

ЛАЗЕРНАЯ ДОПЛЕРОВСКАЯ АНЕМОМЕТРИЯ ГОРЯЧЕГО ПРОКАТА

Меледин В. Г., Кротов С. В., Бакакин Г. В., Двойнишников С. В., Наумов И. В., Павлов В. А., Рахманов В. В., Садбаков О. Ю.

ФГБУН «Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН», Новосибирск (630090, Новосибирск, пр-т Академика Лаврентьева, 1), E-mail: meledin@itp.nsc.ru

Лазерные доплеровские измерители скорости и длины, имеющие класс точности не хуже 0.1 % по скорости, являются перспективными для измерения горячего проката в металлургии. В работе предложена и обоснована система цифровой обработки сигналов лазерного реверсивного доплеровского измерителя скорости и длины горячего проката для металлургии (ЛДИС-М), реализованная на основе современного высокопроизводительного сигнального процессора TMS320C6713. Система состоит из модуля обработки и программного обеспечения. Используя адаптивные алгоритмы БПФ, интерполяцию результатов БПФ и оптимальную фильтрацию измерений, система позволяет вычислять с высокой точностью скорость и длину изделий горячего проката в металлургии. Приводятся показательные графики результатов работы ЛДИС в разных условиях, в том числе на металлургических заводах.

Ключевые слова: ЛДИС, лазерный, доплеровский, измеритель, система, модуль обработки.

LASER DOPPLER ANEMOMETRY OF HOT ROLLING IN METALLURGY

Meledin V. G., Krotov S. V., Bakakin G. V., Dvoynishnikov S. V., Naumov I. V., Pavlov V. A., Rahmanov V. V., Sadbakov O. Yu.

"Institute of thermophysics SB RAS", Novosibirsk (630090, Novosibirsk, Lavrentiev av., 1), E-mail: meledin@itp.nsc.ru

Laser Doppler speed and lengths measuring devices in class accuracy ± 0.1 % rate are perspective for measurement of hot rolled steel. In this paper, the optimal structure of the processing module based on modern high-performance signal processor TMS320C6713 is proposed for the processor of the laser reverse Doppler speed and length measuring system for hot rolled steel (LDA-M). This structure is implemented in the developed processing module. The system of processing module and the software as a part of the LDA allows using FFT algorithms, interpolation FFT results and optimal filtering of measurements to calculate accurately the speed and length of the hot-rolled steel products in the industry. Illustrative charts with LDMS results in different conditions, including those in steel mills, are provided.

Key words: LDA, laser Doppler measuring system, semiconductor laser, hot rolling metallurgy.

Введение

За последнее десятилетие одним из решающих производственных факторов, наряду с ресурсами, стала точная информации [4]. Повышение точности измерений (измерение скорости и длины) производимых заготовок, изделий и материалов осуществляется на основе совершенствования измерительного оборудования и его автоматизации [5]. Однако широко используемые контактные механические устройства на базе измерительных роликов или гусеничных ремней не отвечают современным требованиям по точности, быстродействию и надежности, а также имеют определенные ограничения по применению, например, для высокотемпературных, клейких и деформируемых изделий. Контактные методы измерения скорости движения горячего проката в металлургии, основанные на применении прижимных роликов, имеют высокую погрешность (1.5–15 %) из-за эффектов проскальзывания, термической деформации и выгорания. Одним из поставщиков

действительно достоверной информации в промышленности могут быть современные лазерные доплеровские компьютеризованные измерительные приборы и системы.

Методы исследований

Лазерная доплеровская измерительная система осуществляет зондирование лучами лазера светорассеивающих поверхностей движущихся объектов и регистрирует доплеровское смещение частоты рассеянного когерентного света, пропорциональное скорости (анемометрия означает буквально измерение скорости).

Для измерения скорости и длины проката на базе гелий-неоновых лазеров авторами созданы оптоэлектронные доплеровские информационно-измерительные системы серий «Квазар» и «ЛИ-803» [1, 4]. Приборы испытаны в 1993 г. на крупнейших металлургических предприятиях – Нижнетагильском и Западно-Сибирском металлургических комбинатах информационно-измерительные системы «ЛИ-803м». Они отличались сверхдальней измерительной дистанцией (3–5 м, максимальная дальность зарубежного измерителя на тот момент времени составляла – 2 м) и предельной глубиной измерительной зоны (более 200 мм). В 2007 г. выполнены работы по созданию и поставке лазерного технологического измерительного комплекса для регистрации скорости и длины горячего проката ЛИ-8023М-К на ОАО «Новосибирский металлургический завод им. Кузьмина». Прибор осуществляет измерение скорости горячих труб, а также измерение их продольных линейных размеров. Измеритель поставлялся в качестве замены лазерного измерителя «Квазар-3М», успешно отработавшего в непрерывном режиме с 1986 года. Прибор осуществлял точное бесконтактное измерение скорости движения поверхности горячего проката температурой до 1200 °С.

Стремительное развитие технологий привело к созданию доплеровских анемометров на основе полупроводниковых лазеров [3]. Однако к ряду преимуществ, таких как малое энергопотребление, надежности и компактности добавились сложности, связанные с повышенными требованиями к статистической обработке доплеровских сигналов, обусловленных спецификой сигналов полупроводниковых лазеров. В первую очередь, это связано с низкой когерентностью и перестройкой модового состава полупроводникового лазера. Таким образом, остро возникла необходимость разработки системы сбора и обработки доплеровских сигналов на основе современных методов цифровой обработки, для более полной статистической обработки регистрируемых оптических сигналов.

Практическая реализация

Для улучшения метрологических характеристик и потребительских свойств прибора ЛИ-8023М-К, при замене газового лазерного излучателя на полупроводниковый, авторами

была разработана новая система обработки доплеровских сигналов в реальном времени на современной элементной базе с применением цифрового сигнального процессора DSP TMS320C6713 [2]. Система выполнена на основе модуля обработки, блок-схема которого приведена на рисунке 1.

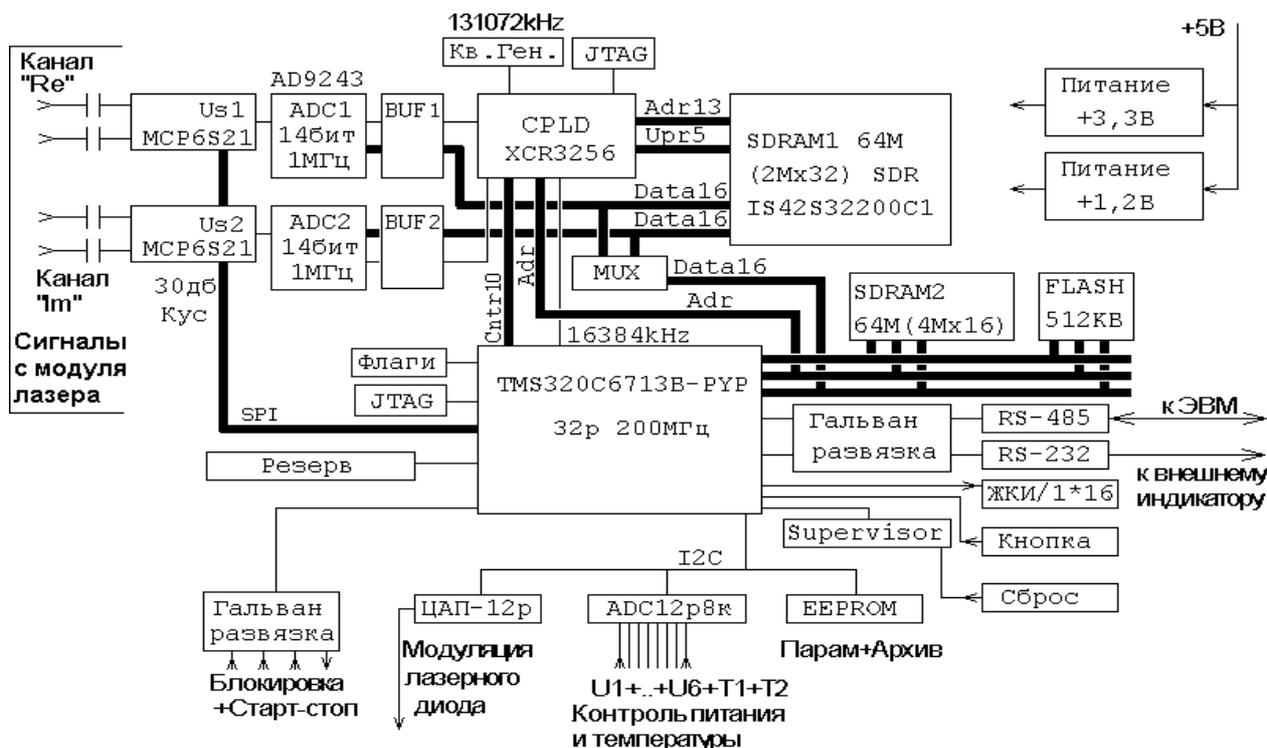


Рисунок 1. Блок-схема модуля обработки лазерного реверсивного доплеровского измерителя скорости и длины горячего проката для металлургии на основе сигнального процессора TMS320C6713

Система обработки спектра обладает расширенным динамическим диапазоном по амплитуде измеряемых сигналов. Центральным элементом всей схемы является сигнальный процессор с плавающей запятой TMS320C6713 (рисунок 1). Рабочая тактовая частота процессора определяется задающей тактовой частотой 16384 кГц, поступающей на него из микросхемы программируемой логики (CPLD XCR3256XL фирмы Xilinx), и составляет 196608 кГц. В качестве основы измерительной системы контроллера выбраны 14-разрядные АЦП AD9243 фирмы Analog Devices с частотой измерений до 3 МГц. Совместно с усилителями PGA типа MCP6S21 фирмы Microchip, коэффициент усиления которых

программируется процессором через порт SPI в пределах $K=1\div 32$, измерительная система имеет динамический диапазон измеряемых сигналов в 19 бит.

Измерительная система работает без участия процессора под управлением аппаратного контроллера, реализованного на микросхеме программируемой логики XCR3256XL. Частота измерений АЦП равна 1024 кГц. Результаты выборок усиленного и оцифрованного доплеровского сигнала с двух АЦП аппаратным контроллером в автоматическом режиме записываются в 32-разрядную микросхему динамической памяти (SDRAM1) типа IS42S32200C1. Размер памяти равен 2M-слов по 32 бита и позволяет хранить данные с 2-х АЦП за последние 2 секунды. Аппаратный контроллер также обеспечивает процессору «прозрачный» доступ для чтения данных из СДРАМ1 с любого начального адреса и с любым коэффициентом прореживания в диапазоне $1\div 2047$ в режиме прямого доступа (ПДП) с частотой до 7 МГц 32-разрядных слов. Такой темп чтения данных позволяет прочитать данные для дискретного преобразования Фурье на 1024 точки за время 147 мкс. Комплексное преобразование Фурье на 256 и 1024 точек выполняется соответственно за 55 мкс и 180 мкс.

Высокая производительность сигнального процессора TMS320C6713 позволила решить задачу непрерывного измерения скорости движущегося объекта с интервалом 1 мс. В процессе работы модуль по питанию +5 В потребляет не более 3 Ватт.

Основные функции программы реализованного цифрового доплеровского процессора следующие.

- Детектирование обнаружения и исчезновения движущегося объекта в измерительной зоне прибора.
- Адаптивный выбор параметров детектирования доплеровского сигнала.
- Расчёт текущей скорости движения объекта.
- Расчёт длины объекта.
- Отображение результатов измерений и параметров прибора на ЖКИ.
- Отображение и изменение параметров работы прибора в ЭВМ.
- Вспомогательные распечатки информации в ЭВМ для отладки алгоритмов работы прибора.
- Контроль за температурой основных элементов прибора и за напряжениями источников питания.
- Ведение технологического архива в ЕЕПРОМ прибора.
- Чтение архива в ЭВМ.
- Вывод результатов измерений в ЭВМ через порт RS-485.

Разработанный цифровой сигнальный процессор позволяет адаптивно подстраивать алгоритмы обработки с учетом особенностей светорассеивающих характеристик движущегося проката, что увеличивает точность измерения интегрируемой длины движущихся объектов. Процессор успешно интегрирован в лазерный реверсивный доплеровский измеритель скорости и длины горячего проката и обеспечил измерения доплеровских сигналов в расширенном динамическом диапазоне. На рисунке 2 показаны графики тестовых измерений вращающегося диска с длиной окружности 0,915 м. Обеспечена долговременная стабильность регистрируемой скорости и длины.

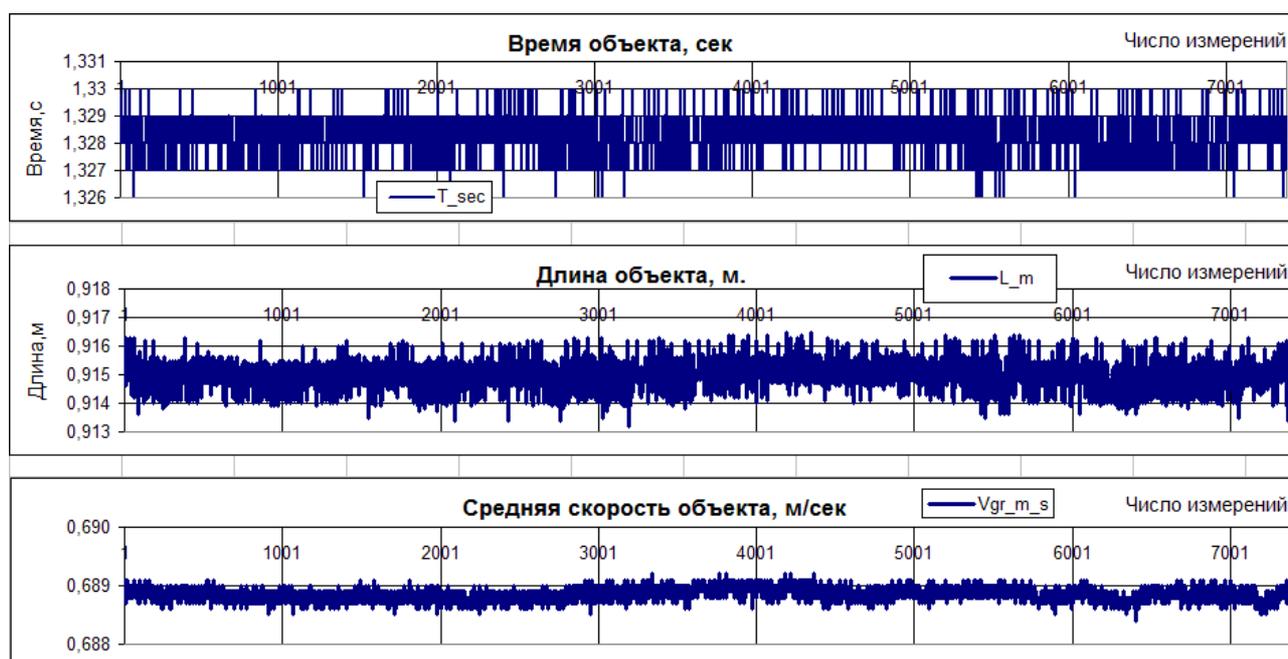


Рис. 2. График циклических измерений длины образцового объекта длиной 0,915 м (один оборот стабильно вращающегося диска)

На рисунке 3 приведен часовой график пореза труб на редуцирующем трубоэлектросварочном стане Новосибирского металлургического завода. Температура труб составляла 800–1000 °С, прибор регистрировал длину уже отрезанных труб. Оператор стана, ориентируясь на показания длины предыдущего пореза, регулировал интервал резки, плавно подгоняя длину отрезанных труб под необходимый в соответствии с ГОСТ размер $8,00 \pm 0,05$ м. Неточность длин отрезанных труб определяется неравномерностью скорости движения на стане и неравномерностью вращения круглого стола с отрезной циркулярной пилой.



Рис. 3. График результатов часовой работы редуционного трубоэлектросварочного стана Новосибирского металлургического завода 28.01.2010 г. с 13-45 до 14-45.

На рисунке 4 показан пример измерений заготовок в цехе № 8 Первоуральского новотрубного завода. Пример демонстрирует характеристики изменения скорости и интегрированной длины объекта – цилиндра диаметром 100 мм во время нахождения в измерительной зоне прибора. В частности, наблюдается остановка объекта на упоре, реверсивное движение – колебания во время удара о упор и выезд объекта из зоны измерения. Интегрированная длина измеряемого объекта составила 2,18 м.

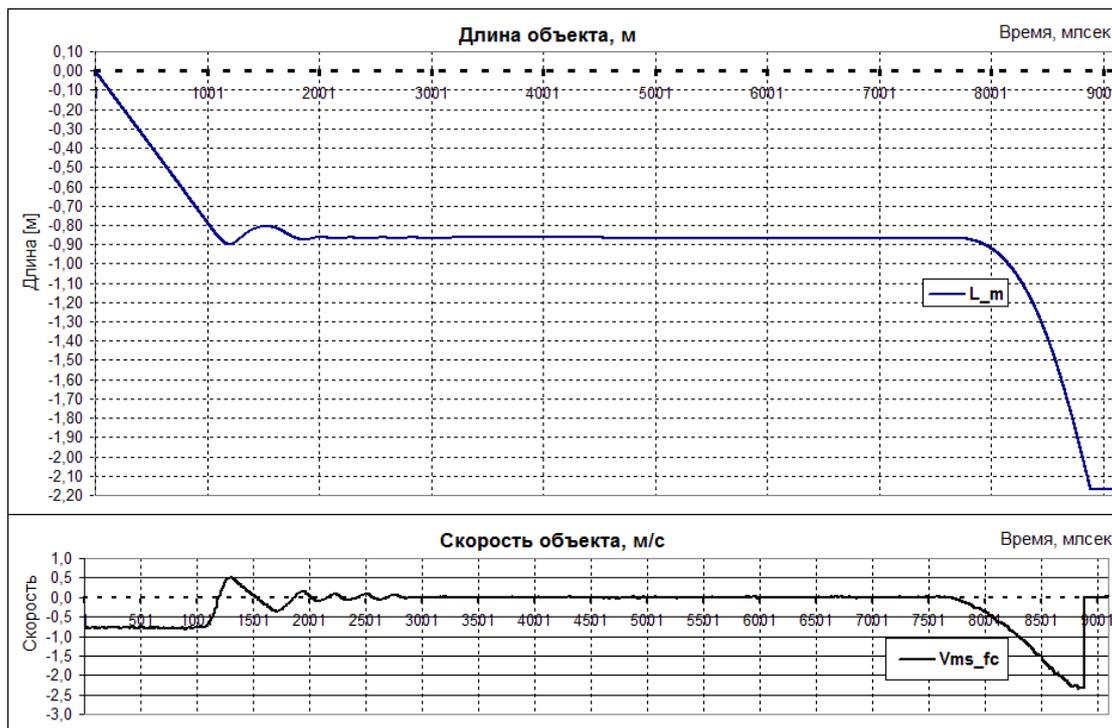


Рис. 4. График результата измерения в цехе № 8 ПНТЗ длины и скорости заготовки при въезде в ножницы, останове на стопоре, резке ножницами и выезде отрезанной заготовки

Выводы

Лазерная анемометрия горячего проката реализована в лазерном реверсивном доплеровском измерителе для металлургии с впервые созданной системой цифровой

обработки доплеровских сигналов. Измеритель успешно прошёл предварительные испытания на редуционном трубоэлектросварочном стане Новосибирского металлургического завода в 2009–2010 гг., а на Первоуральском новотрубном заводе (ПНТЗ) в 2012 г. в режимах высоких ускорений и близких к нулю скоростей были подтверждены высокие функциональные возможности прибора.

Работа выполнена при частичной поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы» (ГК № 11.519.11.6022).

Список литературы

1. Бакакин Г. В., Меледин В. Г., Наумов И. В., Похальчук Ю. А. Лазерный информационно-измерительный комплекс реального времени для учета и технологического контроля параметров горячего проката // Оптические методы исследования потоков: Материалы 4-ой межгосударственной научно-технической конференции. – М., 1997. – С. 138–140.
2. Главный В. Г., Бакакин Г. В., Меледин В. Г., Рахманов В. В., Садбаков О. Ю. Модуль предварительной обработки сигналов для теплофизических экспериментов // Приборы и техника эксперимента. – 2007. – № 2. – С. 166–167.
3. Меледин В. Г., Аникин Ю. А., Бакакин Г. В., Главный В. Г., Двойнишников С. В., Деревенчук В. П., Елисеев И. А., Кабардин И. К., Куликов Д. В., Наумов И. В., Павлов В. А., Рахманов В. В., Садбаков О. Ю., Шархов А. С. Лазерный доплеровский измеритель скорости и длины горячего трубного проката для металлургии ЛИ-8023М-К // Высокие технологии, фундаментальные и прикладные исследования, образование. Т. 8: сборник трудов Третьей международной научно-практической конференции «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности» / Под ред. А. П. Кудинова, Г. Г. Матвиенко, В. Ф. Самохина. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. – С. 228–231.
4. Меледин В. Г. Информатика оптоэлектронных измерений: наука и инновационные промышленные технологии. – Новосибирск: Изд-во ИТ СО РАН, 2008. – 75 с.
5. Meledin V. G. Informatics of Optoelectronic Measurements: Science and Innovative Industrial Technologies // Journal of Engineering Thermophysics. – 2009. – Vol. 18. – № 2. – P. 99–128.

Рецензенты:

Бердников Владимир Степанович, д-р физ.-мат. наук, профессор, зав. лабораторией, Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск.

Лежнин Сергей Иванович, д-р физ.-мат. наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН, г. Новосибирск.