

С. В. Двойнишников^{1✉}, В. В. Рахманов¹, В. О. Зуев¹, Г. В. Бакакин¹

Программно-аппаратная архитектура системы оптического контроля качества топливных таблеток

¹Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: dv.s@mail.ru

Аннотация. Работа посвящена разработке программно-аппаратной архитектуры системы технического зрения для решения задач измерения геометрических размеров и контроля дефектов внешнего вида топливных таблеток. Предложенная программно-аппаратная архитектура системы оптического контроля качества топливных таблеток предусматривает возможность гибкого конфигурирования системы контроля, количества регистрирующих изображения фотопримеников, количества модулей синхронизации, компьютеров и размещение модулей обработки на различных компьютерах. Программно-аппаратная архитектура системы оптического контроля качества топливных таблеток обеспечивает 100% контроль корректного прохождения таблеток по транспортеру и контроль диагностики работы всех компонент системы технического зрения.

Ключевые слова: программно-аппаратная архитектура, топливная таблетка, техническое зрение

S. V. Dvoynishnikov^{1✉}, V. V. Rakhmanov¹, V. O. Zuev¹, G. V. Bakakin¹

Hardware and software architecture of the optical system of quality control for fuel pellets

¹Kutateladze Institute of Thermophysics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: dv.s@mail.ru

Abstract. The work is devoted to the development of hardware and software architecture of the machine vision system for solving the problems of measuring geometric dimensions and monitoring the appearance defects of fuel pellets. The proposed hardware and software architecture of the fuel pellet optical quality control system provides for the possibility of flexible configuration of the control system, the number of image-recording photodetectors, the number of synchronization modules, computers and the placement of processing modules on different computers. The hardware and software architecture of the fuel pellet optical quality control system ensures 100% control of the correct passage of pellets along the conveyor and control of diagnostics of the operation of all components of the machine vision system.

Keywords: hardware and software architecture, fuel pellet, machine vision

Введение

Критически важным для бесперебойной и стабильной работы ядерных реакторов АЭС является качество используемого топлива, а именно таблеток из диоксида урана. Неверный размер или дефекты на поверхности таблеток ядерного топлива могут привести к локальному нарушению теплообмена и возник-

новению аварийной ситуации в реакторе [1]. Поэтому на этапе производства важно обеспечить автоматизированный 100% контроль качества топливных таблеток, который включает в себя высокоточный контроль геометрии и диагностику дефектов внешнего вида таблетки [2-3]. Дефекты внешнего вида таблеток могут быть в виде сколов, трещин на поверхности или дефекты механической обработки таблетки [4-5]. Для контроля размера таблетки необходимо выполнять высокоточные измерения высоты и диаметра с погрешностью менее 3 мкм [6].

Контроль качества топливных таблеток необходимо выполнять во время движения таблеток на конвейере (Линии) от узла шлифовки таблеток на узел укладки на паллеты. Таблетки движутся по Линии в один ряд с максимальной пропускной способностью Линии 3 таблетки в секунду.

Система оптического контроля качества топливных таблеток помимо контроля геометрии и отсутствия на поверхности таблеток дефектов должна контролировать корректность движения таблеток по Линии. В случае заклинивания или выпадения таблетки с транспортера Линия должна остановиться для исключения прохождения неправильно проконтролированной таблетки в зону укладки годной продукции.

Важной частью системы оптического контроля качества топливных таблеток является ее программно-аппаратная часть, которая должна выполнять функции взаимодействия с оптико-электронными компонентами системы, обрабатывать данные, поступающие от приемников изображения, исполнительным контроллером.

Цель данной работы заключается в разработке программно-аппаратной архитектуры системы технического зрения для решения задач измерения геометрических размеров и контроля дефектов внешнего вида топливных таблеток.

Функции системы оптического контроля

Основные функции системы технического зрения Линии: измерение диаметра топливной таблетки, измерение высоты таблетки, поиск и подсчет площади дефектов на боковой поверхности, поиск и подсчет площади дефектов обеих торцевых поверхностей, контроль за корректным движением таблеток по Линии.

Движение таблеток на линии управляется системой автоматизации на базе промышленного контроллера Siemens. Основные функции системы автоматизации Линии, связанные с системой технического зрения – получение информации о результатах измерения, получение информации о состоянии системы технического зрения и передача системе технического зрения информации о выходе контролируемой таблетки из зоны системы технического зрения. Система технического зрения расположена в зоне контроля конвейерной линии для диагностики качества топливных таблеток.

Программно-аппаратная архитектура

Структура аппаратной части архитектуры системы технического зрения представлена рис. 1. Аппаратная часть включает систему автоматизированного

управления Линией (САУЛ), промышленные компьютеры ПК1, ПК2, ПК3, на которых работают модули обработки данных М0 – М9, модули синхронизации МС1 – МС3, фотоприемники К1 – К9, сигнальные фотодатчики ФБ0, ФБ1, ФБ2, ФБ3, осветительные модули О1 – О3, счетчик импульсов енкодера СИ, подключенный к ведущему валу транспортера таблеток.

Функциональные модули аппаратной части системы технического зрения расположены на линии контроля топливных таблеток, как показано на рис. 2. Подсистема контроля состоит из 4 узлов: узел контроля внешнего вида и задней торцевой поверхности У1, узел контроля геометрии таблетки У2, узел контроля боковой и передней торцевой поверхности У3, узел сбрасывания бракованных таблеток У4. Узел контроля внешнего вида и задней торцевой поверхности У1 содержит фотоприемники К1..К4, осветитель О1, сигнальный фотодатчик ФБ1. Узел контроля геометрии таблетки У2 содержит фотоприемник К5, осветитель О2, сигнальный фотодатчик ФБ2. Узел контроля боковой и передней торцевой поверхности У3 содержит фотоприемники К6..К9, осветитель О3, сигнальный фотодатчик ФБ3. Узел сбрасывания бракованных таблеток У4 содержит сигнальный фотодатчик ФБ0. Счетчик импульсов СИ подключен к енкодеру, закрепленному на валу, расположенном на узле контроля геометрии таблетки У2.

Программно-аппаратная часть системы технического зрения работает следующим образом. Топливная таблетка движется по Линии и при входе в узел контроля внешнего вида и задней торцевой поверхности У1 генерирует импульс сигнального фотодатчика ФБ1. Модуль синхронизации МС1 с фиксированной задержкой D1 включает осветитель О1 на время E1 и с другой фиксированной задержкой D3 открывает затвор фотоприемника К1, регистрирующего торцевую поверхность таблетки. Далее, с фиксированной задержкой D2 с момента регистрации импульса сигнального фотодатчика ФБ1 включает осветитель О1 на время E2 и с другой фиксированной задержкой D4 открывает затвор фотоприемников К2, К3, К4. Зарегистрированные изображения получают модули обработки данных фотоприемников М2, М3, М4, М5, коотрые независимо обрабатывают полученные изображения, подсчитывают общее количество дефектов, найденных на каждом изображении, и передают результаты измерения в головной модуль обработки М0.

Топливная таблетки, проходя узел контроля геометрии таблетки У2, аналогично узлу У1 генерирует импульс сигнального фотодатчика ФБ2. Модуль синхронизации МС2 с фиксированной задержкой D5 включает осветитель О2 на время E2 и с другой фиксированной задержкой D6 открывает затвор фотоприемника К5, регистрирующего изображение таблетки в контровом свете. Изображение анализируется модулем обработки данных фотоприемников М1, и результат измерения диаметра и высота таблетки передается в модуль М0.

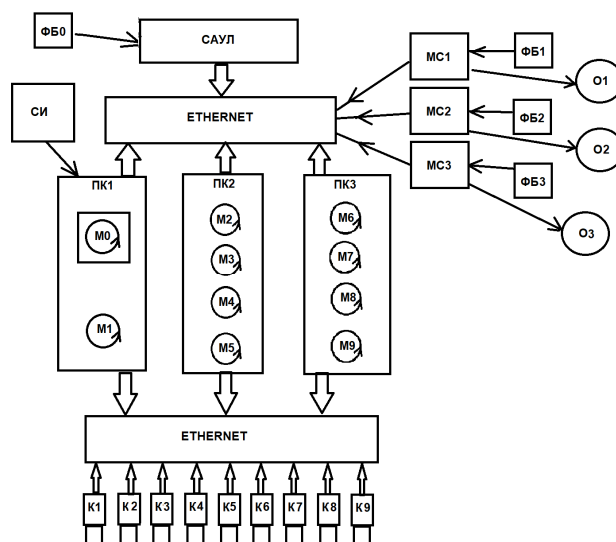


Рис. 1. Структура аппаратной части системы технического зрения

Далее, топливная таблетки, проходя узел контроля боковой и передней торцевой поверхности У3, аналогично узлу У1, регистрирует изображения таблетки фотоприемниками К6..К9, которые обрабатываются модулями обработки данных фотоприемников М6, М7, М8, М9, и результаты обработки передают модулю М0.

Головной модуль обработки данных М0 принимает результаты обработки изображений таблетки модулями М1..М9 и формирует итоговый результат контроля таблетки, в котором содержится информация о диаметре таблетки, ее высоте, годности по диаметру и высоте, код, определяющий фотоприемники, которые детектировали дефекты на поверхности таблетки, и годность таблетки по внешнему виду. Далее модуль М0 передает информацию о таблетке в систему автоматизированного управления Линией САУЛ.

Дополнительно, модуль М0 проверяет время задержек между регистрациями изображений различными фотоприемниками, опираясь на показания счетчика импульсов энкодера СИ, и, в случае некорректных задержек, сообщает об ошибке системе автоматизированного управления Линией САУЛ.

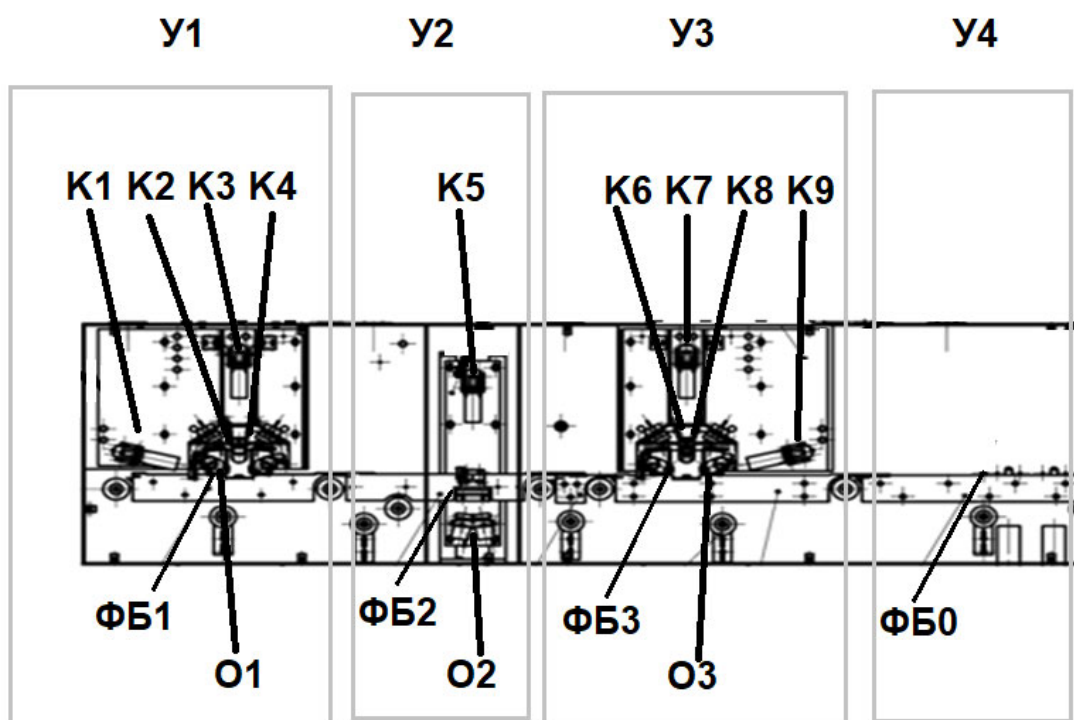


Рис. 2. Расположение функциональных модулей на узле технического зрения

При вхождении топливной таблетки в узел сбрасывания бракованных таблеток У4, система автоматизированного управления Линией САУЛ принимает сигнальный импульс от фотодатчика ФБ0 и передает информацию о регистрации таблетки в зоне сдува головному модулю обработки данных М0. Модуль обработки данных М0 проверяет время прихода таблетки в узел У4 и в случае неверного времени сообщает об ошибке системе автоматизированного управления Линией САУЛ.

Заключение

Разработанная программно-аппаратная архитектура системы оптического контроля качества топливных таблеток предусматривает возможность гибкого конфигурирования размеров производственной линии, количества регистрирующих изображения фотопримеников, количества модулей синхронизации, компьютеров и размещение модулей обработки на различных компьютерах. Программно-аппаратная архитектура системы оптического контроля качества топливных таблеток обеспечивает 100% контроль корректного прохождения таблеток по транспортеру и, в случае заклинивания таблетки или ее несанкционированного опрокидывания, будет выполнена аварийная остановка Линии для устранения проблемы оператором. Разработанная программно-аппаратная архитектура реализована в составе линии автоматизированного контроля внешнего вида и геометрических размеров топливных таблеток с производительностью более 3 таб-

леток в секунду, погрешностью измерения диаметра менее 3 мкм, достоверностью контроля внешнего вида и геометрических размеров более 99,5%. Линия успешно работает в непрерывном режиме в цехе по производству таблеток уранового производства АО УМЗ, г. Усть-Каменогорск.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания ИТ СО РАН.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Решетников Ф.Г., Бибилашвили Ю.К., Головнин И.С., Горский В.В. Казеннов Ю.И., Меньшикова Т.С., Никулина А.В., Романеев В.В. Разработка, производство и эксплуатация тепловыделяющих элементов энергетических реакторов. Кн. 1. М.: Энергоатомиздат, 1995. 320 с.
2. Финогенов Л.В., Белобородов А.В., Ладыгин В.И., Чугуй Ю.В., Загоруйко Н.Г., Гуляевский С.Е., Шульман Ю.С., Лавренюк П.И., Пименов Ю.В. Оптико-электронная система автоматического контроля внешнего вида топливных таблеток // Дефектоскопия. – 2007. – № 10. – С. 68–79.
3. Власов Е.В., Белобородов А.В., Завьялов П.С., Сырецкий Д.Г. Контроль внешнего вида торцов топливных таблеток в условиях конвейерного производства // Дефектоскопия. – 2023. – №7. – С. 33–43.
4. Бакакин Г.В., Двойнишников С. В., Павлов В.А., Рахманов В.В. Технология изготовления эталонных калибровочных имитаторов топливных таблеток реакторов водо-водяного типа // ИнтерЭкспо Гео-Сибирь, Т.8, №1, 2022. – С.94–98.
5. Бакакин Г.В., Двойнишников С.В., Рахманов В.В., Павлов В.А. Способ изготовления и контроля качества имитаторов топливных урановых таблеток для настройки системы технического зрения контроля дефектов поверхности // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – №8 (122). – URL: <https://research-journal.org/archive/8-122-2022-august/10.23670/IRJ.2022.122.17>.
6. Двойнишников С.В., Рахманов В.В., Кабардин И.К., Меледин В.Г., Семенов Д.О. Способ определения края объектов цилиндрической формы на изображении теневым методом размерного контроля // Автометрия, 2022. – №1. – С. 40-46.

© С. В. Двойнишников, В. В. Рахманов, В. О. Зуев, Г. В. Бакакин, 2025