

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОМ РЕЖИМОМ ПЛАВКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА «ПЕЧЬ-КОВШ»

Разживин А.В.

Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск

факультет Автоматизации машиностроения

кафедра Автоматизации производственных процессов

e-mail: razzhivin@list.ru

Abstract

Razhivin A.V. System of the automatically control heat cut swimming trunks of the technological complex "stove-scoop". In article is considered methods of the building of the system automatically control heat cut swimming trunks of the technological complex "STOVE-SCOOP" by introduction in base portioned SAC process of the processing the metal.

Постановка задачи. Рассматриваемая в статье методика реализации системы автоматического управления тепловым режимом плавки технологического комплекса «ПЕЧЬ-КОВШ» основывается на встраивании ее в существующие (базовые) системы управления процессом плавки. Современные базовые системы автоматического управления (САУ) комплексами «ПЕЧЬ-КОВШ» представляет собой сложную структуру тесно связанных между собой подсистем управления, контроля и диагностики электрических параметров плавки. Целью функционирования подсистем является регулирование электрического режима плавки с целью поддержания заданного значения мощности подводимой в печь от электрической дуги.

Недостатком таких САУ является отсутствие возможности автоматического контроля температурного режима плавки. Данная операция полностью возложена на металлурга. Металлург, опираясь на свой многолетний опыт, осуществляет корректировку интенсивности нагрева металла путем переключения ступеней напряжения на печном трансформаторе в соответствии с директивным графиком плавки. Контроль интенсивности нагрева и температуры жидкого металла производится путем периодического погружения термопары с промежутком 15-20 минут при потушенной электрической дуге. Такой подход к регулированию температуры иногда приводит к отклонению температуры более чем на $\pm 10^{\circ}\text{C}$, а следовательно к изменению заданных химико-физических свойств и ухудшению качества стали, а также возможности подведения к металлу излишней тепловой энергии от электрических дуг, приводящей к перерасходу электроэнергии.

Из выше сказанного можно сделать вывод, что необходима разработка системы автоматического управления тепловым режимом плавки (САУ ТРП), в задачи которой должно входить поддержание стабильной температуры металла в течение всего восстановительного периода, соблюдение директивного температурного графика плавки, расчет температуры жидкого металла и ее регулирование в периоды ненаблюдаемости.

Основная часть. Разрабатываемая САУ ТРП комплекса «ПЕЧЬ-КОВШ» является встраиваемой в базовую САУ процессом обработки металла и всем технологическим комплексом. Реализация такого технического решения позволит уменьшить экономические затраты и сократить до минимума простой технологического оборудования при внедрении. При встраивании САУ ТРП необходимо выполнить следующие требования:

- базовая система управления не должна быть конструктивно и аппаратно изменена;
- взаимодействия базовой и синтезируемой систем управления должны быть синхронизированы;

Состав оборудования технологического комплекса изображен на рис. 1.

Особенностями технологического процесса (ТП) является: широкий марочный состав сталей машиностроительного назначения, выплавляемых «вперемежку»; строго заказные плавки массой от 28 до 86 тонн, в ковшах емкостью 30, 60 и 90 тонн, для разливки в слитки с последующим вакуумированием; высокие требования к химсоставу и температуре стали (точность поддержания температуры $\pm 10\text{C}^\circ$).

Базовая система автоматического управления организована как человеко-машинная система с оптимальным сочетанием функций, выполняемых автоматически и эксплуатационным персоналом. Процессом плавки управляет квалифицированный сталевар. Управление оборудованием реализовано по технологическим операциям и производится посредством программируемых контроллеров и персональных компьютеров. Технологический процесс визуализируется на мониторе оператора.

Программно-технологический комплекс (ПТК) базовой САУ представляет собой распределенную сетевую двухуровневую конфигурацию на основе Simatic Totally Integrated Automation фирмы Siemens. (см. рис.1). ПТК включает в себя: главный программируемый логический контроллер регулятора мощности на дуге и вспомогательные устройства, выполняющие все функции измерения, управления и регулирования; рабочую станцию сталевара для управления и визуализации технологического процесса. Все оборудование ПТК объединяется в единую сеть промышленными шинами Industrial Ethernet и Profibus. Структура базовой САУ комплексом «ПЕЧЬ-КОВШ» разработана на основе технологии Profibus, определяется принципами работы ПТК и имеет распределенную структуру, является сложным многосвязным объектом с разделением на восемь технологических участков. Каждый участок оснащен измерительными преобразователями и исполнительными органами. В связи с этим внедрение разрабатываемой САУ ТРП в базовую схему САУ целесообразно осуществлять на основе применения промышленной шины Profibus.

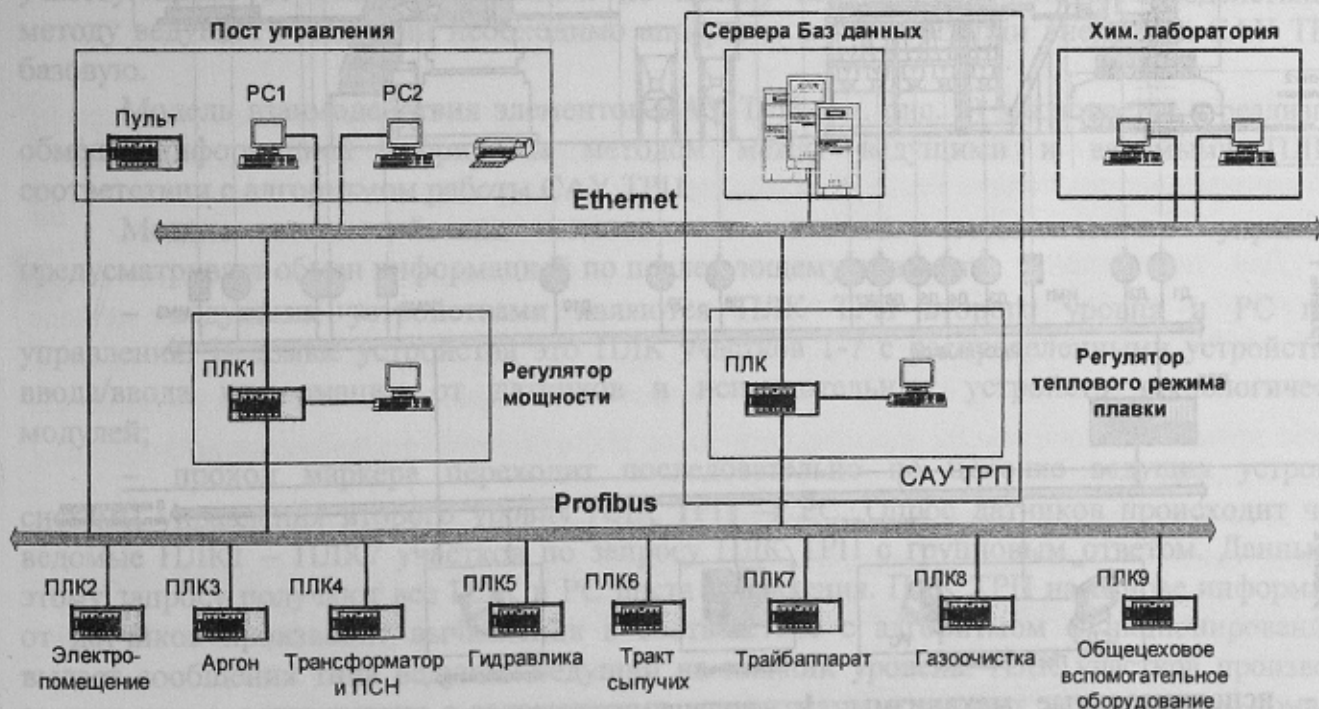


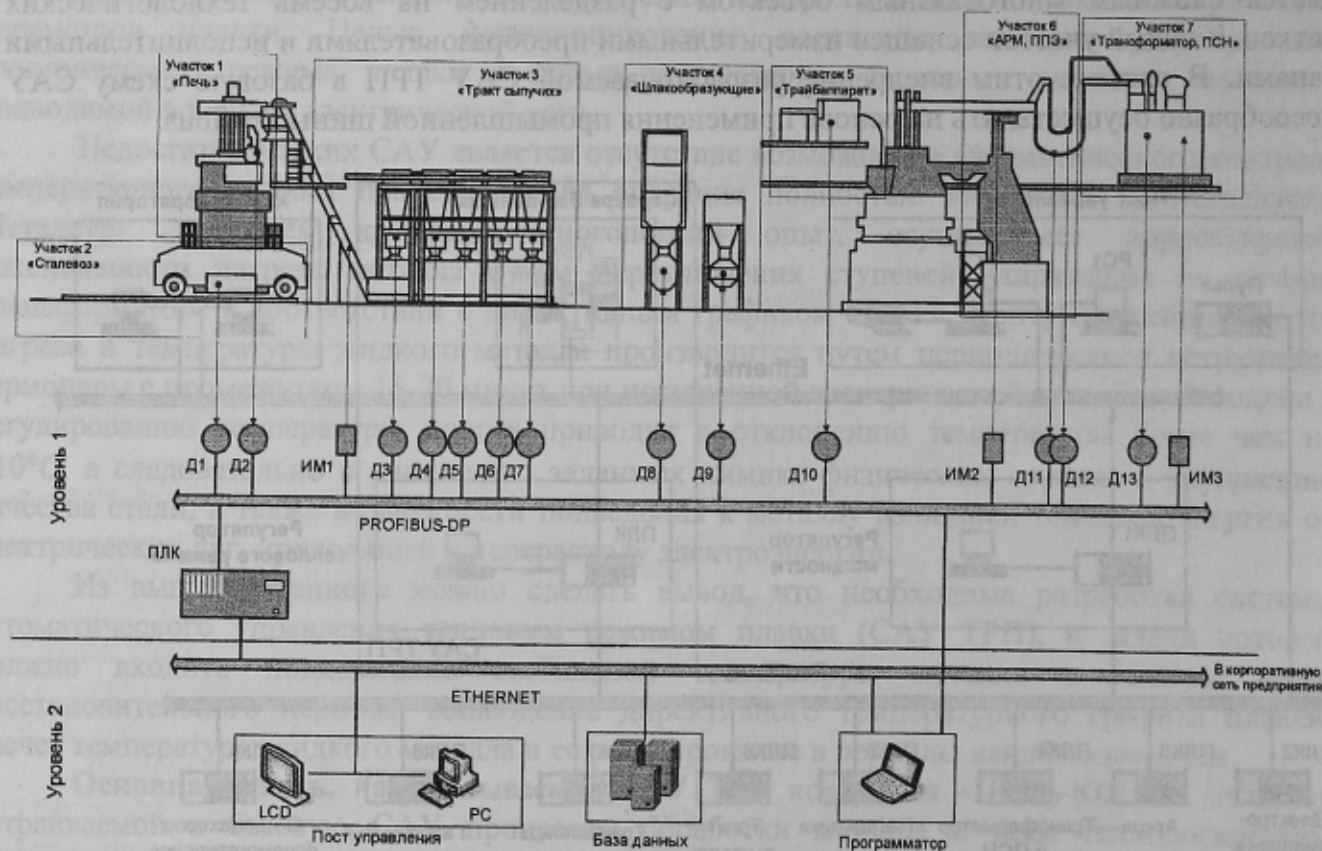
Рисунок 1 - Структурная схема базовой САУ технологическим комплексом «ПЕЧЬ-КОВШ» с внедренной САУ ТРП

Внедрение САУ ТРП не должно повлечь за собой изменения в аппаратной части базовой САУ, а должно расширить ее возможности путем определения и компенсации тепловых потерь, точности поддержания теплового режима [1-3]. Структурная схема базовой САУ технологическим комплексом «ПЕЧЬ-КОВШ» с внедренной САУ ТРП представлена на

рис. 1. Интеграция САУ ТРП в единую распределенную систему управления осуществляется с помощью полевой шины Profibus на нижнем уровне и с помощью шины Industrial Ethernet – на верхнем уровне. С верхнего уровня по сети Industrial Ethernet САУ ТРП организована поддержка сталевара с помощью баз данных.

Управление ТП производится с использованием математической модели электротермического процесса плавки с визуализацией результатов моделирования [1-5]. Исходными данными функционирования САУ ТРП являются параметры, описывающие директивный график процесса плавки, вводимые сталеваром с поста управления, а также параметры текущих значений масс легирующих добавок и металла в ковше, значения напряжения и силы тока на короткой сети, фактической температуры металла, получаемые с измерительных преобразователей базовой САУ. По исходным данным процесса плавки математическая модель САУ ТРП обеспечивает расчет величины интенсивности нагрева и температуры жидкого металла в периоды ненаблюдаемости, выбор оптимальных значений рабочих точек печного трансформатора и эффективное поддержание температурного графика плавки с точностью $\pm 7^{\circ}\text{C}$.

Организация связи ПЛК системы управления тепловым режимом плавки (ТРП) с ведомыми DP-устройствами (датчиками и исполнительными устройствами, ПЛК технологических участков) осуществляется через ПЛК регулятора мощности (РМ) по промышленной шине Profibus. Схематическое представление структурной схемы системы управления тепловым режимом плавки изображено на рис. 2.



ИМ – исполнительные механизмы: 1 – подачи легирующих в печь, 2- перемещения электродов; 3 – переключения ступеней напряжения печного трансформатора; Д – датчики: 1 – веса жидкого металла, 2 – температуры металла, 3-7 – веса легирующих добавок в бункерах; 8,9 – веса шлакообразующих добавок (извести, CaSi), 10 – подачи углеродистой проволоки, 11 – трансформатор напряжения на короткой сети; 12 – трансформатор тока на короткой сети; 13 – номера ступени печного трансформатора.

Рисунок 2 - Структурная схема распределенной САУ ТРП

Наиболее подходящей с точки зрения сложности объекта и распределенной структуры базовой САУ является реализация с аппаратной поддержкой уровня 1 и уровня 2. При технической реализации САУ ТРП по распределенному принципу необходимо учитывать особенности шины Profibus, в частности, временные характеристики. Исследование временных характеристики шины позволяет определить длительность задержек, вносимых реальной системой в каналы управления и измерений с целью оценки их влияния на весь алгоритм управления ПТК. При этом необходимо выяснить:

1. Достаточность длительности опроса измерительных преобразователей для выполнения обмена информацией и необходимых вычислений.

2. Влияние временных задержек, вносимых аппаратной частью базовой САУ на характеристики САУ ТРП.

Для решения поставленных задач разработана модель взаимодействия элементов распределенной системы управления на базе шины Profibus. При реализации САУ ТРП рассматривается архитектура протокола Profibus DP. Анализ архитектуры протокола выявил, что для построения модели взаимодействия элементов распределенной системы управления на базе шины Profibus при реализации САУ ТРП необходимо рассмотреть принципы организации канального уровня модели OSI, а также функции пользователя DDLM. Рассматриваемая структура подразумевает передачу данных по шине Profibus с двумя активными ведущими устройствами (ПЛК ТРП и РС), принадлежащими САУ ТРП и семью пассивными ведомыми станциями.

Два ведущих устройства образуют логическое маркерное кольцо. После того как активная станция получает маркер, ей на определенное время дается разрешение выполнять на шине функции ведущего устройства [6]. Она может взаимодействовать со всеми ведомыми станциями по методу ведущий-ведомый и со всеми ведущими станциями, участвующими во взаимоотношениях по методу ведущий-ведущий. Взаимодействие по методу ведущий – ведущий необходимо аппаратно для реализации внедрения САУ ТРП в базовую.

Модель взаимодействия элементов САУ ТРП (см. рис. 3) заключается в реализации обмена информацией гибридным методом между ведущими и ведомыми ПЛК в соответствии с алгоритмом работы САУ ТРП.

Модель взаимодействия компонентов системы автоматического управления предусматривает обмен информацией по последующему принципу:

- ведущими устройствами являются ПЛК ТРП второго уровня и РС поста управления. Ведомые устройства это ПЛК участков 1-7 с распределенными устройствами ввода/вывода информации от датчиков и исполнительных устройств технологических модулей;

- проход маркера переходит последовательно по цепочке ведущих устройств системы управления второго уровня ПЛК ТРП → РС. Опрос датчиков происходит через ведомые ПЛК1 – ПЛК7 участков по запросу ПЛК ТРП с групповым ответом. Данные по этому запросу получают все ПЛК и РС поста управления. ПЛК ТРП на основе информации от датчиков производит вычисления в соответствие с алгоритмом функционирования и выдает сообщения типа ведущий-ведущий на нижний уровень. ПЛК участков производят вычисления в соответствие с заложенными алгоритмами и выдают управляющие команды исполнительным органам при захвате маркера.

С использованием модели взаимодействия компонентов САУ ТРП посредством шины Profibus произведена оценка параметров временных процессов передачи данных по шине между всеми станциями распределенной САУ ТРП технологическим комплексом «ПЕЧЬ-КОВШ». Временная оценка выполнена для двух циклов функционирования: замер температуры расплава и управления тепловым режимом плавки.

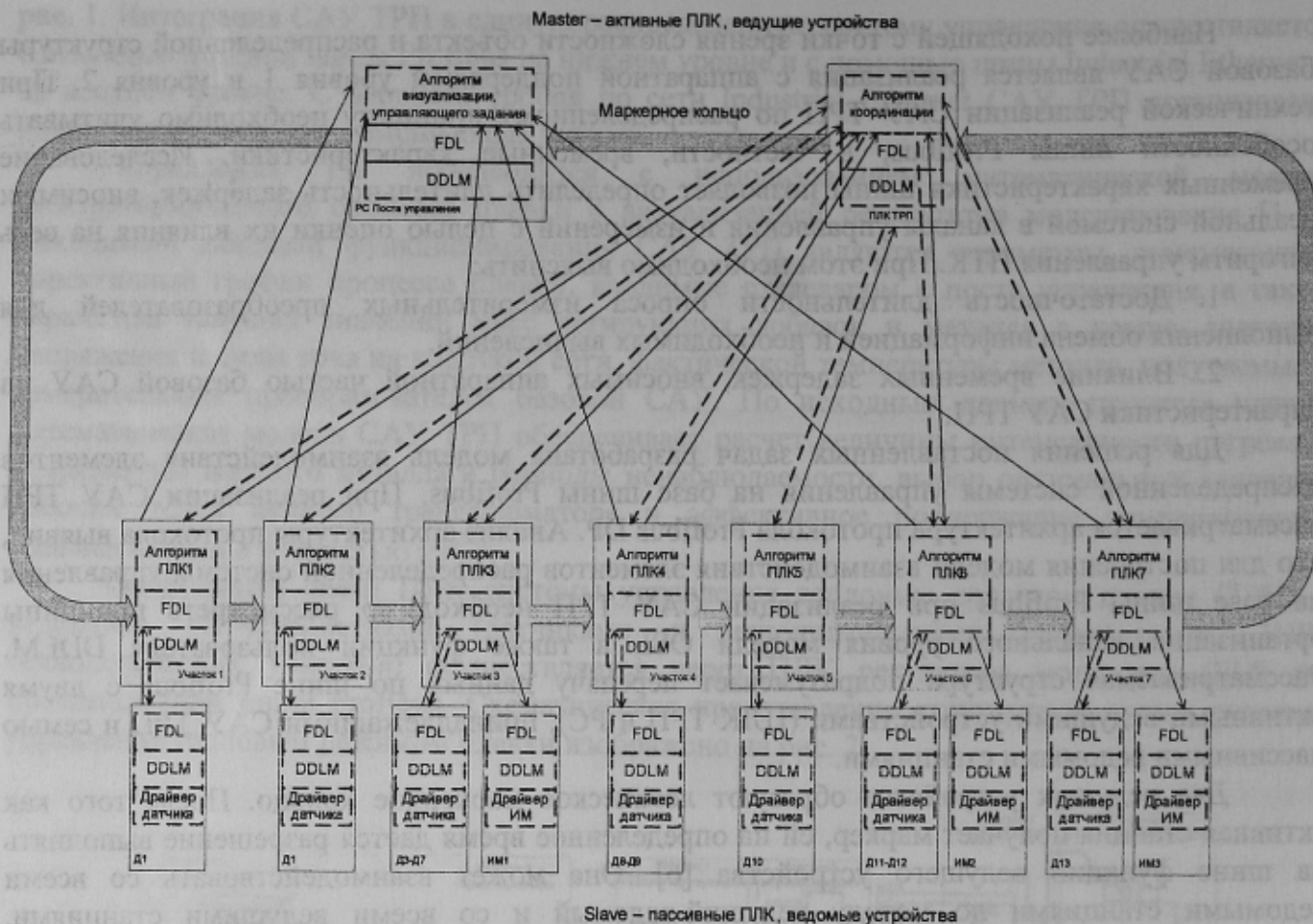


Рисунок 3 - Структурная схема модели взаимодействия компонентов САУ ТРП посредством шины Profibus

Временная диаграмма, иллюстрирующая сущность временных задержек, обусловленных как алгоритмом работы САУ ТРП, так и алгоритмом функционирования канального уровня протокола Profibus, поясняется из временной диаграммы представлена на рис. 4.

Для поддержания производительности и успешного функционирования шины необходимо, чтобы время обхода маркером всех распределенных устройств было не меньше самого короткого режима функционирования САУ ТРП. Следовательно, должно выполняться неравенство $T_{mc} \geq T_{цикла}^{min}$, где T_{mc} – время цикла передачи сообщения по шине. Из анализа временной диаграммы наименьший цикл наблюдается при управлении тепловым режимом плавки и составляет 35 мс.

В соответствии с табличными данными, приведенными в [6] рекомендуемая скорость передачи для $T_{цикла}^{min} = 35$ мс составляет 187,5 Кбит/с. Для оценки времени цикла передачи сообщения по шине выполнен расчет временных параметров канального уровня шины Profibus по следующей методике [6].

Время цикла передачи сообщения T_{mc} :

$$T_{mc} = (T_{SYN} + T_{ID} + T_{SDR} + T_{DS}) \cdot n_S,$$

- где $T_{DS} = 148 t_{BIT}$ - время, необходимое для передачи служебной информации;
- $t_{BIT} = 1/V_{П}$ - время, при передаче одного бита (обратная скорости передачи);
- n_S - количество ведомых устройств в данной сети;
- $T_{SYN} = 33 t_{BIT}$ – время синхронизации;
- $T_{SDR} = 11 t_{BIT}$ – время задержки станции-ответчика;

T_{ID} - время простоя на стороне инициатора, которое проходит с момента приема последнего бита фрейма к моменту посылки первого бита следующего фрейма.

Время простоя T_{ID} определяется следующим образом: $T_{ID} = T_{SM} + T_{SYN}$. Типовое значение данной величины составляет $75t_{BIT}$. Составляющие времени простоя (задержек) определяются по следующим выражениям.

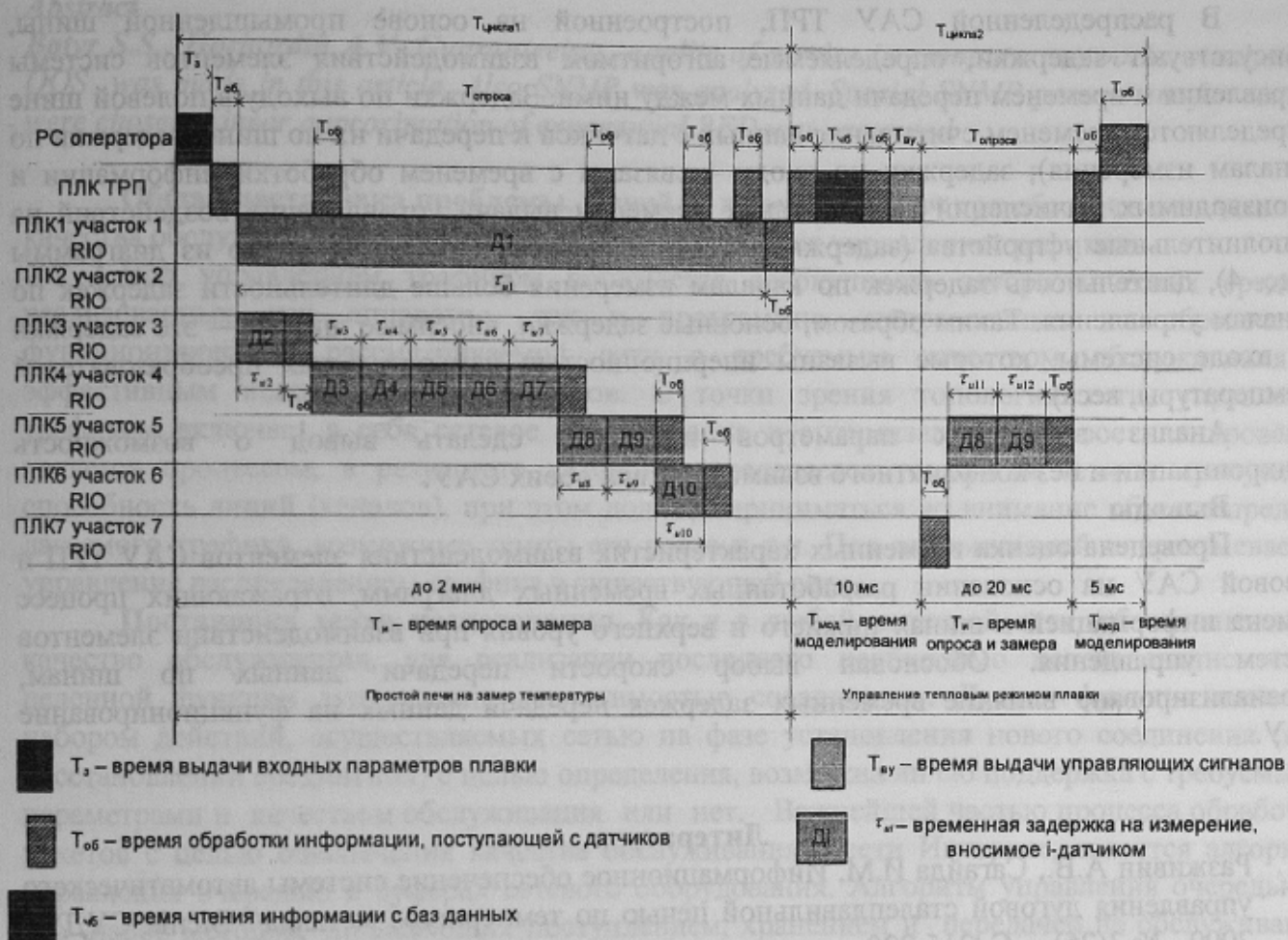


Рисунок 4 - Временная диаграмма работы распределенной САУ ТРП

Коэффициент безопасности T_{SM} :

$$T_{SM} = 2t_{BIT} + 2T_{SET} + T_{QUI},$$

где T_{SET} - это время, которое проходит с момента возникновения события (послан последний октет) до реагирования на это событие, $T_{SET} = 30t_{BIT}$, T_{QUI} - время «тишины».

Время «тишины» складывается из следующих времен:

- время задержки физической среды передачи T_{TD} - это максимальное время, которое проходит при передаче фрейма по кабелю длиной 1000 метров без повторителей T_{TD} и составляет 1 мкс [6].

- время ожидания T_{SL} - это максимальное время, на протяжении которого инициатор ждет подтверждение (первого байта фрейма) от удаленной станции, после передачи последнего бита активного фрейма:

$$T_{SL} = 2T_{TD} + 2T_{SDX} + 11t_{BIT} + T_{SM}.$$

С использованием выше изложенной методики для рекомендованной скорости определены следующие временные показатели: $T_H = 20$ мс; $T_{BY} = 10$ мс; $T_Y = 35$ мс. Анализ результатов моделирования показывает, что временные задержки, вносимые в систему управления, позволяют выполнить все необходимые вычисления и обмен информацией, предписываемые алгоритмом управления: время цикла управления меньше времени управления $T_Y < T_{цикла}$.

В распределенной САУ ТРП, построенной на основе промышленной шины, присутствуют задержки, определяемые алгоритмом взаимодействия элементов системы управления и временем передачи данных между ними. Задержки по выходу в полевой шине определяются временем считывания данных с датчиков и передачи их по шине (задержки по каналам измерения); задержки по входу – связаны с временем обработки информации и производимых вычислений ПЛК, а также временем выдачи управляющих воздействий на исполнительные устройства (задержки по каналам управления). Как видно из диаграммы (рис. 4), длительность задержек по каналам измерения больше длительности задержек по каналам управления. Таким образом, основные задержки, вносимые шиной — это задержки на входе системы, которые вызваны инерционностью измерительных преобразователей (температуры, веса).

Анализ временных параметров позволяет сделать вывод о возможности синхронизации и без конфликтного взаимодействия обеих САУ.

Выводы

Проведена оценка временных характеристик взаимодействия элементов САУ ТРП и базовой САУ на основании разработанных временных диаграмм, отражающих процесс обмена информацией в шинах нижнего и верхнего уровня при взаимодействии элементов систем управления. Обоснован выбор скорости передачи данных по шинам, проанализировано влияние временных задержек передачи данных на функционирование САУ.

Литература

1. Разживин А.В., Сагайда И.М. Информационное обеспечение системы автоматического управления дуговой сталеплавильной печью по температуре металла// Вісник СУДУ.- 2000.- № 3(25). – С. 215-220.
2. Разживин А.В., Сердюк А.А. Тепловая модель технологической системы// Надежность инструмента и оптимизация технологических систем. Тезисы докладов 8-й международной научно-технической конференции/ - Краматорск: ДГМА, 2001-44 с.
3. Сердюк А.А., Разживин А.В. Идентификация величины тепловых потерь при плавке в ДСП. Наукові праці ДНТУ. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. Випуск 47. – Донецьк, 2002. – с. 34–40.
4. Разживин А.В., Сердюк А.А. Моделирование мощности и напряжения на электрической дуге. Наукові праці ДНТУ. Серія: Обчислювальна техніка та автоматизація. Випуск 58. – Донецьк, 2003. – с. 102–107.
5. Сердюк А.А., Разживин А.В., Греков Д.В. Оценка степени неопределенности информационного обеспечения технологического процесса. Надежность инструмента и оптимизация технологических систем. Сб. научных трудов. Вып. 18. – Краматорск: ДГМА, 2005 – с. 234-238.
6. Веман К. Основы PROFIBUS// Автоматизация и привод. [Цит. 2006, 01 ноября]. - Доступен с <http://www.siemens.ru>