

Министерство образования Украины
Запорожский государственный технический университет

На правах рукописи

Экз. № ----

МЕНДОСА Плата Адольфо

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗМЕРЕНИЯ
ТЕМПЕРАТУРЫ РАСПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННОЙ
МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ

Специальность 05.09.10 - электротермические процессы и установки

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Запорожье - 1996

21.31.4

Диссертация является рукописью

Работа выполнена в Запорожском университете.

Научный руководитель

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00760864 (V)

доцент

Писанко В.С.

Официальные опоненты

доктор технических наук,

проф. Андрианко Петр

Дмитриевич

кандидат технических наук,

Азаренков Евгений

Анатольевич

Ведущее предприятие

Научно-исследовательский

институт автоматизации

черной металлургии

Защита диссертации состоится 21 января 1997 г.

с 14.00 в аудитории 253 на заседании Специализированного Совета (шифр К.068.38.02) Запорожского государственного технического университета (330063, г. Запорожье, ул. Жуковского, д. 64).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан 19 декабря 1996 г.

Ученый секретарь

Специализированного совета
К.068.38.02, к.т.н., доцент

Бондаренко В.И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Характерной чертой современного технического прогресса является активное внедрение автоматизации производственных процессов, что позволяет успешно решать следующие основные задачи современного производства: снижение трудозатрат; повышение качества продукции.

Актуальными проблемы автоматизации технологических процессов являются и в черной металлургии. Факторами, существенно сдерживающими активное внедрение автоматизированных систем управления технологическим процессом (АСУ ТП) при производстве черного металла, является отсутствие комплекса технических средств, обеспечивающих автоматический режим выполнения отдельных технологических операций. В частности, это относится к метрологическим приборам, осуществляющим контроль за различными параметрами в процессе плавки металла.

Важным показателем технологического процесса плавки металла является температура расплавленного металла. Так, ее величина определяет завершение этапа расплавления шихты, скорость ее изменения характеризует протекание окислительного и восстановительного периодов. Контроль температуры очень важен при введении в расплавленный металл легирующих и раскислителей, т.к. ее величина влияет на скорость и степень усвоения легирующих. Особенно важен точный и оперативный контроль температуры при автоматизированном управлении процессом плавки, когда на первый план выдвигаются вопросы идентификации стадий процесса для своевременного перевода управления на новый уровень, а также расчета управляющих воздействий, оптимизирующих технологический процесс плавки. При этом основным аргументом для расчета энергетических показателей и управляющих воздействий автоматизированной системы управления плавкой является текущее значение температуры расплава.

Таким образом актуальным является разработка устройства, автоматизирующего технологический процесс измерения температуры расплавленного металла и удовлетворяющего следующим требованиям:

- высокая точность, надежность и повторяемость измерений;
- высокая оперативность измерений;
- автоматический расчет динамики изменения температуры за указанный период времени;
- удобство состыковки измерительного прибора с ПЭВМ верхнего

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

уровня управления в среде АСУ ТП.

Цель работы. Целью данной работы является автоматизация и оптимизация технологического процесса контроля температуры расплавленного металла, в частности, через разработку оптимизирующей схемы измерений и ее реализации на основе современной микропроцессорной элементной базы.

Задачи исследования. Для достижения цели исследования предполагается решение следующих конкретных задач:

- определение возможности автоматизации технологического процесса контроля температурного режима плавки и разработка рекомендаций по ее реализации;

- теоретическое обоснование и выделение априорного (исходного) и текущего информационного обеспечения для автоматизации технологического процесса измерения температуры расплавленного металла;

- разработка алгоритма анализа информации, поступающей от термочувствительного элемента, обеспечивающего высокую точность и оперативность измерений;

- разработка алгоритма преобразования и структуры хранения информации о температурном режиме плавки, удобных для оперативного контроля качества плавки в среде автоматизированного управления технологическим процессом плавки;

- разработка алгоритмического обеспечения вторичного преобразователя измерения температуры расплавленного металла, реализующего оперативную переналадку прибора на термопары с новой градуировкой, коррекцию погрешностей измерений, контроль представительности измерений и качества термочувствительных элементов;

- реализация полученных алгоритмов на современной элементной базе и осуществление экспериментальной проверки основных результатов, полученных в работе.

Методика проведения исследований. При исследовании применялись: теория дифференциальных уравнений; теория матричных исчислений; теория автоматического управления; теория планирования эксперимента и регрессионного анализа; методы нелинейного программирования. При экспериментальных исследованиях статических и динамических характеристик устройства автоматизированного контроля тем-

пературы расплавленного металла использовались источник регулируемого напряжения ИРН-50 и микропроцессорный контроллер "РЕМИКОНТ". Достоверность полученных решений в виде аналитических зависимостей и результатов расчетов на ПЭВМ проверялась путем сравнения их с результатами экспериментальных исследований.

Научная новизна работы. Автором получены следующие результаты:

- аналитические зависимости измеренной температуры расплавленного металла в виде квадратичного регрессионного уравнения и кубической сплайн-функции, учитывающие влияние температуры окружающей среды на точность преобразования информации в канале "выход термопары-усилитель-ПНЧ(МПУ)",

- структура хранения и алгоритм преобразования информации о температурном режиме плавки, минимизирующие необходимый объем памяти и используемые вычислительные мощности микропроцессорного вторичного преобразователя системы автоматизированного контроля температуры расплавленного металла,

- алгоритмы взаимодействия МПУ с оператором и ПЭВМ верхнего уровня управления в среде АСУ ТП, обеспечивающие супервизорный режим управления устройством и минимизирующие необходимые вычислительные мощности МПУ для обслуживания данных взаимодействий,

- аппаратурная и программная реализация сопряжения термопары с МПУ через преобразователь напряжение-частота (ПНЧ), обеспечивающие высокую точность и надежность преобразования входного аналогового сигнала с термопары и прецизионного усилителя в цифровой код для внутреннего представления в МПУ.

Практическая ценность работы. Разработан аппаратно-программный комплекс на базе IBM-совместимых ПЭВМ для автоматизации процесса отладки программного обеспечения (ПО) МПУ.

Разработан и изготовлен опытный образец вторичного преобразователя системы автоматизированного контроля температурного режима плавки с использованием микропроцессорной элементной базы. Проведена ведомственная приемка опытного образца.

Реализация работы. Основные результаты диссертационной работы использованы при разработке микропроцессорного устройства контроля температуры расплавленного металла (ТУК-1) научно-производственным

обществом "ЗТНА" (г. Запорожье) для использования на металлургических предприятиях запорожского региона.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных научно-технических конференциях: Плазмотехнология-93 (г. Запорожье, 1993 г.) и Плазмотехнология-95 (г. Запорожье, 1995 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 4 научных работы, в том числе: 2 статьи, 2 доклада.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, заключения, перечня ссылок из 84 наименований и приложений, в которых содержатся также материалы внедрения результатов работы.

Объем диссертации 147 страниц, из них 112 страниц машинописного текста. Диссертация содержит 35 рисунков и 11 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы и перспективность использования микропроцессорной элементной базы для автоматизации технологического процесса измерения температуры расплавленного металла.

В первом разделе проведен обзор отечественной и зарубежной технической литературы, касающийся вопросов влияния температур на технологический процесс плавки металла. Отмечено, что особенно важен точный и оперативный контроль температуры при автоматизированном управлении процессом плавки, когда на первый план выдвигаются вопросы идентификации стадий процесса для своевременного перевода управления на новый уровень, а также расчета управляющих воздействий, обеспечивающих оптимальное течение технологического процесса. Эти вопросы проиллюстрированы на примере тепловой модели фирмы "Крупп". Показано, что здесь текущее значение температуры расплава является основным показателем стадии технологического процесса плавления, а также основным аргументом для расчета энергетических показателей и управляющих воздействий автоматизированной системы.

Рассмотрены современные методы измерения температуры расплавленного металла, которые можно разделить на два класса: бесконтакт-

тные; контактные.

К бесконтактным относятся всевозможные пирометры: радиационные, оптические (яркостные) и т.д.

К термоприемникам, в которых используется контактный метод относятся: термометры сопротивления; термоэлектрические (первичным измерительным преобразователем является термопара); газовые; жидкостные и т.д.

Бесконтактный метод незаменим при длительных измерениях температур свыше 2000 ... 2500 град.С. При этом во многих случаях различные коэффициенты излучения измеряемых тел требуют введения поправок на нечерноту излучения, а если она неизвестна или изменяется в процессе измерения, то возникает дополнительные погрешности исключить которые часто не представляется возможным.

Термопары и термоэлектрические термометры позволяют осуществлять измерения в очень широком диапазоне температур -270 ... 3000 град.С, достигая высокой точности измерения, передавать результаты измерения (т.э.д.с.) на значительные расстояния и осуществлять автоматическую регистрацию показаний, производить недорогие по стоимости измерения вследствие невысокой цены самих термометров. Все это делает предпочтительным использование термопар в качестве термочувствительных (термодатчиков) элементов при измерении температуры расплавленного металла.

Существенное влияние на процесс измерения температуры оказывают также вторичные измерительные приборы, которые используются для преобразования выходного сигнала термопары (мВ) в измеряемую координату (град.С). Рассмотрены автоматические потенциометры КСПЗ и КСП4, автоматические мосты КСМЗ и КСМ4.

Данные приборы обеспечивают автоматический режим измерения и регистрации температуры расплавленного металла, отличаются высокой повторяемостью замеров и надежностью, имеют сравнительно низкую стоимость. Однако рассмотренные приборы не могут быть интегрированы в среду автоматизированного управления процессом плавки (отсутствуют узлы сопряжения с управляющей ЭВМ); имеют высокую абсолютную погрешность измерений (до ± 10 град.С в диапазоне температур 1400...1700 град.С); имеют высокую трудоемкость обслуживания из-за наличия механических трущихся пар; высокая вероятность субъективной ошибки из-за необходимости расшифровки результатов измерения по диаграмме; высокая трудоемкость переналадки данных приборов на термопары с новой градуировкой, а также коррекции погрешности из-

мерений при переходе на новую партию термопар (до ± 4 град.С); отсутствуют достаточные средства контроля представительности замера (длительности представительной площадки, допустимых отклонений показаний термопары на представительной площадке). Все эти недостатки существенно затрудняют использование данных вторичных преобразователей при современной технологии плавки металла.

Показано, что данные проблемы могут быть эффективно решены путем разработки и создания приборов на основе современной элементной базы с использованием вычислительной и микропроцессорной техники.

Все вышперечисленное определяет цель данной работы и позволяет сформулировать решаемые в ней задачи.

Второй раздел посвящен теоретическому обоснованию и выделению априорного (исходного) и текущего информационного обеспечения, которые доступны при измерении температуры с помощью термопар.

Определено, что термопара проходит следующие динамические состояния в процессе измерения температуры расплавленного металла:

- нагрев;
- установившееся значение, соответствующее температуре расплавленного металла;
- остывание.

Для идентификации данных состояний введено понятие "критическая производная т.э.д.с. термопары", которая определяется как:

$$\frac{dE}{dt} \text{ кр.} = \frac{E_{\max} - E_{\min}}{t_2 - t_1} \quad (1)$$

где, E_{\max} - значение т.э.д.с. в конце представительной площадки;

E_{\min} - значение т.э.д.с. в начале представительной площадки;

$t_{\text{кр}} = t_2 - t_1$ - длительность представительной площадки.

Наличие dE/dt кр. позволяет следующим образом определить возможные динамические состояния термопары в процессе измерения температуры расплавленного металла:

- $dE/dt \gg dE/dt$ кр. - нагрев термопары;
- $dE/dt \approx dE/dt$ кр. - участок измерения;
- $dE/dt \ll dE/dt$ кр. - остывание термопары.

Для описания динамики функционирования термопар предложено использовать следующие параметры:

- допустимая длительность измерения;

- длительность представительной площадки;
- допустимое отклонение сигнала с термопары на представительной площадке, которое также характеризуется dE/dt кр.

В процессе измерения температуры расплавленного металла с помощью термопар в канале передачи информации осуществляется следующее ее преобразование:

- из град.С в мВ на выходе термопары (аппаратурно);
- из мВ в В на выходе прецизионного усилителя (аппаратурно);
- из мВ в "тики" на выходе ПНЧ(ИПУ)(аппаратурно-аналитически);
- из "тиков" в мВ (аналитически);
- из мВ в град.С (аналитически).

При этом необходимо учесть факторы, наиболее существенно влияющие на точность данных преобразований (особенно аппаратурных). К наиболее существенным относятся аппаратурная реализация канала передачи информации и температура окружающей среды. Для учета влияния данных факторов на точность преобразования разработана и введена регрессионная передаточная функция информационного канала вида:

$$E_{из} = b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot E_{ц} + b_{12} \cdot t \cdot E_{ц} + b_{11} \cdot t^2 + b_{22} \cdot E_{ц}^2 \quad (2)$$

где, $E_{из}$ - т.э.д.с. с термопары в мВ;

$E_{ц}$ - информация с термопары в цифровом виде(тиках);

t - температура окружающей среды;

$b_0 \dots b_{22}$ - коэффициенты регрессии.

Данное уравнение относится к априорному информационному обеспечению системы автоматизированного контроля температуры расплавленного металла, учитывающее аппаратурную реализацию канала передачи информации и температуру окружающей среды, является оригинальным для каждого прибора.

Для аналитического преобразования информации из мВ в град.С в соответствии с тарировочной характеристикой термопары предложено использовать кубическую сплайн-функцию вида:

$$S(x) = W \cdot y_{i+1} + \bar{W} \cdot y_i + \tilde{h}_i [(W^2 - W) \cdot G_{i+1} + (\bar{W}^2 - \bar{W}) \cdot G_i] \quad (3)$$

где, $\tilde{h}_i = x_{i+1} - x_i$;

$W = (x - x_i) / \tilde{h}_i$;

$\bar{W} = 1 - W$.

G - некоторые константы, смысл которых определяется соот-

ношением:

$$G = \frac{S''(x_i)}{\delta} \quad (4)$$

Уравнение (3) является априорной информацией, учитывавшей градуировочную характеристику используемой термопары и является оригинальным для каждой термопары.

На основании проведенного анализа динамики функционирования термопар были выделены следующие параметры настройки автоматизированной системы контроля температурного режима плавки, которые характеризуют используемую термопару:

-длительность измерения, задается в секундах и определяется типом используемой термопары, а также свойствами изолирующего теплоемника;

-длительность представительной площадки, задается в секундах с точностью до 0,1 с и определяется как типом используемой термопары так и партией поставки;

-допустимое отклонение выходного сигнала термопары на представительной площадке, задается в мВ и зависит от типа используемой термопары и партии поставки;

-квадратичная регрессионная модель вида (2) для преобразования внутреннего представления информации об измеренной температуре (тики) в мВ, задается коэффициентами регрессии и зависит от типа используемой термопары;

-кубическая сплайн-функция вида (3) для преобразования мВ в град.С, задается коэффициентами кубической сплайн-функции и зависит от типа используемой термопары.

В третьем разделе произведен сравнительный анализ различных микропроцессорных комплектов для аппаратурной реализации современных средств автоматизации. В качестве базового обоснованно выбран микропроцессор Z80A и разработана структура аппаратурной реализации вторичного микропроцессорного преобразователя системы автоматизированного контроля температурного режима плавки (см. рис. 1).

Отмечается, что наиболее существенное влияние на точность измерения температуры расплавленного металла оказывает аппаратурная реализация сопряжения термопары с МПУ. При аппаратурной реализации сопряжения необходимо обеспечить:

-преобразование низкого уровня выходного сигнала термопары

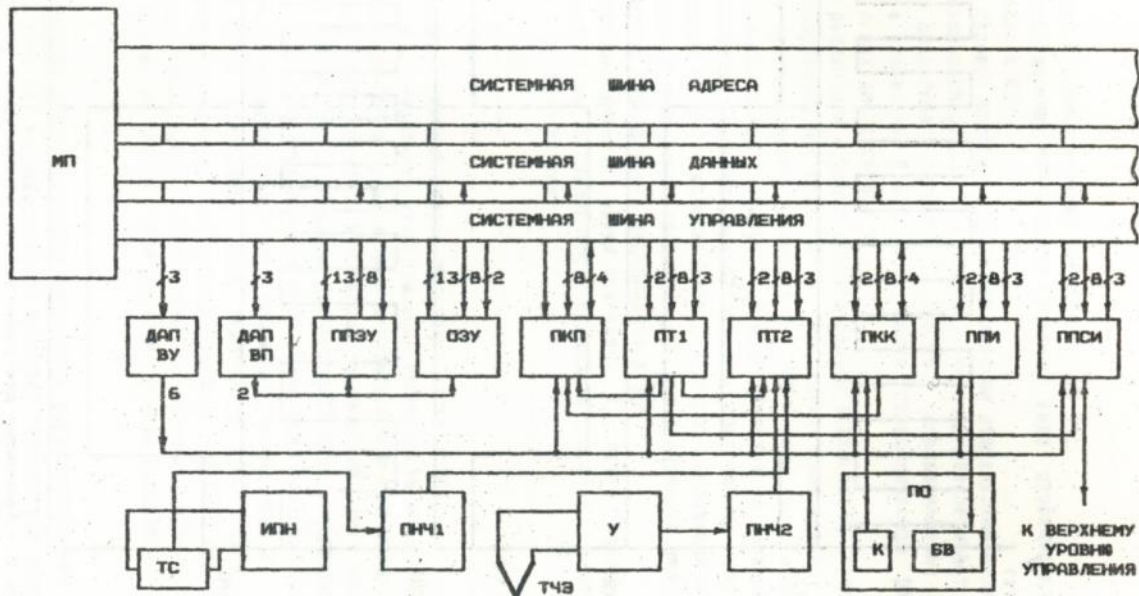


Рисунок 1 – Структура микропроцессорного устройства контроля температуры расплавленного металла

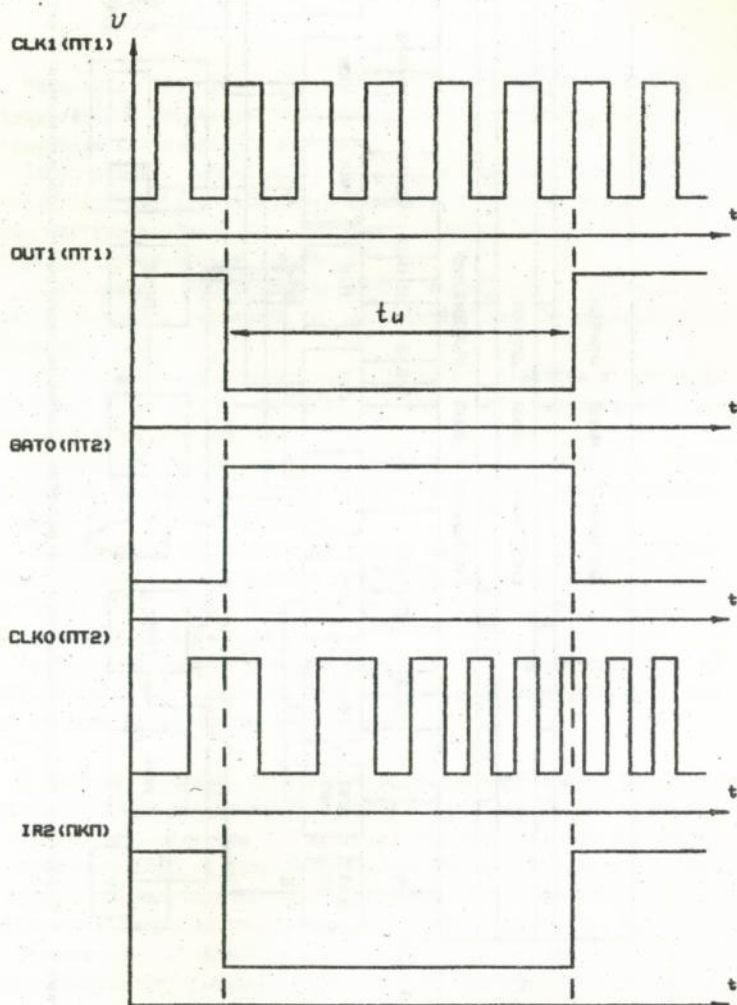


Рисунок 2 - Временные диаграммы работы аппаратных средств МПУ, задействованных для ввода информации с ПМЧ

(7...20 мВ) к нормированному уровню (0...10 В);

-преобразование аналогового сигнала к виду, удобному для ввода и анализа в МПУ.

Для первого преобразования использован стандартный промышленный прецизионный усилитель Ф8028/23, который обеспечивает преобразование аналогового сигнала 0...20 мВ к нормированному уровню 0...10 В с точностью 0,00001%, а также гальваническую развязку входного и выходного сигналов.

Для реализации второго преобразования использован преобразователь напряжение-частота (ПНЧ). ПНЧ имеет сравнительно низкую скорость преобразования (порядка 1...100 мс), но отличается высокой температурной стабильностью и линейностью, а также возможностью изменения точности преобразования программным путем при сравнительной простоте аппаратурной реализации сопряжения с МПУ.

На рис. 2 приведены временные диаграммы сигналов узлов МПУ, обслуживающих аппаратурное подключение к МПУ.

Программно изменяя время измерения $t_{и}$, можно задавать точность преобразования аналогового сигнала в цифровой. Величина $t_{и}$ может быть определена как:

$$t_{и} = \frac{100}{f_{вых\ min} \cdot E_{и}} \quad (5)$$

где, $f_{вых\ min}$ -нижний предел выходного сигнала ПНЧ;

$E_{и}$ -заданная относительная погрешность измерения.

Используя ПНЧ и предложенную аппаратурную и программную реализацию его сопряжения с МПУ, можно преобразовывать аналоговый сигнал на входе ПНЧ в 16-разрядный цифровой код (содержимое 0-го счетчика ПТ2) с программно заданной точностью. Максимальная точность преобразования ограничена разрядностью счетчика и составляет 0,0015% (например, для температур 1400...1700 град.С максимальная абсолютная погрешность составит $\pm 0,0255$ град. С).

Также осуществлена аппаратурная реализация сопряжения МПУ с пультом оператора (ПО) и ПЭВМ верхнего уровня управления в среде АСУ ТП.

Четвертый раздел посвящен разработке алгоритмического обеспечения системы автоматизированного контроля температуры расплавленного металла.

При этом были выделены следующие функционально независимые

подзадачи:

- анализ информации, поступающей с термопары;
- преобразование информации в МПУ для ее хранения и отображения;
- обеспечение взаимодействия МПУ с оператором;
- обеспечение взаимодействия МПУ с ПЭВМ верхнего уровня управления в среде АСУ ТП.

Разработанный алгоритм анализа информации, поступающей с термопары, обеспечивает:

- контроль в автоматическом режиме подключения термопары, поиск представительной площадки;
- защита от помех канала передачи информации.

Для хранения оперативной информации о результатах измерения температуры расплавленного металла разработана структура, состоящая из 16 байт.

Разработаны форматы и структуры хранения информации в процессе ее аналитического преобразования: из "тиков" в мВ; из мВ в град.С. В результате работы алгоритма, реализующего данные преобразования, формируется массив результата текущего измерения, формат которого приведен на рис. 3.

В дальнейшем данная информация размещается в массиве предыдущих измерений, формат которого приведен на рис.4.

При разработке алгоритма сопряжения МПУ с ПО использован супервизорный режим связи по прерыванию, обеспечивающий связь в реальном масштабе времени и с задействованием минимума вычислительных мощностей МПУ. Инициатором связи является оператор.

Связь с ПЭВМ верхнего уровня управления в среде АСУ ТП реализована также в супервизорном режиме. Инициатором связи является ПЭВМ. Разработан протокол двунаправленной связи.

В пятом разделе осуществлена программная реализация разработанных алгоритмов для МПУ системы автоматизированного контроля температуры расплавленного металла.

Для написания ПО использован алгоритмический язык АССЕМБЛЕР. Разработан комплекс программно-аппаратурных средств, реализующий универсальную макетную систему отладки ПО МПУ на базе процессоров Intel 8080, Intel 8085, Zilod 80, Intel 8051.

При разработке ПО использованы подходы структурного программирования, когда вся задача была разбита на функционально закон-

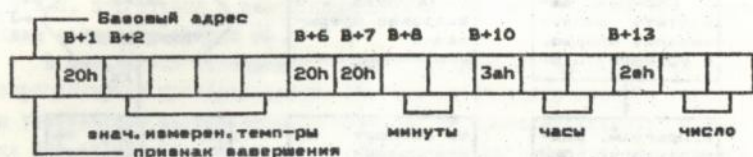


Рисунок 3 - Структура промежуточного буфера результата измерения

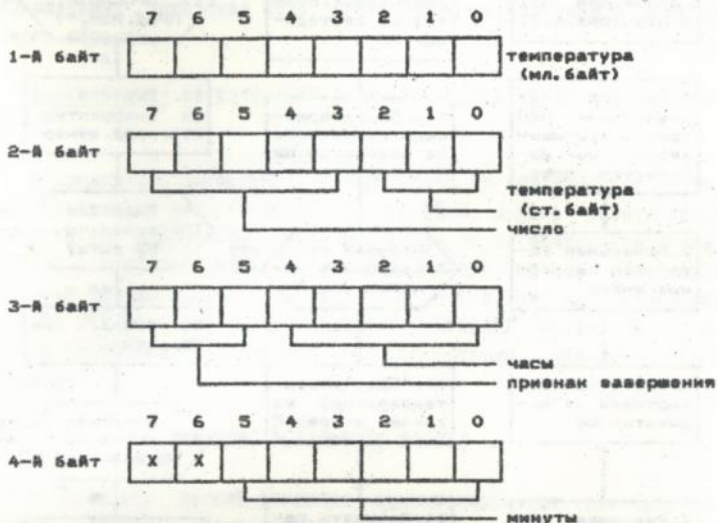


Рисунок 4 - Структура хранения информации в массиве предыдущих измерений

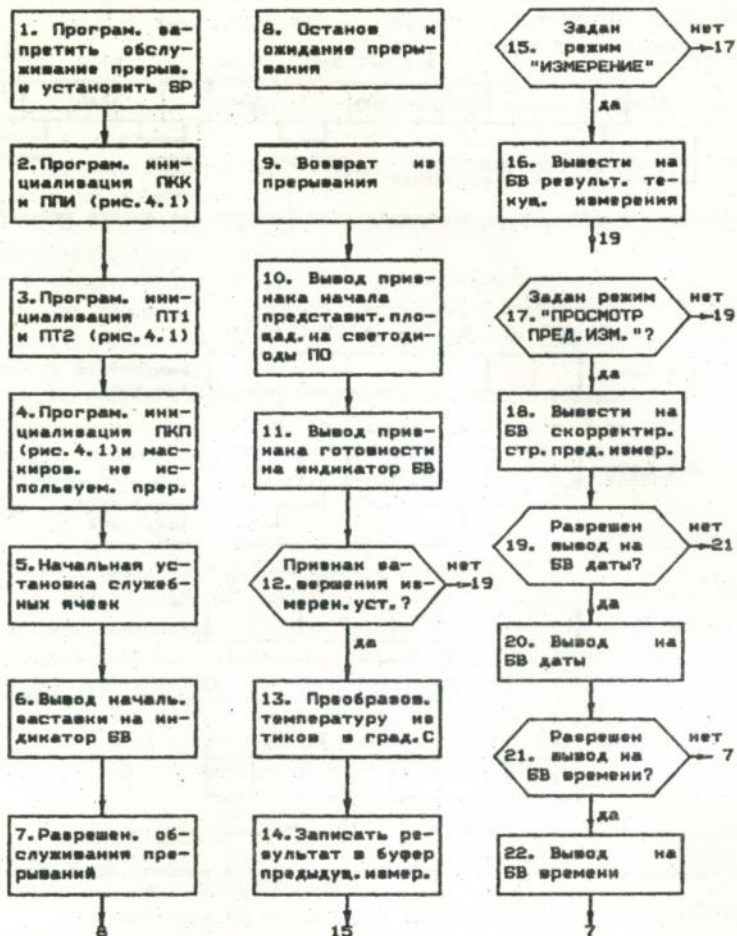


Рисунок 5 - Блок-схема основного модуля ПО МПУ

ченные подзадачи, каждая из которых реализована в виде подпрограмм. Таким образом ПО состоит из набора подпрограмм и основного модуля, в котором осуществляется программная настройка (инициализация) основных аппаратурных узлов МПУ, настройка служебных ячеек ОЗУ МПУ, подготовка и вызов подпрограмм. На рис. 5 приведена блок-схема основного модуля ПО.

В результате выполненной работы был разработан вторичный микропроцессорный преобразователь системы автоматизированного контроля температуры расплавленного металла. На производственных площадях НПО "ЭТНА" (г. Запорожье) изготовлен опытный образец данного устройства (ТУК-1). В лаборатории микропроцессорной техники НПО "ЭТНА" проведены статические и динамические испытания.

Были проведены промышленные испытания опытного образца на печи № 4 СПЦ 2 ОАО "Днепропецсталь". По результатам лабораторных и промышленных испытаний была произведена ведомственная приемка опытного образца.

В заключении сформированы основные выводы по диссертационной работе.

В приложении приведены: программа на алгоритмическом языке БЕЙСИК построения регрессионной модели PLAN; пример работы программы PLAN для опытного образца; программа на алгоритмическом языке БЕЙСИК построения кубической сплайн-функции; пример построения кубической сплайн-функции для термопары ПР30/6; листинг основного модуля ПО МПУ на алгоритмическом языке АССЕМБЛЕР; протоколы статических и динамических испытаний; акт ведомственной приемки опытного образца.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Проведен анализ динамики функционирования термочувствительного элемента (термопары), определена структура априорного (исходного) и текущего информационного обеспечения для системы автоматизированного контроля температуры расплавленного металла.

2. Разработан подход описания передаточной характеристики информационного канала "выход термопары- усилитель- ПНЧ (МПУ)" с использованием подходов планирования эксперимента (ОЦКП) и регрессионного анализа в виде нелинейных (квадратичных) алгебраических

уравнений, учитывающих влияние различных факторов на точность преобразования. Разработано программное обеспечение на алгоритмическом языке БЕЙСИК для автоматизации процесса планирования эксперимента и регрессионного анализа.

3. Разработан супервизорный алгоритм взаимодействия МПУ автоматизированной системы с оператором и ПЭВМ верхнего уровня управления, обеспечивающий высокую надежность работы системы и удобство ее интегрирования в среде АСУ ТП.

4. Разработана структура аппаратурной реализации вторичного микропроцессорного прибора системы автоматизированного контроля температурного режима плавки.

5. Разработан программно-аппаратурный комплекс на базе IBM-совместимых ПЭВМ для отладки и запуска ПО МПУ.

6. Разработана программная реализация на алгоритмическом языке АССЕМБЛЕР предложенных алгоритмов функционирования вторичного микропроцессорного прибора системы автоматизированного контроля температуры расплавленного металла.

7. Изготовлен опытный образец разработанного вторичного преобразователя системы автоматизированного контроля температуры расплавленного металла. Проведены его лабораторные и промышленные испытания, осуществлена ведомственная приемка опытного образца.

Основное содержание диссертации отражено в работах

1. Писанко В.В., Мендоса П.А., Осадчий В.В. Микропроцессорный прибор контроля температуры расплавленного металла // "Техническая электродинамика" - К.: №4, 1994. - С. 43-46.

2. Писанко В.В., Мендоса П.А., Осадчий В.В. Аппаратурная реализация сопряжения высокотемпературных термодпар с вторичными микропроцессорными измерительными приборами. // Плазмотехнология-93 (сборник научных трудов). - Запорожье: 1993. - С. 250-253.

3. Бондаренко В.И., Осадчий В.В., Мендоса П.А. Использование микропроцессорной элементной базы для реализации вторичного прибора контроля температуры расплавленного металла. // Плазмотехнология-95 (сборник научных трудов). - Запорожье: 1995. - С. 196-199.

4. Писанко В.В., Хобаллах М., Осадчий В.В., Мендоса П.А. Аппаратурно-программный комплекс на базе IBM-совместимых ПЭВМ для отладки ПО МПУ. // "Техническая электродинамика" - К.: №1, 1996. - С. 64-68.

Handwritten text at the top of the page, possibly a page number or header, appearing as "100" or similar.

6521111

АВ 36.632

АВ 36.632

Подписано к печати 16.12.96г. Заказ №1296, Тираж 100 экз.
Запорожье, ЗГТУ, Типография, ул.Гоголя, 64.