

УДК 004.056

**ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ
МАГНИТОИНДУКЦИОННЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ
ФЕРРОМАГНИТНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ В СОБИРАЕМОЙ КОМБАЙНОМ
МАССЕ**

Бережной А.Р.

аспирант,

*Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиала) ДГТУ в
г. Шахты,
Шахты, Россия*

Маков С.В.

к.т.н., доцент,

*Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиала) ДГТУ в
г. Шахты,
Шахты, Россия*

Аннотация

В статье анализируются подходы к обнаружению металлических включений в комбайнах, основанные на изменениях статического магнитного поля. Рассматриваются методы обработки сигналов магнитоиндукционных датчиков. Традиционная аналоговая фильтрация ограничена из-за помех, создаваемых конструкцией. Предлагаются цифровая обработка сигналов и методы машинного обучения, включая сверточные и рекуррентные нейронные сети, обеспечивающие улучшение анализа данных. Однако проблемы ложных срабатываний и пропусков сохраняются, что требует дальнейших исследований для создания более надежных систем.

Ключевые слова: Обработка сигнала, комбайн, помехи, детектирование металла.

***OVERVIEW OF EXISTING METHODS FOR PROCESSING
MAGNETOINDUCTION SIGNALS FOR DETECTING FERROMAGNETIC
INCLUSIONS IN THE COLLECTED COMBINE MASS***

Berezhnoy A.R.

student,

Institute of Service and Entrepreneurship (branch) DSTU in Shakhty,

Shakhty, Russia

Makov S.V.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,

Institute of Service and Entrepreneurship (branch) DSTU in Shakhty,

Shakhty, Russia

Summary

The article analyzes approaches to detecting metal inclusions in combines based on changes in the static magnetic field. The methods of signal processing of magnetoinduction sensors are considered. Traditional analog filtering is limited due to the interference caused by the design. Digital signal processing and machine learning methods, including convolutional and recurrent neural networks, are proposed to improve data analysis. However, the problems of false positives and omissions persist, which requires further research to create more reliable systems.

Keywords: Signal processing, combine harvester, interference, metal detection.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в сельскохозяйственной области все более широкое применение получают системы детектирования металлических объектов. Кроме того, подобные датчики применяются на конвейерных лентах, на различных технологических этапах производства, так и непосредственно в самих комбайнах при уборке зерновых культур. Такие системы позволяют продлить срок службы комбайна и предотвратить повреждения его элементов, включая ножи, молотилки и другие компоненты.

Методы, используемые для детектирования металла в основном основываются на работах, разработанные К. Л. Беннеттом и К. Э. Боуменом [1]. Согласно их исследованиям, принцип детектирования основан на аналоговой обработке сигнала, наводимого на измерительный датчик. Однако данный подход сталкивается с проблемами, связанными с помехами, вызванными вращающимися частями комбайна, работающими на разных частотах. Кроме того, сварной шов на валке также влияет на показания электромагнитного датчика.

Таким образом, основной задачей является снижение влияния помех от различных частей комбайна на работу электромагнитного датчика.

Обзор существующих методов обработки магнитоиндукционных сигналов для обнаружения ферромагнитных включений в собираемой комбайном массе.

Принцип обнаружения металлических предметов в кормоуборочных комбайнах основан на выявлении изменений в статическом магнитном поле при прохождении вблизи ферромагнитных объектов [2, 3]. Для реализации такого метода применяются мощные магниты (создающие статическое магнитное поле) и индукционные датчики в виде катушек. Когда ферромагнитный объект проходит в зоне чувствительного элемента, он вызывает изменения напряженности магнитного поля, что генерирует ЭДС в катушках [4, 5].

Сам датчик представляет собой катушку с намотанным проводом. Однако создаваемая катушкой электродвижущая сила (ЭДС) достаточно мала, поэтому сигнал приходится усиливать. В реальных условиях работы системы датчики подвержены множеству помех. Основным источником помех является валец комбайна. Хотя валец, как правило, изготовлен из немагнитного металла, его сварные швы обладают ферромагнитными свойствами, что вносит значительный уровень помех. Дополнительные помехи создаются другими элементами конструкции комбайна.

Современные системы обнаружения металлов, используемые в кормоуборочных комбайнах, для минимизации помех и сохранения полезного сигнала применяют аналоговую фильтрацию сигнала, поступающего с усилителя [6, 7]. Метод включает запоминание уровня шума от вращающихся механизмов при холостом ходе машины. Во время работы текущий оцифрованный сигнал сравнивается с сохраненным уровнем шума, и при превышении заданного порога генерируется сигнал остановки.

Несмотря на практическую применимость, данный подход имеет серьезные ограничения. Он часто подвержен ложным срабатываниям при резких изменениях скорости, например, при обработке влажной массы. Также на точность влияет зажимной механизм комбайна, фиксирующий массу в питателе. Этот механизм, представляющий собой стальную балку, способную двигаться с большими ускорениями, вызывает значительные наводки в измерительных катушках. Учитывая невозможность полной изоляции датчика от внешних элементов, применяют цифровую обработку сигналов. Она лучше устраняет помехи, но также не гарантирует отсутствие ложных срабатываний или пропуска небольших металлических предметов.

Для повышения точности анализа сигналов начали применять методы на основе нейронных сетей, включая сверточные и рекуррентные архитектуры. Нейронные сети продемонстрировали значительное улучшение качества обработки данных с усложнением моделей. Рекуррентные

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ ЭЛ № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

нейронные сети показали лучшие результаты по сравнению со сверточными, так как способны учитывать временные зависимости в последовательности сигналов.

Тем не менее, даже современные подходы, включая нейронные сети, не обеспечивают полного решения проблемы помех. Системы остаются подверженными внешним воздействиям, а пропуски небольших металлических объектов и ложные срабатывания остаются нерешенной задачей. Таким образом, необходимы дальнейшие исследования и разработки для создания более устойчивых методов обработки сигналов, способных минимизировать влияние помех и повысить надежность обнаружения металлических предметов[8].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные системы обнаружения металлических объектов в сельскохозяйственных комбайнах демонстрируют значительные успехи благодаря использованию как аналоговых, так и цифровых методов обработки сигналов. Принципы работы этих систем основаны на изменениях в статическом магнитном поле при взаимодействии с ферромагнитными объектами, что позволяет эффективно обнаруживать металлические включения. Однако существующие подходы, такие как аналоговая фильтрация сигналов, имеют ограничения, связанные с ложными срабатываниями и невозможностью полностью исключить влияние внешних помех, включая ферромагнитные свойства сварных швов и динамические элементы механизма.

Переход к цифровой обработке сигналов открывает новые перспективы для повышения точности и надежности детектирования. Этот подход позволяет минимизировать влияние внешних помех, сохраняя полезный сигнал, что особенно важно в условиях повышенной сложности рабочей среды комбайна. Дополнительно применение нейронных сетей, особенно рекуррентных, показало высокий потенциал в анализе сигналов, благодаря

Дневник науки | www.dnevniknauki.ru | СМИ Эл № ФС 77-68405 ISSN 2541-8327

способности учитывать временные зависимости и адаптироваться к различным условиям работы.

Библиографический список

1. Беннетт К.Л., Боумен К.Э. Speed independent static field metal detector: пат. US 3972156. 1976. (A 01 D69/10).
2. Хойджун, К. NRA-Net–Neg-Region Attention Network for Salient Object Detection with Gaze Tracking / К. Хойджун, Х. С. Квон, С. Ли // Sensors. – 2021. – Т. 21. – С. 1753.
3. Ким, Д. A study on the improvement of skin loss area in skin color extraction for face detection / Д. Ким, Г. Ли, К. Хан, С. Ли // J. Korea Converg. Soc. – 2019. – Т. 10. – С. 1–8.
4. Брускини, К. A Multidisciplinary Analysis of Frequency Domain Metal Detectors for Humanitarian Demining: PhD Thesis. – 2002.
5. Рипка, П. Depth estimation of metal objects / П. Рипка, М. Яносек, П. Новачек // Procedia Engineering. – 2010. – Vol. 5. – P. 280–283.
6. Чжан, Х. Electromagnetic tracking for abdominal interventions in computer aided surgery / Х. Чжан // Computer Aided Surgery. – 2006. – Vol. 11, no. 3. – P. 127–136. – DOI: 10.3109/10929080600721478.
7. Быков, А. Б. Металлодетектор уборочной машины и способ обнаружения ферромагнитного тела (его варианты) : пат. 2244182 Российская Федерация : МПК G01R33/02, G01V3/08 / А. Б. Быков, В. В. Томчук, Д. А. Лозин, Н. И. Джус, И. Н. Джус.
8. Вернези, М. А. Современные методы обработки магнитно-индуцированных сигналов для обнаружения металлических предметов в сельском хозяйстве / М. А. Вернези, А. Д. Лукьянов, Е. А. Вернези, Д. Н. Савенков // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Sochi, Russian Federation, 2023. – 2023. – С. 775-779. – DOI: 10.1109/ICIEAM57311.2023.10139234.

Оригинальность 75%