

11. Ergin, A., Ugurlu, B. (2009). Linear vibration analysis of cantilever plates partially submerged in fluid. *Journal of Fluids and Structures*, 17 (7), 927–939. doi: 10.1016/s0889-9746(03)00050-1

12. Moffal, S., He, L. (2005). On decoupled and fully-coupled methods for lade curved cylindrical plates with variable thickness. *Journal of Fluids and Structures*, 20, 217–234. doi: 10.1016/j.jfluidstructs.2004.10.012

13. Zabegaev, A. I. (2002). Dynamical model of composite shell construction for calculation loads in conditions of intensive shearing actions. *First Utkin reading. Math. All-Russian scientific and technical conference Saint-Petersburg*, 2, 138–140.

14. Ivanko, T. G., Keller, D. F. (2012). Investigations of ground-wind loads for launch vehicles. *Journal of Spacecraft and Rockets*, 49 (4), 574–585. doi: 10.2514/1.59457

15. Alijant, F., Amabili, M. (2014). Non-linear vibrations of shells: A literature review from 2003 to 2013. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 58 (2064), 233–257. doi: 10.1016/j.ijnonlinmec.2013.09.012

16. Qatu, M. S., Sullivan, R. W., Wang, W. (2010). Recent research advances of the dynamic analysis of composite shells: 2000–2009. *Composite Structure*, 93 (1), 14–31. doi: 10.1016/j.compstruct.2010.05.014

17. Abel, J. F., Cooke, J. R. (Eds.) (2008). *Proceeding of the 6th International Conference on Computation of Shell and Spatial Structures IASS-IACM 2008: Spanning Nano to Mega*. Cornell University, Ithaca, NY, USA.

18. Naimark, M. A. (1969). *Linear differential operators*. Moscow: Nauka, 528.

19. Berezansky, Yu. M. (1965). *Expansion by eigenfunctions of self-adjoint operators*. Kyiv: Nauk. Dumka, 779.

20. Levitan, B. M., Sargsyan, I. S. (1970). *Introduction in spectral theory (self-adjoint ordinary differential operators)*. Moscow: Nauka, 671.

Рекомендовано до публікації д-р фіз.-мат. наук Л. Г. Гречко Дата надходження рукопису 11.02.2015

Лерман Леонід Борисович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, відділ «Теорія наноструктурних систем», Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка НАН України, вул. Генерала Наумова, 17, м. Київ, Україна, 02124
E-mail: llerman@yandex.ru

УДК 620.179

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.39344

РАЗРАБОТКА АППАРАТНОЙ ЧАСТИ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В СЫПУЧЕМ СЫРЬЕ НА БАЗЕ МЕТОДА СКАНИРУЮЩЕГО СИГНАЛА

© Л. М. Замиховский, И. Т. Левицкий

В статье рассматривается актуальная проблема контроля металлических включений в сыпучем сырье. Предложен метод контроля металлических включений на базе сканирующего сигнала. Проведено проектирование и подбор компонентов аппаратной части системы. В частности, разработан и изготовлен блок обработки и формирования сигналов

Ключевые слова: *металлические включения, сканирующий сигнал, микроконтроллер, алгоритм, усилитель, магнитные катушки, коммутатор*

The urgent problem of control of metallic inclusions in the granular materials was considered in the article. The control method of metallic inclusions based on the scanning signal was proposed. The design and selection of hardware components of the system was conducted. Specifically, unit of processing and signal forming was designed and manufactured

Keywords: *metallic inclusions, scanning signal, microcontroller, algorithm, amplifier, magnetic coils, switch*

1. Введение

Сегодня во многих отраслях промышленности при управлении технологическими процессами переработки сыпучего сырья, транспортируемого конвейерной линией с целью дальнейшей его переработки, актуальной является задача контроля металлических включений находящихся в сырье. Их попадание в оборудование по переработке сырья может привести к возникновению дефектов или его отказа и, как следствие, к возникновению аварийных ситуаций и остановки технологического процесса [1, 2].

2. Постановка проблемы

Известные методы и системы контроля металлических включений, к сожалению, не позволяют

выявлять металлические включения с определением их габаритов и местоположения в потоке сырья, что не удовлетворяет предъявляемым требованиям к ведению современного технологического процесса и ограничивает область применений таких систем.

3. Литературный обзор

Известен метод обнаружения и удаления металлических включений в подвижном сырье [3], заключающийся в том, что сырье перемещается через зону трех датчиков, расположенных под углом 450, 1350 и 900 относительно направления движения сырья. При наличии металлических включений в сырье, сигналы поочередно принимаются с первого и второго датчиков, а затем с третьего датчика, выпол-

няющего роль формирователя транспортной задержки. При этом два первых датчика выполняют роль формирователя координаты металлического включения. Недостатком метода является отсутствие возможности определения координат двух и более металлических включений одновременно. В методе [4] производится идентификация полезной компоненты (в данном случае – металлического включения) в отдельно стоящих кусках металлосодержающего сырья путем продольного и поперечного размещения индукционных датчиков параллельно поверхности рабочей ветви конвейера. При этом центры датчиков смещены в проекции на плоскость, перпендикулярную вектору движения конвейерной ленты по определенной формуле. Недостатком метода является значительное количество индукционных датчиков, что значительно усложняет техническую реализацию данной системы и повышает ее стоимость, а также неравномерная чувствительность индукционного датчика вдоль его зоны контроля.

4. Расчет параметров аппаратной части системы

Метод сканирующего сигнала [5] позволяет осуществлять контроль металлических включений в потоке сырья на ленточном конвейере с определением их габаритов и местоположения. Дополнительным преимуществом данного метода является также возможность одновременного обнаружения нескольких металлических включений с определением их габаритных размеров и координатных параметров. Принцип работы метода базируется на формировании сканирующего сигнала с подвижным максимумом амплитуды напряженности магнитного поля «колоколообразной» формы в пределах ширины конвейерной ленты с последующей обработкой принятых сигналов, которые идентифицируют наличие, локализацию и расположение металлических включений, рис. 1.

С целью реализации рассмотренного метода была разработана следующая структурная схема системы, рис. 2. Система представляет собой шесть излучающих (поз. 2, рис. 2) и шесть приемных катушек (поз. 3), а также блок формирования и обработки сигналов (поз. 6). Количество магнитных катушек определялась исходя из средних размеров конвейерной ленты, необходимой разрешающей способности системы и конструктивных особенностей излучающих магнитных катушек.

Исходя из габаритных размеров элементов ленточного конвейера (рис. 3) ширина конвейерной ленты составила 715 мм. Однако полностью общая площадь ленты транспортируемым сырьем не нагружается, а составляет максимум 70 % от ее ширины, то есть составляет не более 500 мм. Исходя из условий реализации метода сканирующего сигнала [6], соотношение расстояния между катушками и высотой конвейера (рис.4) составит:

$$\Delta < 0.35h, \tag{1}$$

где Δ – расстояние между катушками, h – расстояние между приемным и излучающим модулем.

Расстояние от плоскости ленты к бортам конвейера составляет 200 мм (рис. 3), а с учетом заполнения ленты сырьем и необходимым расстоянием от ленты и сырья к датчикам, расстояние между приемными и излучающими модулями составило 300 мм. При этом расстояние между катушками с учетом (1) составит менее 105 мм. Для удобства последующих вычислений примем это расстояние равным 100 мм, поскольку ширина ленты равна 500 мм, а расстояние между катушками 100 мм, то общее количество катушек составит 12, то есть по 6 излучающих и приемных катушек

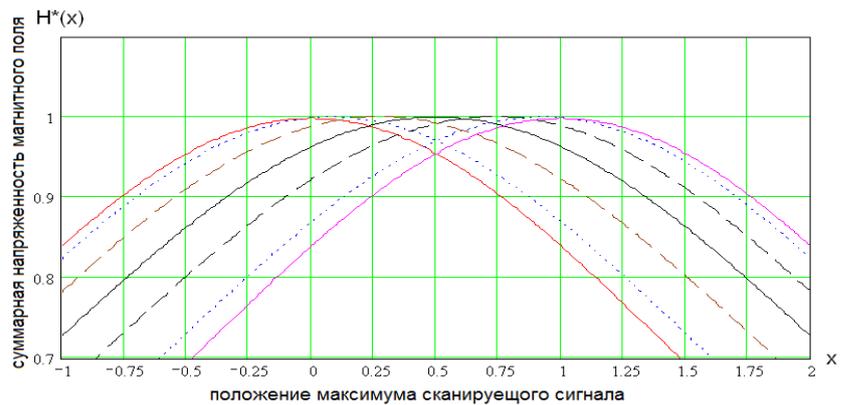


Рис. 1. График суммарной горизонтальной составляющей напряженности магнитного поля

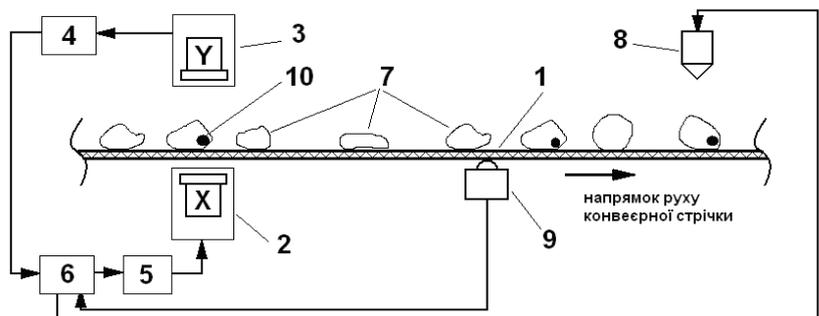


Рис. 2. Структурная схема системы контроля металлических включений: 1 – конвейерная лента; 2 – излучающий блок; 3 – приемный блок; 4 – усилитель сигнала; 5 – усилитель мощности; 6 – микропроцессорное устройство; 7 – сырье; 8 – маркировочное устройство; 9 – датчик скорости; 10 – металлические включения

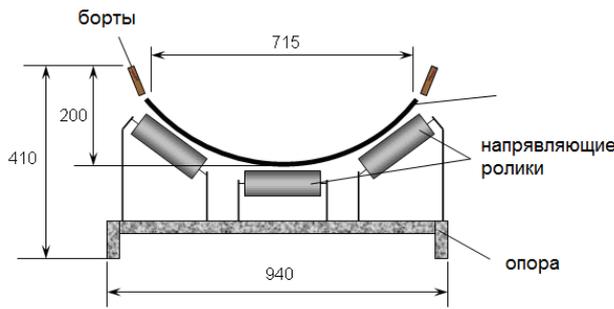


Рис. 3. Конструктивные размеры конвейерной ленты

Далее определим габаритные и технические характеристики излучающих и приемных катушек. Учитывая, что расстояние между катушками равно 100 мм, то минимальный диаметр катушек составил 50 мм. Максимальный диаметр катушки с учетом наложенных на ее каркас витков равен 70 мм. С учетом выходной мощности усилителей выходного сигнала, а также габаритных размеров катушек они изготавливались из проводника диаметром 0.35 мм с количеством витков равным $n=1000$, что позволило обеспечить рабочий ток в катушке равный $I_k=0.65$ А и достаточный для формирования магнитного поля излучающей катушки.

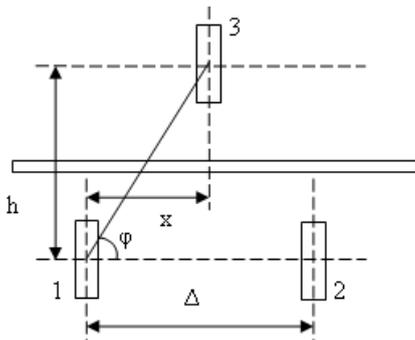


Рис. 4. Схема размещения приемных и излучающих катушек

5. Апробация результатов исследования

Современная элементная база позволяет проводить разработку системы с использованием микроконтроллеров с высокой скоростью обработки сигналов, а также широким перечнем встроенных аппаратных средств с различными функциональными возможностями. На рис. 5 изображена функциональная схема аппаратной части системы контроля металлических включений.

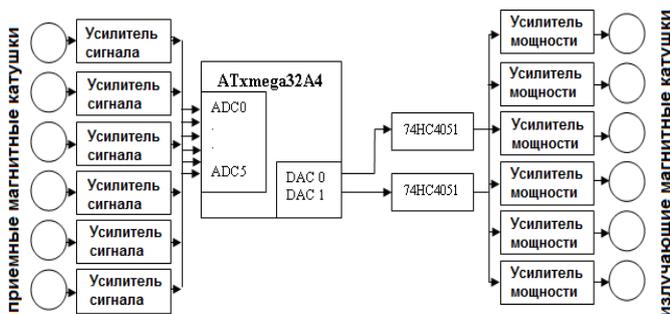


Рис. 5. Функциональная схема аппаратной части системы контроля

Основу аппаратной части составляет микроконтроллер ATmega32A4. Выбор микроконтроллера обусловлен его высоким быстродействием (32 млн. бинарных операций в секунду), наличием достаточного размера оперативной и постоянной памяти с возможностью их наращивания, а также цены. Значительное преимущество микроконтроллера ATmega32A4 среди аналогичных обусловлено наличием в нем 10-ти канального 12-ти разрядного высокоскоростного АЦП, а также двухканального 12-ти разрядного ЦАП. Наличие этих встроенных преобразователей позволяет увеличить скорость вывода сигнала и скорость его оцифровки по сравнению с внешними преобразователями. Несмотря на то, что в системе использовано шесть излучающих катушек, а микроконтроллер ATmega32A4 имеет лишь два ЦАП, для одновременного генерирования подвижного сканирующего сигнала двух магнитных катушек использовали два аналоговых коммутатора 74HC4051. Сигнал с аналоговых коммутаторов поступает на усилители мощности а затем на магнитные катушки. Такой схемотехнический подход позволяет упростить и, в конечном результате, удешевить систему. На рис. 6 изображен внешний вид блока обработки и формирования сигналов.



Рис. 6. Внешний вид блока обработки и формирования сигналов

Для приема излучающего сигнала использовано шесть магнитных катушек, выходной сигнал с которых после усиления поступает на АЦП. Поскольку микроконтроллер содержит 10 каналов АЦП, то необходимость в отдельном коммутаторе отпадает, что значительно повышает быстродействие. На рис. 7 показан внешний вид одного из блоков магнитных катушек с геометрическими параметрами, рассчитанными выше.

В процессе работы системы микроконтроллер генерирует две синусоиды определенной амплитуды и частоты в соответствии с разработанным алгоритма. При определенном выборе двух магнитных катушек из шести, микроконтроллер включает в двух комму-

таторах соответствующий канал и сигнал после усиления поступает на выбранные соседние магнитные катушки.



Рис. 7. Внешний вид блока магнитных катушек

Одновременно происходит прием излучающего сигнала. Приемные магнитные катушки принимают этот сигнал, который после усилителя поступает на АЦП микроконтроллера. Наличие металлического включения между приемной группой катушек и излучающей обуславливает изменение параметров приемного сигнала, что фиксирует микроконтроллер.

6. Выводы

Применение в системе контроля микроконтроллера с повышенным быстродействием и достаточным объемом оперативной и постоянной памяти позволяет использовать при обработке входных сигналов алгоритмы цифровых волновых фильтров [7], что увеличивает функциональность и разрешение системы контроля металлических включений.

Рассмотренная система была апробирована на технологическом процессе изготовления керамических изделий на Ивано-Франковском заводе строительных керамических изделий «Керамикбудсервис» (Украина) и показала свою эффективность.

Литература

1. Левицький, І. Т. Сучасний стан контролю складу сировини (глини) для керамічної промисловості [Текст] / І. Т. Левицький // «Наукові вісті» Інституту менеджменту та економіки «Галицька академія». – 2007. – № 1 (12). – С. 26–30.
2. Левицький, І. Т. Аналіз вибірки металовключень у сипучій сировині в умовах ВАТ «Керамикбудсервіс» [Текст] / І. Т. Левицький // Вісник Східноукраїнського університету імені Володимира Даля. – 2012. – Ч. 2, № 8 (179). – С. 91–95.
3. Патент 2180373 Российская Федерация, МПК D06H3/14. Способ обнаружения и удаления металлических частиц в движущемся материале [Текст] / Суздальцев А. И., Андреев В. О., Тиняков С. Е. – заявитель и патентообладатель Орловский государственный технический университет. – № 2001107765/12; заявл. 22.03.2001; опубл. 10.03.2002.
4. Патент 2379129 Российская Федерация, МПК B07V15/00. Устройство идентификации полезного компо-

нента в металлосодержащем сырье естественного или техногенного происхождения [Текст] / Волошин В. М. – заявитель и патентообладатель В. М. Волошин. – № 2008122151/03; заявл. 2.06.08; опубл. 20.01.10, Бюл. № 2.

5. Патент 106959 України, МПК B07V15/00. Спосіб локалізації та ідентифікації металовключень у сировині на стрічковому конвеєрі та система для його реалізації [Текст] / Замиховський Л. М., Євчук О. В., Левицький І. Т. – заявник і патентовласник. – № a201315542; заявл. 30.12.13; опубл. 27.10.14, Бюл. № 20.

6. Замиховський, Л. М. Метод локалізації та ідентифікації сторонніх металічних предметів в сировині на ленточному конвеєрі [Текст] / Л. М. Замиховський, І. Т. Левицький // Молодой ученый. – 2014. – № 8(67). – С. 173–178.

7. Замиховський, Л. М. Метод конт-ролю металевих включень у сировині для виготовлення керамічних виробів [Текст] / Л. М. Замиховський, І. Т. Левицький // Ме-тоди і прилади контролю якості. – 2012. – № 2 (29). – С. 113–118.

References

1. Levytskyi, I. (2007). Current state control composition of raw materials (clay) for ceramic industry. "Science news" Institute of Management and Economics "Galician Academy". Ivano-Frankivsk, 1 (12), 26–30.
2. Levytskyi, I. (2012). Analysis included in group metallis in terms of raw materials LLC "Keramikbudservys". Bulletin of Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 8 (179), 91–95.
3. Suzdaltsev, A. I., Andreev, V. O., Tynyakov, S. E. (2002). Patent 2180373 Russian Federation, IPC D06H3/14. A method of detecting and removing metal particles in a moving material. Applicant and patentee Orel State Technical University. №2001107765/12; appl. 22.03.2001; publ. 10.03.2002.
4. Voloshin, V. M. (2010). Patent 2379129 Russian Federation, IPC B07V15/00. Identification device useful component in the metal-containing raw material of natural or man-made origin. The applicant and patentee Voloshin, V.M., №2008122151/03; appl. 02.06.2008; publ. 20.01.2010, Bul. Number 2.
5. Zamihovskyi, L. M., Levytskyi, I. T., Yevchuk, O. V. (2014). Patent 106959 Ukraine, IPC B07V15/00. Method localization and identification of metallic inclusions in the raw materials for belt conveyors and the system implementation. the applicant and patentee Zamihovskyi, L. M., Levytskyi, I. T., Yevchuk, O. V., № a201315542; appl. 30.12.2013; publ. 27.10.2014, Bul. Number 20.
6. Zamihovskyi, L. M., Levytskyi, I. T. (2014) Method of localization and identification of extraneous metal objects on the feed conveyor belt. Jounng scientist. 8 (67), 173–178.
7. Zamihovskyi, L. M., Levytskyi, I. T. (2012) Control method metallic inclusions in the raw material for the manufacture of ceramic products. Methods and instruments for quality control, 2 (29), 113–118.

Дата надходження рукопису 23.02.2015

Заміховський Леонід Михайлович, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри, кафедра комп'ютерних технологій в системах управління і автоматики, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019
E-mail: leozam@ukr.net

Левицький Іван Теодорович, асистент, кафедра комп'ютерних технологій в системах управління і автоматики, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019
E-mail: letis@ukr.net