеспечить полный контроль за работой весодозирующего оборудования и АСУ ТП.
5. Обеспечить информационную прозрачность системы управления при подключении сервера системы дозирования к общезаводской вычислительной сети.

Для устранения вышеуказанных недостатков существовавшей на АЗФ системы непрерывного дозирования, а также для реализации поставленных задач, НПП «Томская электронная компания» совместно с ЗАО «Сибтензоприбор» создали технологическую линию дозирования и комплектную АСУ ТП для ДО-3 цеха №1 АЗФ. В реализации данной системы были заложены следующие основные решения:

1. В качестве весодозаторов использовать дозаторы конвейерного типа ДВЛ-Н с установкой непосредственно под накопительным бункером, при этом нижняя часть накопительного бункера отрезная с вибрирующим конусом, что позволяет осуществлять подачу шихтовых материалов непосредственно из накопительного бункера на ленту конвейера дозатора через формирующие воронки дозаторов без вибропитателя (внешний вид приведен на Рис.1.). ДВЛ-Н выпускается ЗАО «Сибтензоприбор» и укомплектовывается системой управления СД-01 (производство НПП «Томская электронная компания»). Следует отметить, что дозатор конвейерного типа ДВЛ-Н внесен в Государственный реестр Российской Федерации (RU.C.28.007.A № 10205) и Республики Казахстан (№ KZ.02.03.00130-2002/21353-01).

2. АСУ ТП имеет трехуровневую иерархию. Структурная схема и внешний вид операторной приведены соответственно на Рис.2 и Рис.3. АСУ ТП включает в себя:
- **на нижнем уровне:** система дозирования СД-01, которая обеспечивает:
 - 1) полный набор функций по заданию параметров дозирования, учету, контролю и управлению дозатором;
 - 2) сбор всех сигналов с датчиков дозатора без дополнительных промежуточных вторичных преобразователей;
 - 3) управление электроприводом конвейера, накладными вибраторами накопительного бункера, реализуя алгоритм «пульс-пары» с программируемыми параметрами.
 - **на среднем уровне:** ПЛК Quantum фирмы Modicon с использованием двух резервируемых панелей управления Magelis, к одной из которых подключен принтер. Программируемый контроллер обеспечивает управление технологической линией дозирования в целом, в том числе:
 - 1) сбор данных с датчиков адаптации (влажность, процентное содержание основного компонента), с датчиков уровня, состояния оборудования тракта шихтоподачи (ТШП);
 - 2) обмен данными с СД-01 и регулирование соотношения компонент (АСАД);
 - 3) контроль работы ТШП;
 - 4) настройка системы деблокировок неисправностей;
 - 5) хранение и вывод на печать отчетов.
 - **на верхнем уровне:** SQL-сервер с БД для хранения информации о ходе технологического процесса, получаемой посредством программы «Сервер ввода/вывода». Структура информационных потоков между подсистемами АСУ ТП ДО-3 и абонентами приведена на Рис.4.

Такое исполнение верхнего уровня предоставляет возможность:

- 1) Осуществлять обмен информацией с цеховой информационной системой, который предоставит возможность технологам цеха непосредственно участвовать в управлении дозированием шихты, используя АРМ печей 15,16 или АРМ мастера:
 - контролировать и задавать рецепты дозирования шихты;
 - контролировать и изменять вид компонент в накопительных бункерах дозаторов;
 - получать текущую информацию и отчеты по дозированию шихты.
- 2) Вести учет расхода шихты по печным карманам, который необходим и доступен плавильщику для стабилизации режима работы печи и косвенного определения причин его нарушения.
- 3) Использовать более точную и реальную информацию о содержании влаги в восстановителе, полученную в хим.лаборатории ЦЗЛ, путем передачи по заводской сети в систему дозирования, которая учитываться в ней, принося существенную экономию за счет сокращения норм удельного расхода сырья и восстановителя.

АСУ ТП на ДО-3 цеха №1 имеет три уровня управления, что обеспечивает естественное резервирование функций управления системой в целом:

1. Задание рецептов и добавок, формирование и хранение архивной информации на SQL-сервере.
2. Средний уровень управления, включающий в себя ПЛК Quantum фирмы Modicon и две панели управления Magelis. Данный уровень реализует:
 - автоматическое управление 18 подсистемами дозирования с поддержанием соотношения компонент (функция АСАД);

- ручной пуск/стоп каждой подсистемы дозирования в отдельности, а также для каждой подсистемы переключение режимов дозирования/навеска, гравиметрический или объемнометрический;

- задание рецептов и добавок;
 - настройку системы деблокировок неисправностей;
 - хранение и вывод на печать отчетов.
3. Локальный уровень управления. Каждая подсистема дозирования может работать в автономном режиме, как отдельный дозатор, при этом возможна работа дозаторов в группе с поддержанием заданной производительности без алгоритма АСАД или заданной навески.
 4. Местный уровень управления. Имеется в виду возможность работы в объемнометрическом режиме, путем задания скорости вращения конвейера с панели управления частотного преобразователя каждой подсистемы.

Одной из основных проблем, которая возникла при реализации данного проекта, является обеспечение высокой точности дозирования на дозаторах конвейерного типа ДВЛ-Н при прерывистых и непродолжительных режимах подачи материала. Для решения данной проблемы в программное обеспечение СД-01 и методику настройки ДВЛ-Н были введены следующие алгоритмы и решения:

1. Специальный алгоритм измерения массы материала по “длине ленты”.
2. Учёт массы отгруженного материала, происходящий в момент схода этого материала с ленты конвейера дозатора.
3. Адаптивный учёт веса ленты с автоматической коррекцией при изменении длины данной ленты.
4. Простая и надежная методика проверки работоспособности с использованием имитационной цепи с коррекцией, учитывающей тип материала.
5. Специальные режимы калибровки длины ленты, веса, скорости обеспечивающих высокоточное измерение массы шихты.

Для обеспечения с высокой точностью заданного в рецепте соотношения шихтовых материалов в программном обеспечении ПЛК Quantum выполнена функция АСАД, которая реализуется:

1. Адаптивным алгоритмом регулирования соотношения входящих в рецепт компонент системой АСАД, структурная схема которого представлена на Рис.5.
2. Введением режимов коррекции по влажности и процентному содержанию, в том числе с возможностью автоматической коррекции.

Внедрение новой системы с учетом специфики производства было разбито на 3 отдельных законченных этапа, что позволило провести пусконаладочные работы грамотно и без остановки на кап.ремонт дозирочного отделения.

Поставка оборудования АСУ ТП ДО-3 осуществлялась следующим образом:

1 Этап – замена существующих дозаторов 2-ой группы на вновь поставляемые. Дозировка велась на 1 и 3 группах дозаторов.

- щит АСАД и комплектный щит с размещенным в нем СД-01 (ЩКУ-Д);
- терминальный комплекс в части панелей оператора, устройства печати и оборудования для их размещения.

2 Этап – замена существующих дозаторов 3-ей группы. Дозировка велась на 1 и 2 группах дозаторов.

- комплектный щит с размещенным в нем СД-01 (ЩКУ-Д).

3 Этап – замена существующих дозаторов 1-ой группы. Дозировка велась на 2 и 3 группах дозаторов.

- комплектный щит с размещенным в нем СД-01 (ЩКУ-Д).
- терминальный комплекс в части сервера АСУ ТП ДО-3.

4Этап – работа в полном объеме.

Следует особо отметить, что комплексная отладка ПМО среднего и верхнего уровней на объекте без остановки работы дозирочного отделения была возможна только благодаря использованию возможности СД-01 по работе в автономном режиме (отгрузка заданной навески или работа с заданной производительностью), при этом СД-01 обеспечивала и учет расходующих шихтовых материалов.

По окончании выполнения работ АСУ ТП ДО-3 цеха №1 на базе дозаторов ДВЛ-Н обеспечивает:

1. Автоматическое дозирование шихтовых материалов по заданной рецептуре, включающей в себя до 18 компонент шихты, с обеспечением метрологических характеристик (0.5 – 1% относительной погрешности) в режимах: «поддержание соотношений веса компонент, заданных в рецепте», и «отгрузка добавочных весов компонент».
2. Возможность автоматической и ручной коррекции рецепта по влажности, составу сырья и т.п.
4. Автоматический контроль состояния транспортного оборудования тракта шихтоподачи.
6. Обеспечение АРМ контроля, управления и сигнализации в составе:
 - резервированной панели управления в помещении дозировки;
 - блоки задания параметров (БЗП-08), для ручного управления дозаторами;
7. Задание рецептуры:
 - с одного из терминалов контроля, управления и сигнализации,
 - с верхнего уровня управления цеховой информационной системы.
8. Наличие встроенной системы диагностики оборудования и самодиагностики программно-технического комплекса АСУ ТП технологической линии
9. Обеспечение режимов работы:
 - автоматический (рецепт\полуавтомат\добавка);
 - ручной;
 - местный.
10. Управление отдельными подсистемами дозирования в соответствии с заданным режимом работы (местный, ручной и автоматический).
11. Формирование, хранение архивов заданной глубины и вывод на печать отчетов по расходу и соотношению компонент шихты для печей.
12. Обеспечение взаимодействия оператора дозировки с системой и визуализация, предоставляющая оператору возможность получить полную картину по состоянию системы в виде двух терминалов Magelis.
13. Устройство аварийной сигнализации, охватывающее всю систему и гибкая, настраиваемая противоаварийная защита, позволяющая осуществлять контроль процесса дозирования, обработку аварийных ситуаций, формирование блокировок и сигнализаций на экране панели оператора.
14. Обеспечение диагностических, наладочных, метрологических процедур по определению состояния системы.
15. Сохранение данных в базе данных (БД) с системой управления БД (СУБД), поддерживающей стандартный язык запросов SQL.
16. Регистрация текущего состояния системы, формирования и хранение на сервере архивов о работе системы, отчетов о результатах работы.
17. Обмен информацией через сервер системы с цеховой информационной системой.
18. Предусмотрена возможность расширения функций сервера при подключении аналогичных систем дозирования для других печей.
19. Обеспечение возможности дальнейшего развития системы для адаптивного управления конвейерной системой и загрузкой шихты в загрузочные карманы печей №№15,16.

Внедрение данной системы в настоящее время показало следующий результат:

1. Исчезла необходимость в использовании вибропитателей, частый износ которых приводил к снижению производительности дозатора и системы в целом, что позволило исключить самотек шихтовых материалов из накопительного бункера.
2. Увеличилась скорость подачи шихты в 3 раза, по сравнению с прежней системой дозирования. Уменьшилось время выхода на заданный режим дозирования до 1 минуты.
3. Появилась возможность быстрой загрузки соответствующей шихтой двух печей.
4. Обеспечивается точность поддержания соотношения компонент от 0,5 до 1 % при дозировании согласно указанным требованиям.
5. В конструкции дозатора отсутствуют подающие лотки, приводящие к налипанию шихты. В результате система позволила увеличить скорость подачи шихты в 2 раза относительно непрерывных дозаторов 4195 Пр. и в 3 раза относительно порционных 4312 Д1.
6. Обеспечивается надежная работа оборудования за счет трехуровневой иерархии, что обеспечивает естественное резервирование функций управления.
7. Осуществляется полный контроль работы устройств системы дозирования и тракта шихтоподачи.
8. Улучшились условия работы обслуживающего персонала, вследствие сведения к минимальным значениям уровня шума и запыленности в рабочей зоне дозаторов.
9. Обеспечивается возможность коррекции дозирования шихты по влажности восстановителя, используя данные по влажности, указанные в сертификатах поставщика. Коррекция по влажности позволяет более точно определять соотношения восстановителя к руде и снизить удельный расход восстановителя.
10. Существенно повышена контролируемость хода технологического процесса дозирования и стабильность параметров технологического процесса выпуска ферросплавов, что приводит к значительному снижению организационно-технических издержек.

Система обладает широкими возможностями и позволяет при дооснащении дополнительным оборудованием, в целях развития системы, решить следующие проблемы:

1. Составление технологом задания навесок компонент шихты с автоматическим учетом влажности при наличии достоверных данных о процентном содержании основного компонента в руде. При подключении анализаторов содержания основного компонента и анализаторов влажности восстановителя система способна автоматически производить коррекцию их соотношений, при этом будет уходить минимальное количество основного компонента в шлак, не потребуется дополнительное его восстановление, что приведет к снижению себестоимости выпускаемой продукции на 3-4 % за счет сокращения норм удельного расхода электроэнергии, сырья, восстановителя.
2. Автоматическое управление конвейерной системой и загрузкой шихты в загрузочные карманы печей №№15,16. Устройства плавного пуска и регулирования скоростями конвейеров позволят сократить потери на их эксплуатацию и расход электроэнергии.
3. Дополнительное подключение к серверу двух аналогичных адаптивных систем автоматического дозирования для других печей цеха.
4. Контроль работы транспортных систем ЦПШ. Внедрение автоматизированной системы в ЦПШ позволит устранить ошибки загрузки накопительных бункеров дозаторов, приводящие к смешению компонент.

Следует особенно отметить большую заинтересованность в результатах выполнения работ со стороны руководства компании «ТНК «Казхром» и Аксуского завода ферросплавов, лично господина Святова Б.А., что позволило обеспечить минимальные сроки внедрения проекта.

Работа над данным проектом, особенно в части постановки задач, сопряжения механики, разработки алгоритмов и информационного обеспечения, осуществлялась при тесном сотрудничестве специалистов НПП «Томской электронной компании», ЗАО Сибтензоприбор и Управления автоматизации и связи Аксуского завода ферросплавов. Особенно следует отметить

активное участие в реализации проекта со стороны АЗФ Литвинчука С.Н., Плетнева А.В., Растрепенина С.А., Лыско В.О. и других. А также при внедрении системы сильное влияние на положительный результат оказало дружественное отношение к системе со стороны оперативного персонала.

Более подробно информация, касающаяся частных аспектов разработанных решений, раскрывается дальше по тексту в соответствующих разделах статьи.

2. Дозатор весовой ленточный (ДВЛ-Н)

2.1 Принцип действия дозатора весового ленточного (ДВЛ-Н) основан на автоматическом поддержании заданной весовой производительности путем измерения нагрузки от материала на ленте весового транспортера и регулирования скорости движения ленты. Данный тип дозаторов, ДВЛ-Н, выпускается ЗАО «Сибтензоприбор», по техническим параметрам соответствующий требованиям ГОСТ 30124-94 и имеющий сертификаты соответствия RU.C.28.007.A № 10205 и KZ.02.02.00130-2002/21353-01 №962.

В состав дозатора типа ДВЛ входит:

а) Ленточный весовой конвейер оборудованный; весовым столом с датчиком ДСТ; датчиком скорости движения ленты; приводным мотор редуктором с асинхронным двигателем; загрузочной формирующей воронкой, с регулируемым шибером или питателем, работающим с постоянной скоростью.

б) Система управления дозатора.

При дозировании материалов возникает необходимость решения ряда задач.

Одной из таких задач является выдача определенного количества материала с заданной точностью.

Другая задача состоит в выравнивании потока материала, перемещаемого ленточным конвейером, весы которого определяют фактический расход и дают сигнал на добавку материала.

Еще одной задачей является образование постоянной по весу шихты с неизменным соотношением отдельных компонентов. При этом нередко необходимо получение сигналов, пропорциональных суммарному расходу всех компонентов смеси.

Следующая задача состоит в образовании колеблющегося потока шихты при неизменном соотношении компонентов.

Самостоятельная проблема — обеспечение заданного расхода плохо выгружаемых материалов. В общем виде она состоит в обеспечении выражения

$$\int_{t_i}^{t_i+\Delta t} Q(t) \cdot dt - \int_{t_i}^{t_i+\Delta t} Q_{зад}(t) \cdot dt \leq \Delta$$

где: $Q(t)$ - расход за интервал времени, $t_i - (t_i + \Delta t)$; $Q_{зад}(t)$ - заданное значение расхода; Δ - погрешность дозирования.

В конструкции дозатора ДВЛ-Н применено весовое устройство с одной роликоопорой установленной в виде параллелограмма из четырех плоских струнок на тензодатчик 4162 ДСТ, консольного типа. (см. Рис.6) Функцию грузоприемного устройства весов выполняет часть ленточного конвейера дозатора ДВЛ-Н.

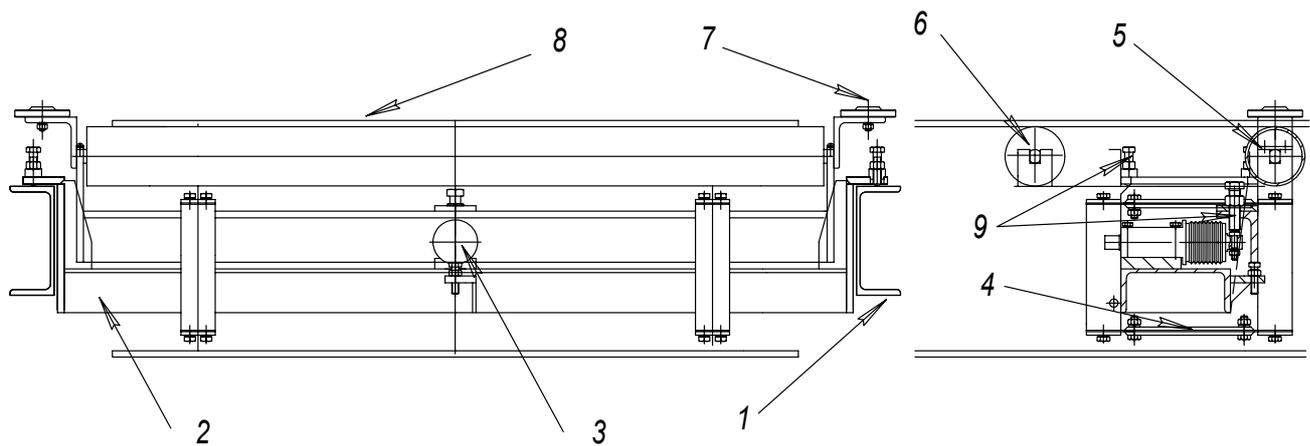


Рис.6 - Грузоприемное устройство ДВЛ-Н:

- 1— рама конвейера; 2- ГПУ; 3- тензодатчик 4182 ДСТ; 4- плоские струнки;
 5- весовой ролик; 6- ролик конвейера; 7- площадка для размещения контрольных грузов;
 8- конвейерная лента; 9- регулирующие элементы.

На процессы измерения суммарной массы и накопления погрешности оказывает существенное влияние «участок взвешивания» L и «участок влияния» $L_{в.л.}$. Участком взвешивания L называют расстояние, равное сумме расстояний между осями весового ролика и ближайшими роликоопорами конвейера. «Участок влияния» равен сумме участка взвешивания и 4-х кратного расстояния между роликоопорами конвейера l . (см. Рис.7)

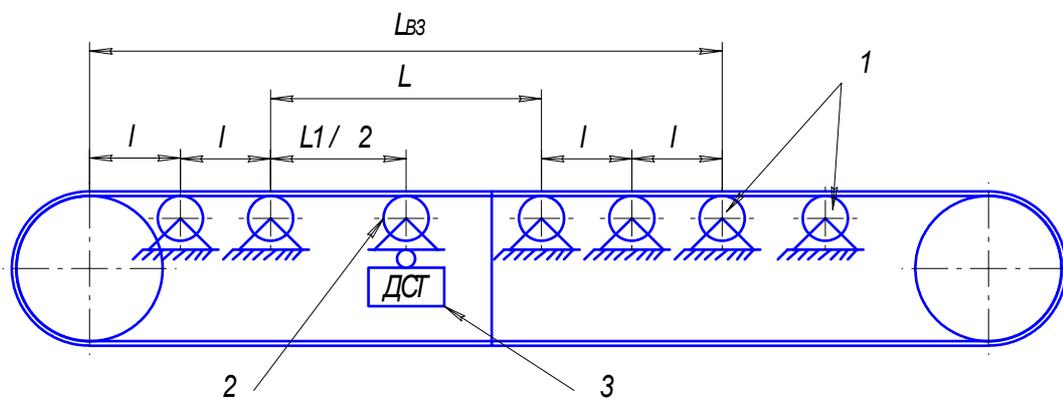


Рис.7 - Участок взвешивания ДВЛ-Н:

- 1 - роликоопоры конвейера; 2 - весовая роликоопора; 3 - весовая платформа

2.2 Описание работы дозатора ДВЛ-Н

Дозатор ДВЛ-Н состоит из ленточного конвейера и системы дозирования СД-01. Конвейер обеспечивает перемещение материала от места загрузки в зону разгрузки. На нем смонтированы грузоприемное устройство, датчики скорости, датчик шва, датчики схода ленты, которые являются составляющими системы дозирования СД-01. Она обеспечивает измерение массы перемещенного материала и поддержание заданной производительности. (см. Рис.8)

Принцип действия дозатора основан на непрерывном взвешивании дозируемого материала с помощью грузоприемного устройства, встроенного в весовой конвейер, и обеспечении постоянства производительности изменением скорости движения конвейерной ленты.

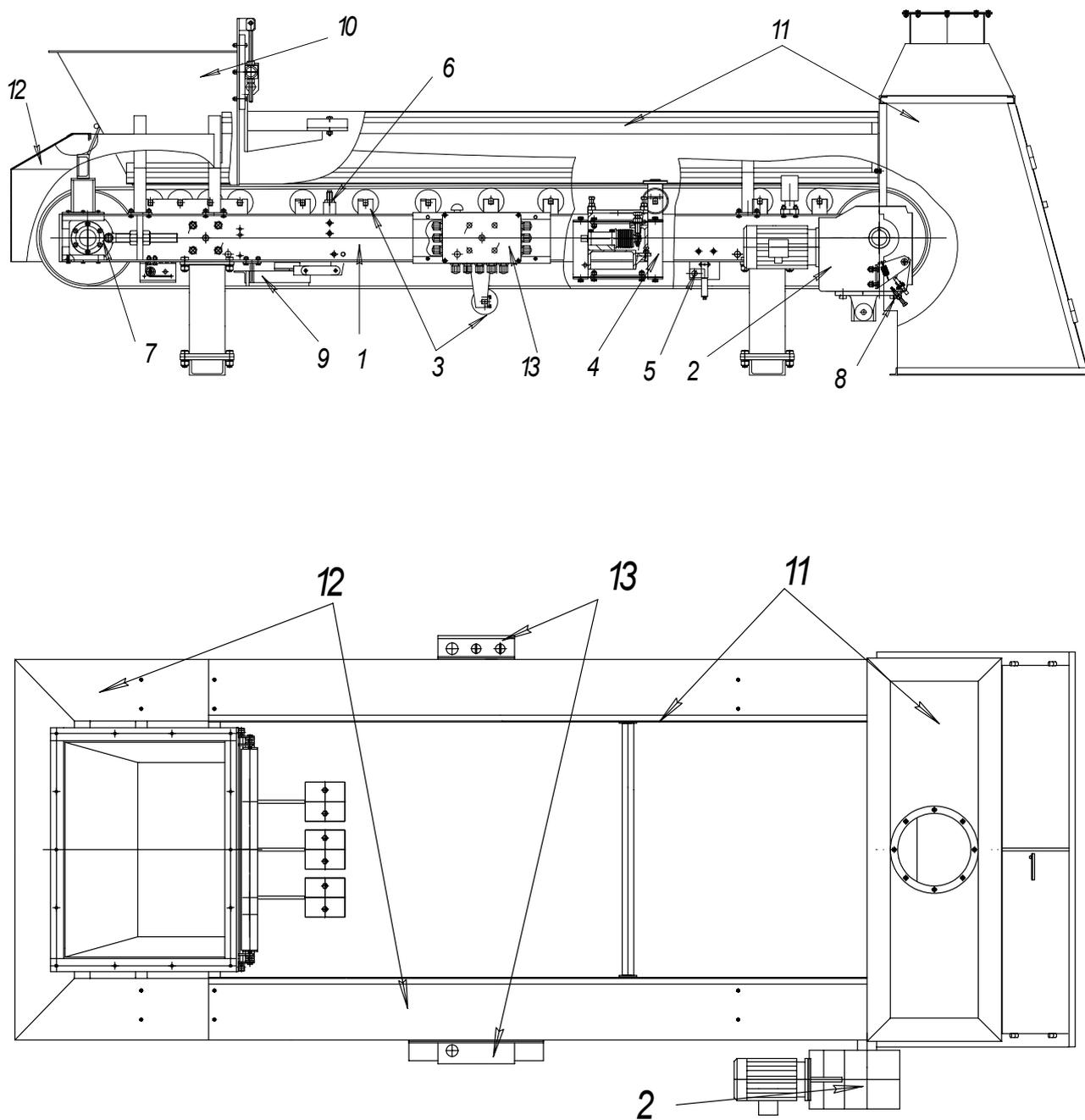


Рис.8 - Дозатор весовой непрерывного действия ДВЛ-Н. Конвейер весовой ленточный:

1- рама конвейера; 2- приводной барабан с мотор- редуктором; 3- несущие и поддерживающие ролики; 4- грузоприемное устройство; 5- датчик схода ленты; 6- датчик оборота ленты; 7- оборотный барабан с устройством натяжения ленты; 8- очиститель верхней ветви ленты; 9- очиститель нижней ветви ленты; 10- формирующая воронка с регулируемым шибером; 11- борта с аспирационным кожухом; 12- защитный кожух; 13- пост местного управления; 14- датчики скорости и проскальзывания установлены на приводном и оборотном барабанах.

Указанные функции осуществляются следующим образом. При работающем конвейере материал, через формирующую воронку, непосредственно из расходного бункера подается на ленту

конвейера дозатора, на весовом участке, расположенном непосредственно перед линией сброса материала, происходит его взвешивание. Вес материала на движущейся ленте воздействует через ролик грузоприемного устройства на тензометрический датчик. Электрические сигналы тензодатчика и датчика скорости ленты в системе дозирования преобразуются в соответствующие физические величины, а затем в погонную нагрузку и в конечном счете в производительность. Таким образом, регулирование производительностью осуществляется непосредственно на линии сброса материала с конвейера дозатора. Формирующая воронка имеет регулируемый шибер, который позволяет регулировать погонную нагрузку материала на ленте конвейера дозатора. Совместное изменение погонной нагрузки и скорости конвейера позволяет осуществлять глубину регулировки производительность 1:10.

На ленточном дозаторе определение текущего веса осуществляется на участке взвешивания (весовой стол).

Для ленточного дозатора показания НСХ входного сигнала $U_{вxi}$ ДСТ в показания веса в i -момент времени P_i , соответствует:

$$P_i = P_{ni} - P_{ли} \quad (1)$$

где P_{ni} – полный вес i -участка взвешивания, измеренный в i -момент времени:

$$P_{ni} = P_k \frac{U_{вxi} - U_{вх}}{U_{вхн} - U_{вх}} \quad (2)$$

где $U_{вх}$ – входной сигнал с ДСТ, измеренный в режиме ‘калибровка’ при отсутствие груза и ленту на дозаторе;

$U_{вхн}$ – входной сигнал с ДСТ, измеренный в режиме ‘калибровка’ при установленном на дозаторе грузе весом P_k ;

$P_{ли}$ – вес i -участка ленты, измеренный в режиме ‘калибровка’ при прогоне пустой ленты на дозаторе и определённый по формуле (2). Отсчёт i -участков ленты привязан к сигналу с датчика шва.

Для весов и дозатора НСХ преобразования входного сигнала с импульсного датчика скорости ведомого барабана дозатора в показания скорости в j -момент времени соответствует:

$$V_j = \frac{3.14 \cdot D_{ведом}}{N_{об} \cdot T_{измj}} \cdot N_j \quad (3)$$

где $D_{ведом}$ – диаметр ведомого вала (паспортные данные);

$N_{об}$ – количество импульсов датчика скорости на один оборот ведомого вала (паспортные данные);

N_j – число импульсов с датчика скорости, измеренное за время $T_{измj}$.

Для дозатора НСХ преобразования входных сигналов в показания производительности в i -момент времени Q_i , соответствует:

$$Q_i = q_i \cdot V_j \quad (4)$$

где q_i – линейная плотность дозируемого (взвешиваемого) продукта, находящегося на ленте дозатора в i -момент времени, определяемая по формуле:

$$q_i = \frac{P_i}{L_{эф}} \quad (5)$$

где $L_{эф}$ – длина весового стола (паспортные данные),

P_i – текущий вес i -участка взвешивания, определяемый по формуле (1),

V_j – текущая скорость ленты, определяемая по формуле (3) и измеренная в j -момент сброса i -участка взвешивания с дозатора.

Для дозатора НСХ преобразования входных сигналов в показания массы M_d за период времени, соответствует:

$$M_d = \int_{T_0}^{T_1} q_i \cdot \Delta L dt \quad (6)$$

где ΔL – путь пройденный лентой за время Δt ,

T_0, T_1 – соответственно начальный и конечный моменты времени измерения массы.

Для дозатора НСХ преобразования входного сигнала с задатчика производительности $H_{зад}$ в величину задания производительности $Q_{зад}$ соответствует:

$$Q_{зад} = Q_{нпп} \cdot \frac{H_{зад} - H_n}{H_v - H_n} - Q_{нмпп} \quad (7)$$

где H_n, H_v - соответственно нижняя и верхняя границы входных сигналов с задатчика производительности, соответствующие $Q_{нпп}$ и $Q_{нмпп}$;

$Q_{нпп}, Q_{нмпп}$ - соответственно наибольший предел производительности и наименьший предел производительности задаются в памяти пользователя системы управления дозатором.

Для дозатора НСХ формирования выходного сигнала управления вибропитателем $U_{вых.ц.ап}$ в зависимости от текущего значения скорости (V_j), соответствует:

$$U_{вых.ц.ап} = Q \cdot \frac{H_{зад} - H_n}{H_v - H_n} - Q_{нмпп} \quad (8)$$

где $U_{уп}$ - управление питателем, диапазон 0 – 100%, задается в памяти пользователя системы управления дозатором,

$V_{ном}$ - заданная номинальная скорость ленты.

$K_{уп}$ - коэффициент управления питателем, диапазон 0 – 6,5535, задается в памяти пользователя системы управления дозатором.

Для весов НСХ преобразования входных сигналов в показания скорректированной линейной плотности q_k материала в i -момент времени

$$q_k = \frac{P_i}{L_{эф}} \cdot K \quad (9)$$

где K - коэффициент приведения значения q_k к единицам измерения в кг/м задается в памяти пользователя системы управления дозатором.

При выпуске дозатора из производства производится статическая и динамическая его поверка в соответствии с методикой поверки «Дозаторы весовые непрерывного действия» утвержденной ГЦИ СИ СНИИМ. При статической поверке грузоприемное устройство конвейера при неподвижной ленте нагружается калибровочными грузами. Проверяется соответствие массы груза показаниям приборов. При динамической поверке при включенном приводе на движущуюся ленту на участок взвешивания накладывается и фиксируется специальный калибровочный груз на вращающихся роликах. Фактическая масса калибровочного груза и показания приборов обрабатываются. Результаты поверки заносятся в паспорт изготовленного изделия.

После поверки (калибровки) дозатора, на месте эксплуатации, калибровочной цепью проводится контрольный отвес материала, с целью определения коэффициента, снижающего производительность. (коэффициент k зависит от физико-механических свойств материала, эластичности и упругости ленты, от изменения нагрузки давящего столба материала и т.д.).

Усредненное значение отвеса материала сравнивается с показанием заданного значения отвеса, разность данных значений является коэффициентом k .

2.3 Определение метрологических характеристик

Поверка метрологических параметров производится по ГОСТ 8.469 «Дозаторы весовые непрерывного действия. Методы и средства поверки» путем отбора контрольных проб, не менее 3, продолжительностью отбора каждой пробы $6 \pm 0,25$ минут, с последующей перевеской проб на весах для статического действия с погрешностью измерения не менее чем в 3 раза меньшей, чем погрешность дозатора.

Контроль метрологических параметров ленточных весовых дозаторов в процессе эксплуатации производится методом отбора контрольных проб в интервалах времени, оговоренных в технологических инструкциях данного производства.

Существует несколько способов проверки метрологических параметров в процессе эксплуатации:

- Установка расходного бункера на тензометрические датчики, что позволяет производить поверку дозатора без прерывания технологического процесса, сравнивая показания дозатора с уменьшением массы материала в расходном бункере. Одновременно осуществляется контроль уровня материала в расходном бункере.
- Прием материала с дозатора в бункерные весы в определенный промежуток времени. Фактическая производительность рассчитывается из веса принятого материала и времени отбора пробы, и сравнивается с текущей производительностью дозатора. Недостаток данного метода – прерывание непрерывности технологического процесса и, при необходимости, возврат пробы расходный бункер.

Для проведения оперативной оценки метрологических параметров и проведения калибровки в процессе эксплуатации весовых дозаторов непрерывного действия была разработана следующая методика.

Метрологические характеристики дозатора определяют косвенным методом путем наложения имитационного груза на участок взвешивания дозатора по центру транспортной ленты (см. Рис.9) и снятия показаний с сумматора массы контрольной пробы, имитируемой калибровочным грузом за время $6 \pm 0,25$ мин. Имитацию суммарной массы контрольной пробы проводят трехкратно.

При последнем наложении калибровочного груза на дозатор имитацию изменения объёмной массы материала в процессе формирования слоя производят путём кратковременного наложения/снятия эталонных гирь на площадку для их установки не менее 5 раз за время отбора контрольной пробы. Масса налагаемых гирь должна быть не более 10% от массы калибровочных грузов.

Действительное значение времени отбора контрольной пробы определяют с помощью секундомера с погрешностью не более $1/5$ предела допускаемой погрешности дозаторов.

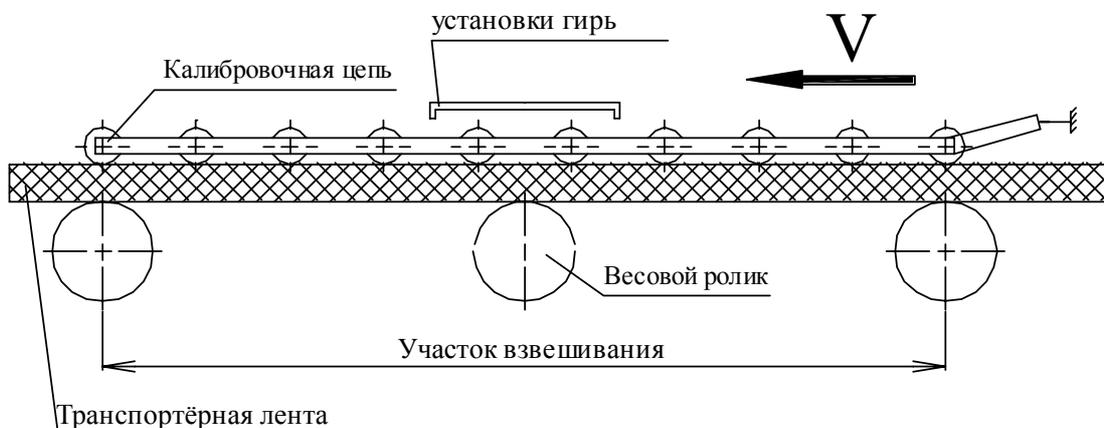


Рис.9 - Схема установки калибровочной цепи

Действительное значение имитационной массы контрольной пробы определяют по показаниям цифрового индикатора суммирующего устройства системы управления.

Значение приведённой погрешности δ , %, дозатора определяют по формуле:

$$\delta = \frac{Q_3 \cdot T - 60 \cdot G}{Q_{\text{нпп}} \cdot T} \cdot 100,$$

где: Q_3 – заданное значение производительности, вводимое в систему управления кг/ч;

T – действительное значение времени, мин;

G – действительное значение имитационной массы за 6 мин, кг по показаниям сумматора;

$Q_{\text{нпп}}$ – значение наибольшего предела производительности, кг/ч.

Значение приведенной погрешности, определенное по формуле, для каждой имитационной пробы не должно превышать значений пределов допускаемой погрешности дозаторов, указанных в технической документации на данные дозаторы.

В случае несоответствия указанным пределам допускаемой погрешности производится регулировка и калибровка дозатора, после чего производится повторная проверка метрологических характеристик.

3. Описание структурной схемы АСУ ТП

АСУ ТП ДО-2 была построена по структурной схеме, приведенной на рисунке 2 и состоит из (см. Рисунок 3):

- Трёх щитов управления дозаторами (ЩКУ-Д);
- Щита управления АСАД (ЩКУ-А);
- Мнемосхемы подачи шихты (МПШ);
- Терминального комплекса (включая шкаф для установки принтера ЩКУ-П, рабочее место оператора);

Каждый ЩКУ-Д состоит из двух шкафов, каждый из которых, в свою очередь, состоит из трех систем управления весовым дозатором непрерывного действия СД-01.

СД-01 включает в себя:

- Микроконтроллер дозирования (МКД);
- Блок задания параметров (БЗП-08);
- Частотный преобразователь SJ100 фирмы Hitachi;
- Системы питания датчиков.

На двери каждого шкафа для каждой подсистемы дозирования расположены мнемосхема, панель местного управления (ПМУ) и блок задания параметров СД-01. Мнемосхема выполняет индикацию текущего состояния оборудования дозатора и подсистемы дозирования. Закрытое состояние передней и задней дверей шкафа контролируется и регистрируется в системе, а также индицируется на мнемосхеме щита дозатора. Конструктивно каждый ЩКУ-Д выполнен в виде двух автономных закрытых шкафов.

Конструктивно ЩКУ-А представляет собой автономный закрытый шкаф и состоит из программируемого логического контроллера Quantum фирмы Modicon, СГЭП, поста управления АСАД, модулей сигнализации для управления мнемосхемой шихтоподачи. На двери щита расположен пост управления АСАД. Закрытое состояние передней и задней дверей шкафа АСАД также контролируется и регистрируется в системе, а также индицируется на панели управления щита АСАД. Доступ к оборудованию, расположенному в шкафу АСАД регламентирован посредством процедуры "деблокирования" с панелей управления Magelis.

Программируемый логический контроллер имеет следующие параметры:

- Процессор (140-CPU-434-12A);
- Дискретные входы (96 шт.) – три блока по 32 входа (140-DDI-353-00);
- Дискретные выходы (64 шт.) – два блока по 32 выхода (140-DDO-353-00);
- Аналоговые входы (8 шт.) – блок (140-AVI-030-00).

Мнемосхема подачи шихты (МПШ) представляет собой информационное табло, отражающее реальное текущее состояние оборудования конвейеров шихтоподачи и оснащена средствами проверки единичных индикаторов.

Терминальный комплекс включает в себя шкаф принтера с размещением в нем лазерного принтера, рабочее место оператора дозировки, состоящее из стола оператора дозировщика с электрошкафом для размещения источников питания, двумя панелями оператора Magelis, установленными в корпусе и с SQL-сервер участка с UPS.

Параметры сервера:

- Модель – IBM Server xSeries 232 8668-23G;
- Процессор 2x Intel Pentium III 1,13 Ghz;
- Память – ECC SDRAM 512 MB;
- Жесткий диск ёмкостью 100 Гб.

Сервер и UPS имеют интерфейс обмена между собой для своевременного включения процедуры аварийного останова.

4. Описание алгоритма АСАД

При переключении системы в режим «Автомат» обеспечивается отображение контролируемых параметров работы подсистем в виде цифровых табло и графических трендов. Сигнализирующих цветных табло для индикации аварийных, предельных и нормальных состояний. Пуск и останов процесса подачи шихты.

В основном режиме «Автомат» система ожидает запуска. По нажатию клавиши «Пуск» происходит запуск алгоритма контроля работы дозаторов.

Основной принцип контроля работы дозаторов:

1. Целесообразно задавать как минимум два уровня отклонения и учитывать данные наличия материала на ленте системы дозирования. Верхнюю и нижнюю границы отклонения от заданной погрешности и границы отклонения от порогового уровня;
2. На протяжении временного интервала, получая данные от всех участвующих в работе систем дозирования, накапливаем погрешность отклонения от заданной производительности для каждой системы:
 - 1) В случае получения данных об отсутствии материала на одной из систем дозирования, участвующих в процессе работы остальные системы дозирования устанавливаются в режим ожидания, при появлении материала процесс подачи шихтовых материалов возобновляется с учетом соблюдения пропорции.
 - 2) В случае отклонения производительности от граничного отклонения, коррекция производительности для всех систем производится незамедлительно. В противном случае, если отклонение от производительности укладывается в допустимые граничные отклонения, осуществляется переход к следующему (3) пункту проверки и коррекция производительности для данной системы дозирования производится в соответствии с условиями следующего (3) пункта.
 - 3) В случае отклонения производительности от заданной погрешности, в нашем случае $\pm 1\%$, коррекция производительности для данной системы производится незамедлительно (см. Рис.10). В противном случае, если отклонение от производительности укладывается в допустимую погрешность дозирования ($\pm 1\%$), коррекция производительности для данной системы дозирования не производится.

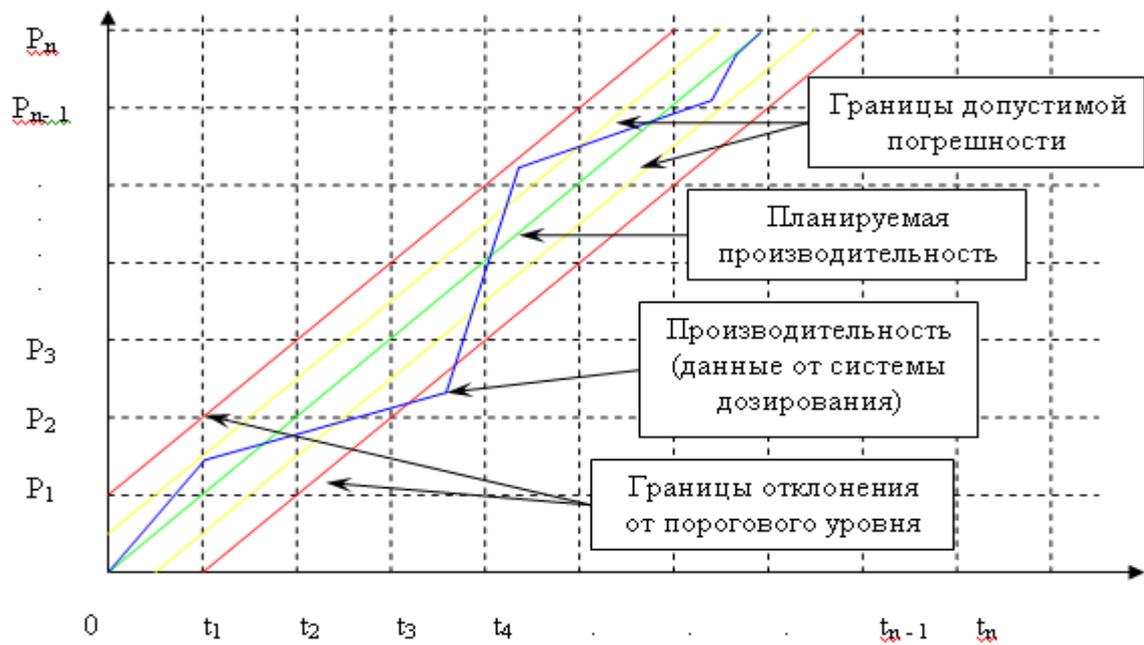


Рис.10. Пример алгоритма коррекции (вариант 1)

На Рис.11 приведен пример работы алгоритма коррекции для двух дозаторов.

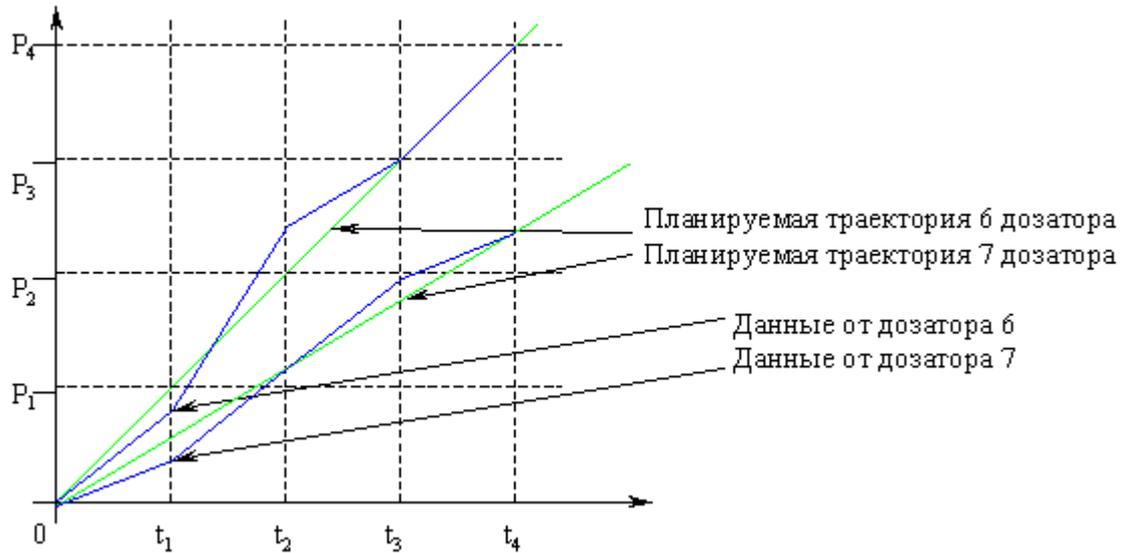


Рис.11. Алгоритм коррекции (фрагмент для 2-х дозаторов)

5. Описание человеко-машинного интерфейса

В качестве Панели Оператора используется терминал MAGELiS типа ХВТ-F024310 (Рис.12), представляющий собой устройство ввода и отображения информации. Терминал MAGELiS реализует следующие функции:

- отображение состояния системы QUANTUM;
- ввод данных в систему QUANTUM;
- вывод отчетов на принтер;
- вывод аварийных сообщений;
- управление звуковой сигнализацией.

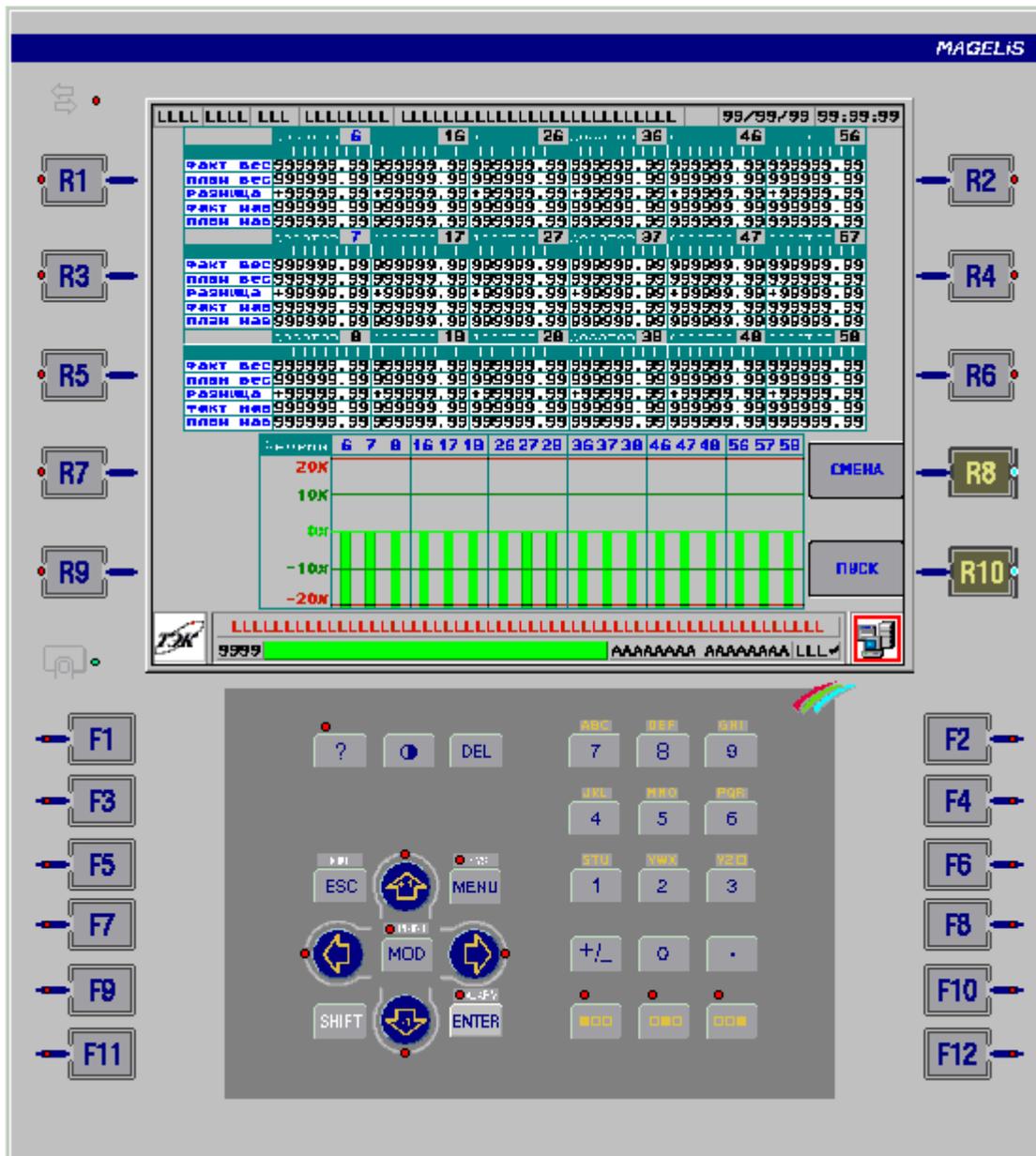


Рис.12.Панель Оператора MAGELiS

Органы управления терминала включают в себя:

- динамические функциональные клавиши;
- статические функциональные клавиши;
- цифровые клавиши;
- системные клавиши;

Расположение органов управления терминала показано на Рис.13.

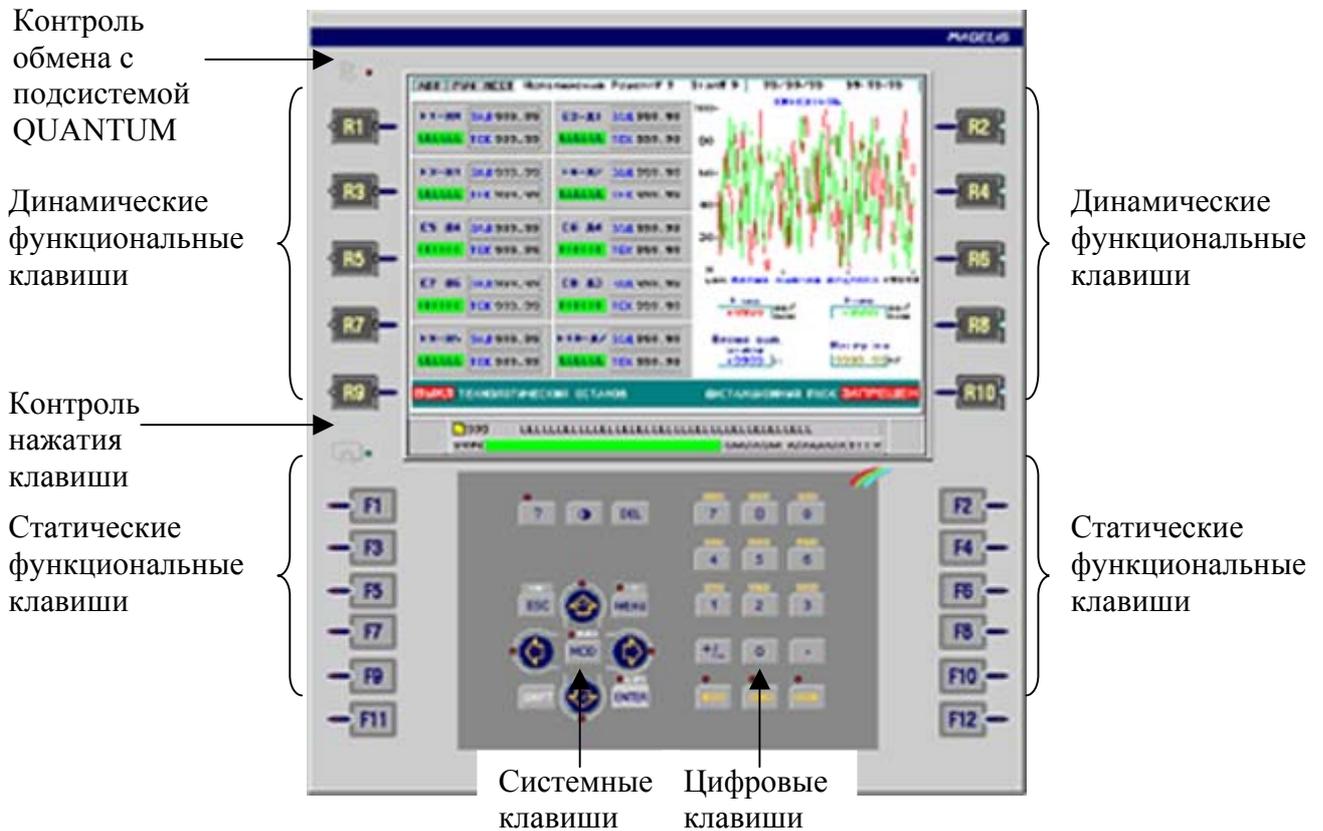


Рис.13.Органы управления терминала

Динамические и статические функциональные клавиши и клавиши управления курсором снабжены индикатором. Клавиши, по которым предусмотрены какие-либо действия, подсвечиваются непрерывно горящим или мигающим индикатором.

Динамические функциональные клавиши:

10 клавиш расположены справа и слева от экрана и обозначены R1 ... R10 . Назначение данных клавиш определяется отдельно для каждой рабочей или системной страницы. Клавиши, которые являются в данный момент активными, подсвечены красным индикатором.

Статические функциональные клавиши:

12 клавиш расположены под динамическими функциональными клавишами. Назначение данных клавиш фиксировано вне зависимости от режима работы терминала или текущей страницы:

Клавиши, которые являются в данный момент активными, подсвечены красным индикатором.

Человеко – машинный интерфейс реализованный на ДО-3 цеха №1 состоит из таких видеogramм как:

Видеограмма – «ГЛАВНОЕ МЕНЮ»,
Видеограмма – «ДОЗИРОВКА»,
Видеограмма – «ЗАДАНИЕ НАВЕСКИ»,
Видеограмма – «СИСТЕМА»,
Видеограмма – «УСТАНОВКА ВРЕМЕНИ»,
Видеограмма – «ДИАГНОСТИКА ПИ-03М»,
Видеограмма – «ДИАГНОСТИКА МОДУЛЕЙ»,
Видеограмма – «ДИАГНОСТИКА ПРОЦЕССОРА»,
Видеограмма – «НАИМЕНОВАНИЕ КОМПОНЕНТ»,
Видеограмма – «УПРАВЛЕНИЕ ДОЗАТОРОМ»,
Видеограмма – «ЗАДАНИЕ ДОБАВКИ»,
Видеограмма – «ОТЧЕТЫ»,
Видеограмма – «ОТЧЕТЫ ПО ПОДАЧЕ»,
Видеограмма – «ОТЧЕТ СМЕНЫ НАИМЕНОВАНИЯ КОМПОНЕНТ»,
Видеограмма – «ОТЧЕТЫ ЗА СМЕНУ/СУТКИ»,
Видеограмма – «РЕЦЕПТЫ»,
Видеограмма – «ДОЗАТОРЫ»

Описание основных видеogramм приводится далее по тексту.

Видеограмма – «Дозировка»

Данная видеogramма предназначена для запуска и наблюдения за процессом выполнения дозирования. Каждый дозатор, в системе, имеет уникальный номер и название компоненты содержащейся в бункере дозатора. Оператору предоставлена возможность отслеживать в режиме реального времени фактический вес – значение читается непосредственно с «СД – 01»¹ каждого дозатора, плановый вес – значение рассчитывается системой АСАД² непосредственно для каждого дозатора, разница (%) – процент отклонения от плановой производительности, значение в этом поле может быть как положительным так и отрицательным. Отрицательное значение говорит о том, что дозатор отгружает массу меньше запланированной массы. Положительное – говорит о том, что дозатор отгружает массу больше запланированной массы. Фактическая навеска – количество килограмм материала на одну калошу, значение рассчитывается в режиме реального времени как отношение фактического веса к плановой навеске. «Плановая навеска» – значение задается стационарно с пульта управления оператора либо с АРМ плавильщика.

При старте фиксируется время начала дозирования и начинается отсчет времени работы дозирования.

На данной видеogramме оператор всегда видит номер ведущего дозатора, его текущую производительность и фактическое количество калош отгруженных к данному моменту времени на печи.

По нажатию клавиши «СМЕНА» осуществляется отображение всех вышеописанных параметров дозирования с начала смены.

¹ «СД – 01» – система дозирования

² АСАД – адаптивная система автоматического дозирования

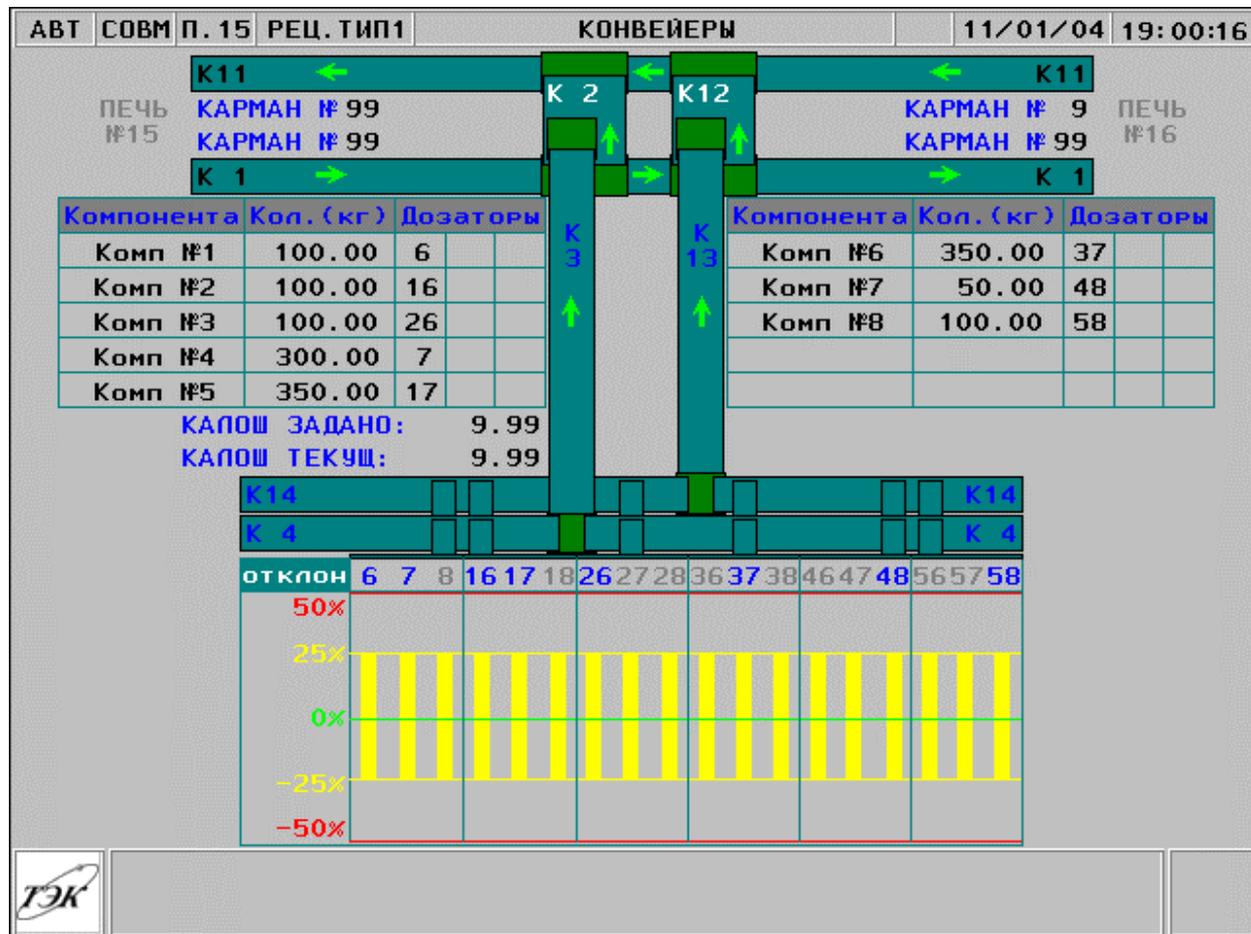
АВТ	СОВМ	П. 15	РЕЦ. ТИП1	ДОЗИРОВКА ПОДАЧА		11/01/04	19:00:16
		дозатор 6	дозатор 16	дозатор 26	дозатор 36	дозатор 46	дозатор 56
		КоксКит	КоксЗар	КоксКит	-----	-----	-----
ФАКТ ВЕС		199.82	200.90	200.05	0.00	0.00	0.00
ПЛАН ВЕС		200.00	200.00	200.00	0.00	0.00	0.00
РАЗНИЦА		-0.09	0.45	0.03	0.00	0.00	0.00
ФАКТ НАВ		99.91	100.45	100.03	0.00	0.00	0.00
ПЛАН НАВ		100.00	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00
		дозатор 7	дозатор 17	дозатор 27	дозатор 37	дозатор 47	дозатор 57
		Р. Кусков	Р. Рядов	-----	Р. Рядов	-----	-----
ФАКТ ВЕС		600.50	699.73	0.00	700.27	0.00	0.00
ПЛАН ВЕС		600.00	700.00	0.00	700.00	0.00	0.00
РАЗНИЦА		0.08	-0.04	0.00	0.04	0.00	0.00
ФАКТ НАВ		300.25	349.86	0.00	350.14	0.00	0.00
ПЛАН НАВ		300.00	350.00	0.00	350.00	0.00	0.00
		дозатор 8	дозатор 18	дозатор 28	дозатор 38	дозатор 48	дозатор 58
		-----	-----	-----	-----	Кварцит	Песок. об
ФАКТ ВЕС		0.00	0.00	0.00	0.00	100.35	199.99
ПЛАН ВЕС		0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	200.00
РАЗНИЦА		0.00	0.00	0.00	0.00	0.35	-0.01
ФАКТ НАВ		0.00	0.00	0.00	0.00	50.18	100.00
ПЛАН НАВ		0.00	0.00	0.00	0.00	50.00	100.00
		ВРЕМЯ		ПЕЧЬ 15	ПЕЧЬ 16		
		НАЧАЛА		17:15:10	18:00:07		
		РАБОТЫ		: 1:15	: 1:15		
		ВЕДУЩИЙ		ПЕЧЬ 15	ПЕЧЬ 16		
		№ ДОЗАТОРА		17	37		
		ПРОИЗВ-ТЬ		60.00	60.00		
		ПЛАН КАЛОШ		2.00	2.00		
		ФАКТ КАЛОШ		2.05	1.99		



Рис.14.Видеограмма «Дозировка»

Видеограмма – «Конвейеры»

На видеограмме отображается оперативная информация о состоянии работы тракта подачи шихты от систем дозирования до печных карманов, и процент отклонения от заданной производительности систем участвующих в процессе дозирования



КАПОШ ЗАДАНО: 9.99
КАПОШ ТЕКУЩ: 9.99

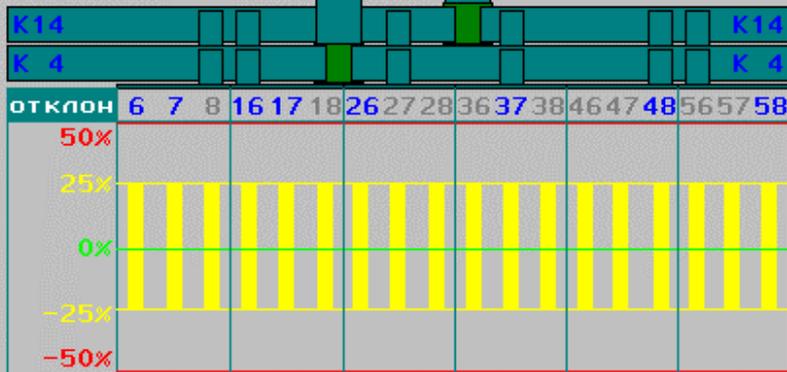


Рис.15.Видеограмма «Конвейеры»

Видеограмма – «Отчеты по подаче»

Данная видеограмма содержит информацию о расходе материала по каждой системе дозирования за одну подачу, в системе предусмотрен архив отчетов (см. Рис.16).

Отчет по подаче П15/П16 хранит данные по каждой системе дозирования участвовавший в процессе подачи. Фиксируется номер системы дозирования, наименование компоненты, фактически отгруженный вес, плановый вес, процент отклонения фактического веса от планового, фактическая навеска – фактическое количество килограмм отгруженных на калошу.

Также на данной видеограмме содержится информация о времени доставки шихты от линии сброса дозатора до печного кармана, отгруженное количество калош за время подачи, время начала подачи, время работы.

АВТ	СОВМ	П. 15	РЕЦ. ТИП1	ОТЧЕТ ПО ПОДАЧЕ П15 №1			11/01/04	19:00:16
ОТЧЕТ ПО ПОДАЧЕ ДЛЯ ПЕЧИ № 15							000000001	
№_	КОМПОНЕНТА	ФАКТ ВЕС	ПЛАН ВЕС	ОТКЛОН	ФАКТ НАВ	ПЛАН НАВ	СИГНАТУРА	
6	Комп №1	199.82	200.00	-0.09	99.91	100.00	209.41	
7	Комп №4	600.50	600.00	0.08	300.25	300.00	209.17	
8								
16	Комп №2	200.90	200.00	0.45	100.45	100.00	209.123	
17	Комп №5	699.73	700.00	-0.04	349.86	350.00	209.54	
18								
26	Комп №3	200.05	200.00	0.03	100.03	100.00	209.41	
27								
28								
36								
37	Комп №6	700.27	700.00	0.04	350.14	350.00	209.17	
38								
46								
47								
48	Комп №7	100.35	100.00	0.35	50.18	50.00	209.123	
56								
57								
58	Комп №8	199.99	200.00	-0.01	100.00	100.00	209.54	
ПРОСМОТР		ЗАД ХВОСТ: 2:00		КАЛОШ: 2.05	ВР НАЧАЛА	ВР РАБОТЫ	СМЕНА	
ОТЧ № 1		ТЕК ХВОСТ: 3:00		РУДА: 699.73	17:15:10	1:15		
								

Рис.16.Видеограмма «Отчеты по подаче»

6. Заключение

Система непрерывного дозирования шихты Д0-3 цеха №1 АЗФ была запущена в промышленную эксплуатацию в полном составе в ноябре 2003г. Отдельные части системы успешно эксплуатируются с января 2003г. Работа системы показала правильность принятых технических решений и жизнеспособность данной системы в условиях реального производства. Заявленные метрологические характеристики подтверждены неоднократными испытаниями. Сотрудники НПП «Томская Электронная компания» и ЗАО «Сибтензоприбор» выражают искреннюю благодарность работникам АЗФ за совместную плодотворную работу по внедрению данной системы в производство, за критические замечания, позволившие добиться более высоких потребительских качеств системы.

7. Литература

1. Весодозирующее оборудование литейных цехов. М., Машиностроения. 1977. – 256с.
2. Весы и весовые дозаторы. Справочник. М., Машиностроение., 1981. – 320с.
3. Гроссман Н.Я. Шнырев Г.Д. Автоматизированные системы взвешивания и дозирования. М.: Машиностроение, 1988. - 296 с.
4. Исакович Е.Г. Весы и весовые дозаторы. Справочная книга метролога. М.: Издательство стандартов. 1991. - 376 с.
5. Погрузо-разгрузочные работы с насыпными грузами. Справочник. М., Транспорт, 1989. – 303с.
6. Полуянов Ю.Л., Гальченко В.Д. Цифровые измерительно - управляющие устройства тензометрических весов и дозаторов. М., Энергоиздат, - 153с.
7. Дозатор весовой непрерывного действия ДВЛ-Н. Руководство по эксплуатации.
8. Дозатор весовой непрерывного действия ДВЛ-Н. Технические условия.
9. Дозатор весовой непрерывного действия ДВЛ-Н. Методика поверки.