ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАФТИ І ГАЗУ
МІНІСТЕРСТВА ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ЛЕВИЦЬКИЙ ІВАН ТЕОДОРОВИЧ

УДК 681.518.5:519.7:666.3/.7

ДИСЕРТАЦІЯ

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ПІДГОТОВКИ СИРОВИНИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КЕРАМІЧНИХ ВИРОБІВ ІЗ ПІДСИСТЕМОЮ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА ВИЛУЧЕННЯ МЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ

Спеціальність 05.13.07 – автоматизація процесів керування

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____І. Т. Левицький

Ідентичність всіх примірників дисертації

Засвідчую

Вчений секретар спеціалізованої

вченої ради Д 20.052.03_____/Т. В. Гуменюк/

Підпис Т. В. Гуменюка засвідчую:

Вчений секретар університету _____/В. Р. Процюк/

Науковий керівник: **Заміховський Л. М.**, доктор технічних наук, професор

Івано-Франківськ – 2021

АНОТАЦІЯ

Левицький І.Т. **Автоматизована система керування процесом підготовки сировини для виготовлення керамічних виробів із підсистемою ідентифікації та вилучення металевих включень.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – Автоматизація процесів керування. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2021.

В роботі проаналізовані автоматизовані системи керування (АСК) технологічним процесом підготовки сировини для виготовлення керамічних виробів, методи і засоби ідентифікації металевих включень (МВ) у сировині на конвеєрній стрічці та обгрунтована перспективність використання АСК, оснащених підсистемами ідентифікації і вилучення МВ, що вимагає теоретичного обґрунтування методу ідентифікація МВ та розробки підсистеми для його реалізації.

Розроблені функціональна схема підсистем ідентифікації і вилучення МВ з описом її складових та структурна схема інтеграції вказаних підсистем в АСК процесом підготовки сировини.

Проведено теоретичне обґрунтування та розроблено метод ідентифікації МВ шляхом формування електромагнітного поля і встановлення додаткової котушки для формування спрямованої діаграми направленості в зоні досліджуваної ділянки конвеєрної стрічки з сировиною.

На основі запропонованого методу розроблені функціональні блоки підсистеми ідентифікації МВ - блок вимірювання ЕРС приймальної котушки та блок формування сигналу збудження і обробки виміряної ЕРС, а також структурна схема підсистеми ідентифікації МВ та описано принцип їх роботи.

Розроблено на базі контролера Simatic S7-1200 підсистему вилучення МВ з сировини, її алгоритмічне і програмне забезпечення.

Проведено розробку і інтеграцію підсистеми ідентифікації та вилучення МВ в структуру АСК процесом підготовки сировини, яка включала розробку апаратного, комунікаційного і алгоритмічного забезпечення. З метою забезпечення обміну даних між підсистемами ідентифікації і вилучення МВ, передбачено використання протоколу передачі даних ModBus RTU. Для оперативного контролю і управління передбачена панель оператора KTP700.

Проведена апробація підсистеми ідентифікації МВ на розробленій лабораторній установці у вигляді ділянки конвеєрної лінії обладнаної електричним приводом, а також на лінії №1 СВП «Завод ПРОКЕРАМ» ТОВ «Голд Кераміка», яка підтвердила її ефективність.

***Ключові слова*:** автоматизована систем керування, алгоритм, розрахункова модель, числове моделювання, метод ідентифікації, підсистема ідентифікації і вилучення, система магнітних котушок, електромагнітний блок, металеве включення, програмне забезпечення, сировина.

АННОТАЦИЯ

Левицкий И.Т. **Автоматизированная система управления процессом подготовки сырья для производства керамических изделий с подсистемой идентификации и извлечения металлических включений.** – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – Автоматизация процессов управления. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2021 год.

В работе проанализированы автоматизированные системы управления (АСУ) технологическим процессом подготовки сырья для изготовления керамических изделий, методы и средства идентификации металлических включений (МВ) в сырье на конвейерной ленте и обоснована перспективность использования АСУ, оснащенных подсистемами идентификации и извлечения МВ, что требует теоретического обоснования метода идентификации МВ и разработки подсистемы для его реализации.

Разработаны функциональная схема подсистем идентификации и извлечения МВ с описанием ее составляющих и структурная схема интеграции указанных подсистем в АСУ процессом подготовки сырья.

Проведено теоретическое обоснование и разработан метод идентификации МВ путем формирования электромагнитного поля и установки дополнительной катушки для формирования диаграммы направленности в зоне исследуемого участка конвейерной ленты с сырьем.

На основе предложенного метода разработаны функциональные блоки подсистемы идентификации МВ – блок измерения ЭДС приемной катушки и блок формирования сигнала возбуждения и обработки измеренной ЭДС, а также структурная схема подсистемы идентификации МВ и описан принцип их работы.

Разработана на базе контроллера Simatic S7-1200 подсистема извлечения МВ из сырья, ее алгоритмическое и программное обеспечение.

Проведена разработка и интеграция подсистемы идентификации и извлечения МВ в структуру АСУ процессом подготовки сырья, включающая разработку аппаратного, коммуникационного и алгоритмического обеспечения.

С целью обеспечения обмена данных между подсистемами идентификации и извлечения МВ предусмотрено использование протокола передачи данных ModBus RTU. Для оперативного контроля и управления предусмотрена панель оператора KTP700.

Проведена апробация подсистемы идентификации МВ на разработанной лабораторной установке в виде участка конвейерной линии оборудованной электрическим приводом, а также на линии №1 СОП «Завод ПРОКЕРАМ» ООО «Голд Керамика», подтвердившая ее эффективность.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, алгоритм, расчетная модель, числовое моделирование, метод идентификации, подсистема идентификации и извлечения, система магнитных катушек, электромагнитный блок, металлическое включение, программное обеспечение, сырье.

ABSTRACT

Levytskyi I.T. **An automated control system for the preparation of raw materials for the production of ceramic products with a subsystem for identifying and extracting metal inclusions.** - Qualifying scientific work as a manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.13.07 - Automation of control processes. - Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2021.

The paper analyzes automated control systems (ACS) for the technological process of preparing raw materials for the manufacture of ceramic products, methods and means of identifying metal inclusions (MI) in raw materials on a conveyor belt, and substantiates the prospects of using an ACS equipped with subsystems for identifying and extracting MI, which requires theoretical justification and the development of a subsystem for its implementation.

A functional diagram of subsystems for identification and extraction of MI with a description of its components and a structural diagram of the integration of these subsystems into an ACS for the process of raw material preparation have been developed.

A theoretical substantiation has been carried out and a method has been developed for identifying MI by forming an electromagnetic field and installing an additional coil to form a directional radiation pattern in the area of the investigated section of a conveyor belt with raw materials.

On the basis of the proposed method, functional blocks of the subsystem for identifying MI have been developed - a unit for measuring the electromagnetic force of the receiving coil and a unit for generating an excitation signal and processing the measured electromagnetic force, as well as a block diagram of the subsystem for identifying MI and the principle of their operation.

A subsystem for extracting MI from raw materials, its algorithmic and software has been developed on the basis of the Simatic S7-1200 controller. The subsystem allows the extraction of ferrous MI by selectively switching on electromagnets,

depending on the location and dimensions of the detected MI. The subsystem operation algorithm assumes automatic unloading of the extracted MI.

The development and integration of a subsystem for identification and extraction of MI into the structure of an ACS for the preparation of raw materials, which included the development of hardware, communication and algorithmic support, was carried out. In order to ensure the exchange of data between the subsystems for the identification and extraction of MI, the use of the ModBus RTU data transfer protocol is provided. For operational monitoring and control, the KTP700 operator panel is provided.

The subsystem of identification of MI was tested on the developed laboratory installation in the form of a section of the conveyor line equipped with an electric drive, as well as on line No. 1 of the SVP "Plant PROKERAM" LLC "Gold Ceramics", which confirmed its effectiveness.

Key words: automated control system, algorithm, computational model, numerical modeling, identification method, identification and extraction subsystem, magnetic coil system, electromagnetic unit, metal inclusion, software, raw materials.

ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА

1. Zamikhovskyi L., Levitskyi I., Nykolaychuk M., Striletskyi Yu. (2021) Mathematical fundamentals of the method of identification of metal inclusions in raw materials with automatic determination of their coordinates. *Scientific Journal of TNTU* (Tern.), vol 103, no 3, pp. 23–32. (***Фахове видання, Index Copernicus***).

2. Zamikhovskiy L.M., Levitsky I.T., Nykolaychuk M.Y.. Designing a system that removes metallic inclusions from bulk raw materials on the belt conveyor. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. ISSN 1729-3774. 2021. № 3/2(111). p. 79 -87. (***Фахове видання, Scopus***).

3. Заміховський Л.М., Левицький І.Т. *Метод контролю металевих включень і сировині для виготовлення керамічних виробів. Методи та прилади контролю якості*. 2012. № 2(29). С. 113-118. (***Фахове видання***).

4. Левицький І.Т. Аналіз вибірки металовключень у сипучій сировині в умовах ВАТ "Керамікбудсервіс". *Науковий журнал «Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля».* Луганськ, 2012. №8(179) ч.2. С. 91-95. (***Фахове видання***).

5. Zamihovskyi L., Levytskyi I., Gromaszekb K., Smailovac S., Akhmetovad A., Sagymbekovab A.. Development of control system of metallic inclusions in granular materials based on the method of scanning signal. *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*. 2016, 100310H (28 September 2016); doi: 10.1117/12.2249200. (***Scopus***).

6. Замиховский Л.М., Левицький І.Т. Метод локализации и идентификации посторонних металлических предметов в сырье на ленточном конвейере. *Научный журнал «Молодой ученый».* 2014. №8(67). С. 173-178. (***Index Copernicus***).

7. Замиховский Л.М., Левицкий И.Т. Разработка аппаратной части системы контроля металических включений в сыпучем сырье на базе метода сканируещого сигнала. *Науковий журнал «ScienceRise».* 2015. №3/2(8). С. 78-81.

8. Замиховский Л.М., Левицький И.Т. Разработка структуры и формулирование требований для импульсного спектрометра спинового ЭХА. *Методы и средства технической диагностики. Сборник научных статей.* Йошкар-Ола, 2008. С. 144 - 148.

9. Заміховський Л.М., Левицький І.Т. Розробка структури і формування вимог до системи пошуку металевих включень у сировині для виготовлення керамічних виробів. Наукові вісті Галицької академії. №17(1). Івано-Франківськ, 2010. С. 38-42.

10. Левицький І.Т. Сучасний стан контролю складу сировини (глини) для керамічної промисловості. Наукові вісті Галицької академії. №2(12). Івано-Франківськ, 2007. – С. 101-104.

11. Спосіб локалізації та ідентифікації металовключень у сировині на стрічковому конвеєрі та система для його реалізації: пат. 106959 України, МПК B07B15/00; № a201315542. заявл. 30.12.13 ; опубл. 27.10.14, Бюл. № 20. Заміховський Л. М., Євчук О. В., Левицький І. Т.

12. Заміховський Л.М., Левицький І.Т. Розробка MODBUS-модуля підсистеми контролю металовключень для інтеграції в систему управління технологічним процесом виготовлення керамічних виробів. *Інтелект. продукт вчених і винахід. Прикарпаття: Щорічний каталог найвагом. винах., корисн. моделей, пром. зразків і рац. пропозицій Галицьких кмітливців*. Івано-Франківськ, 2018. С. 41-43.

13. Заміховський Л.М., Левицький І.Т. Система для безконтактного контролю металевих включень у сипучій сировині в умовах стрічкового конвеєру. *Інтелект. продукт вчених і винахід. Прикарпаття 2015: Щорічний каталог найвагом. винах., корисн. моделей, пром. зразків і рац. пропозицій Галицьких кмітливців*. Івано-Франківськ, 2015. С. 68-71.

14. Zamikhovskyi L. M., Mirzoieva O. Y., Nykolaychuk M.J., Levitsky I.T.. Development of a method for identification of metal inclusions in raw materials with automatic determination of their coordinates. The 5th International scientific and

practical conference. *Results of modern scientific research and development* (July 25-27, 2021) Barca Academy Publishing, Madrid, Spain. 2021. 81-88p.

15. Еліяшів О.М., Левицький І.Т. Дослідження процесу взаємодії феромагнітного об'єкту з електромагнітним полем випромінюючої котушки в програмному пакеті FEMM 4.2. *Збірник тез доповідей «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості»:* IV Всеукраїнська наукова-практична конференція молодих учених і студентів. Івано-Франківськ, 2019. С. 125-128.

16. Левицький І.Т. Розробка skada-системи для управління процесом діагностування, виявлення і видалення металовключень у сипучій сировині. *Методи і засоби діагностики в техніці і соціумі МіЗД ТС-2018:* матеріали VI(XXX) Міжн. міжвуз. школи-семінару, 17-18 груд. 2018 р. Івано-Франківськ, 2018. С. 93-98.

17. Zamikhovskiy L.M., Levitsky I.T. Computer modeling of the scanning signal to detect metallic inclusions in raw materials. *The second joint international conference STED2017 and IIS 2017*, which will take place in Banja Luka on 02 - 03 November 2017, Bosnia and Herzegovina.

18. Заміховський Л.М., Левицький І. Т. Система керування механізмом видалення металевих включень в умовах виробництва керамічної цегли. *Summer InfoCom 2017:* Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 1-2 червня 2017р. Київ. Вид-во ТОВ «Інжиніринг», 2017. С. 71-72.

19. Заміховський Л.М., Левицький І.Т. Розробка безпровідної системи зв'язку для системи контролю металовключень у сипучій сировині. *«ТАК»: телекомунікації, автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології:* зб. доповідей Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених, 29-30 листопада 2016 р. Покровськ: ДВНЗ «Дон-НТУ», 2016. С. 67-69 с.

20. Левицький І.Т. Аспекти розробки віддаленої web-системи контролю металовключень у сипучій сировині. *Методи і засоби діагностики в техніці та соціумі (МіЗД ТС-2015)*. V (XXIX) Міжнародна міжвузівська школа семінар, (16-19 листопада 2015 року) Збірник матеріалів. Івано-Франківськ. Видавництво «Факел» ІФНТУНГ. 2015. С. 120-122 с.

21. Заміховський Л.М., Левицький І.Т. Розробка апаратної частини системи контролю металовключень у сипучій сировині методом скануючого сигналу. *Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання:* VIII Міжнародна наукова-технічна конференція, Івано-Франківськ, 25-28 листопада 2014. С. 305-307.

22. Заміховський Л.М., Левицький І.Т. Розробка апаратного забезпечення системи контролю металовключень в сировині для виготовлення керамічних виробів. *Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах:* II-а Міжнародна наукова конференція. Вінниця. 29-31 жовтня 2013 р. С. 275-277.

23. Заміховський Л.М., Левицький І.Т. Аналіз джерел металовключень в глині та структура системи для їх пошуку. *Неруйнівний контроль та технічна діагностика:* матеріали 7-ої Націон. наук.-техн. конф. і виставки. Київ, 20-23 лист. 2012 р. Київ: УТНКТД, 2012. С. 348-350.

24. Левицький І.Т. Система контролю металевих включень у сипучій сировині. *Сучасна інформаційна Україна: інформатика, економіка, філософія:* VI Міжнародна науково-практична конференція молодих учених, аспірантів, студентів. Донецьк, 26 квітня 2012р. С. 208-212.

25. Левицький І.Т. Аналіз вибірки металовключень у сипучій сировині в умовах ВАТ "Керамікбудсервіс". *Сучасні тенденції розвитку інформаційних технологій в науці, освіті та економіці:* VI Всеукр. наук.-практ. конференції . (31 травня – 1 червня 2012р.). Луганськ, ЛНУ ім. Т.Шевченка, 2012. С. 57-59.

26. Левицький І.Т. Завадостійкість системи контролю металовключень до природних і індустріальних завад. *Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання:* VI Міжнародна наукова-технічна конференція і виставка. Івано-Франківськ, 29 листопада – 2 грудня 2011р. С. 147-150.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ …….. 15

ВСТУП …… 16

1 СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МЕТОДІВ І СИСТЕМ ІДЕНТИФІКАЦІЇ МЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ У ТЕХНОЛОГІЧНІЙ СИРОВИНІ НА КОНВЕЄРНІЙ СТРІЧЦІ …….. 23

1.1 Глина як сировина для керамічних виробів та короткий опис технологічного процесу їх виготовлення …… 23

1.2 Вплив металевих включень у сировині на технічний стан обладнання технологічної лінії для виготовлення керамічних виробів .. 28

1.3 Аналіз АСК технологічної ліній підготовки сировини для виготовлення керамічних виробів …… 31

1.4 Аналіз методів ідентифікації металевих включень у сировині на конвеєрній стрічці ……. 36

1.5 Аналіз сучасних технічних засобів ідентифікації металевих включень у сировині для виготовлення керамічних виробів …… 46

1.6 Висновки і постановка задач дослідження …… 53

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКІВ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОІГЧНОГО ПРОЦЕСУ ПІДГОТОВКИ СИРОВИНИ ДЛЯ РОЗРОБКИ АСК …….. 55

2.1 Дослідження елементів технологічного процесу підготовки сировини…….. 55

2.2 Статистичний аналіз металевих включень у сировині для виготовлення керамічних виробів …… 60

2.3 Розробка структурної і функціональної схеми підсистеми ідентифікації та вилучення металевих включень …….. 66

2.4 Оцінка технічного рівня і якості АСК процесу підготовки сировини …… 75

Висновки до розділу 2 …….. 78
3 РОЗРОБКА ТЕОРЕТИЧНИХ ЗАСАД ПІДСИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА ВИЛУЧЕННЯ МЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ…….. 79
3.1 Вихідні положення методу ідентифікації металевих включень в сировині ……..… 79
3.2 Побудова моделі взаємодії металевих включень з електромагнітним полем …….. 82
3.3 Дослідження моделі взаємодії металевих включень з магнітним полем 84
3.4 Розробка моделі блоку формування спрямованого магнітного поля для ідентифікації металевих включень в сировині……... 88
3.5 Математична модель магнітного поля з двома котушками, рознесеними в просторі ……..…….…… 91
3.6 Оцінка параметрів середовища застосування методу ідентифікації металевих включень ……..… 95
3.7 Принцип пошуку положення металевого включення за двома вимірюваннями……..……..… 97
Висновки до розділу 3 ……..…. 100
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ФУНКЦІЦНАЛЬНИХ БЛОКІВ ПІДСИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ МЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ У СИРОВИНІ НА КОНВЕЄРНІЙ СТРІЧЦІ ……... 102
4.1 Розробка функціональних блоків підсистеми ідентифікації металевих включень в сировині з автоматичним визначенням їх координат на конвеєрній стрічці…….. 102
4.2 Розробка складових підсистеми ідентифікації металевих включень в сировині ……. 108
4.2.1 Реалізація блоку генератора цифрових сигналів …… 108
4.2.2. Реалізація блоку обробки сигналу ЕРС приймальної котушки …. 109

4.3 Алгоритм роботи блоку обробки сигналу ЕРС приймальної котушки…….. 112
4.4 Розробка цифрового хвилевого фільтру для мікропроцесорної обробки вхідних сигналів ……..……... 117
Висновки до розділу 4 ……..…. 122
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ПІДСИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ І ВИЛУЧЕННЯ МЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ В СКЛАДІ АСК ПІДГОТОВКИ СИРОВИНИ …… 124
5.1 Розробка апаратного і комунікаційного комплексу підсистеми ідентифікації та вилучення металевих включень …….. 124
5.2. Розробка програмного і алгоритмічного забезпечення підсистеми ідентифікації та вилучення металевих включень…….... 130
5.3 Розробка електромагнітного блоку вилучення металевих включень. 134
5.4 Розробка вузла частотного електроприводу конвеєрної стрічки АСК технологічної лінії підготовки сировини ……..……. 140
5.5 Визначення показників надійності вузлів технологічної лінії підготовки сировини ……. 144
5.6 Апробація підсистеми ідентифікації та вилучення металевих включень …… 151
Висновки до розділу 5 …….. 155
ВИСНОВКИ …….. 157
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ …… 159

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АД – асинхронний електродвигун;

АСК – автоматизована система керування;

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач;

АЧХ – амплітудно-частотна характеристика;

БУ – блок управління;

ДК – достовірність контролю;

ДО – діагностична ознака;

ІВС – інформаційна вимірювальна система;

МВ – металеві включення;

ОК – об’єкт контролю;

ОП – операційний підсилювач;

ПЕОМ – персональна електронно обчислювальна машина;

ПП – перехідний процес;

ПХ – перехідна характеристика;

СД – система діагностування;

СПФ – смугопропускний фільтр;

СВП – структурно відокремлений підрозділ

ТЗК – технічні засоби контролю;

ЦАП – цифро аналоговий перетворювач

ШПФ – швидке перетворення Фур’є;

ЦХФ – цифровий хвилевий фільтр.

ВСТУП

Актуальність теми. На сучасному етапі розвитку промисловості будівельних матеріалів велике значення має зниження собівартості продукції, зокрема за рахунок зниження витрат на ремонт і обслуговування технологічного обладнання. При цьому зростання виробництва керамічних виробів, зокрема будівельної цегли, керамічної плитки і ін., обумовлює збільшення об'ємів підготовки сировини (глини) необхідної для їх виготовлення. Наслідком такого збільшення є зростаюче навантаження на технологічне обладнання з підготовки сировини і підвищені вимоги до його функціональних можливостей. Використання неякісної вхідної сировини при спрощеному підході до її попередньої обробки може призвести до виходу з ладу технологічного обладнання і, як наслідок, до зростання витрат обумовлених простоями обладнання, його ремонтом і зниженням якості вихідної продукції. Однією із основних причин виходу із ладу обладнання є вплив на нього сировини із вмістом металевих включень, поява яких обумовлена існуючою технологією видобутку і підготовки глини.

Існуючі автоматизовані системи керування (АСК) технологічним процесом виготовлення керамічних виробів не забезпечують в повній мірі вирішення вказаної проблеми. Це обумовлено тим, що питанням контролю якості сировини, зокрема методам і засобам ідентифікації металевих включень (МВ) в сировині з автоматичним визначенням їх координат на конвеєрній стрічці, а також впливу металевих включень в сировині на надійності експлуатації АСК не приділялося належної уваги.

В той же час, зменшення кількості відмов обладнання і, відповідно, підвищення його надійності, можна досягти інтеграцією в АСК технологічним процесом виготовлення керамічних виробів системи ідентифікації МВ в сировині і підсистеми їх вилучення.

Проблемі ідентифікації МВ і підвищення надійності АСК виготовленням керамічних виробів та управління технологічним процесом в цілому присвячена

значна кількість робіт вітчизняних і зарубіжних вчених. Суттєвий вклад в її розвиток внесли Л.І Волчкевич, Б.В. Гнеденко, А.І. Горбунов, В.С. Зороховіч, В.А.Каштанов, Л.В. Котін, В.І. Лукященко, А.І.Медведєв, М.А. Назаров, А.В. Остроух, В.М. Поляков, А.С. Проніков, Л.Л. Роткоп, Н.Е. Суркова, А.А. Червоний, Б.І. Черпаков, Р.Р. Чаудхарі, S. Magdi, H.M. Ye, A. Ziegler і інші. Зокрема, розробці нових методів і систем діагностування та вилучення МВ в сировині на технологічній лінії присвячені роботи таких вчених як А.В. Бахірєв, Л.М. Заміховський, С.І. Малафеєв, В.І. Сініцин, Є.А., Тараканов і ін. Однак вони є недостатніми для забезпечення ефективності і надійності роботи АСК технологічним процесом виготовлення керамічних виробів.

У зв’язку з цим вдосконалення уже існуючих АСК процесом підготовки сировини шляхом інтеграції в них підсистеми ідентифікації МВ в сировині з автоматичним визначенням їх координат на конвеєрній стрічці та підсистеми подальшого вилучення МВ є актуальною задачею.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика дисертації є частиною планових науково-дослідних програм із розвитку нафтопромислового комплексу України і базується на результатах науково-дослідних робіт «Наукові засади побудови на базі сучасних інформаційних технологій розподілених систем моніторингу, контролю, управління та діагностування об’єктів нафтогазового комплексу України», номер державної реєстрації в УкрНДІНТІ №018U006957, «Методологічні засади побудови систем управління, діагностування та енергозберігаючих систем частотного управління електроприводом для об'єктів нафтогазового комплексу» номер державної реєстрації в УкрНДІНТІ №0112U006551.

Мета роботи і завдання досліджень: Метою роботи є забезпечення надійності і ефективності функціонування АСК технологічним процесом виготовлення керамічних виробів шляхом інтеграції в неї підсистеми ідентифікації МВ в сировині з автоматичним визначенням їх координат на конвеєрній стрічці та підсистеми їх подальшого вилучення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

– провести аналіз сучасного стану та перспектив розвитку АСК процесом виготовлення керамічних виробів з реалізацією функції ідентифікації МВ в технологічній сировині на конвеєрній стрічці;

– розробити теоретичні передумови методу ідентифікації МВ в сировині на конвеєрній стрічці та провести його дослідження на експериментальному стенді;

– розробити підсистему ідентифікації МВ в сировині на конвеєрній стрічці з автоматичним визначенням їх координат, як функціональну складову АСК процесом виготовлення керамічних виробів та провести її стендову апробацію;

– розробити підсистему вилучення МВ з сировини, як функціональну складову АСК процесом виготовлення керамічних виробів, її алгоритмічне і програмне забезпечення;

– провести інтеграцію розроблених підсистем ідентифікації МВ і їх вилучення з сировини в АСК технологічним процесом виготовлення керамічних виробів та провести їх апробацію на діючій АСК.

Об’єктом дослідження є технологічний процес виготовлення керамічних виробів.

Предметом дослідження є АСК технологічним процесом виготовлення керамічних виробів та засоби ідентифікації і вилучення МВ із сировини.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених в роботі задач використовувалися основи теорії: систем, автоматичного управління, вимірювань, інваріантності, цифрового опрацювання сигналів, електромагнітних кіл, а також методи технічної діагностики машин і механізмів. При розробці підсистем ідентифікації МВ в сировині та їх видалення використовувались методи системо- і схемотехніки.

Наукова новизна отриманих результатів:

В дисертаційній роботі вперше:

- вперше розроблено структуру АСК технологічним процесом виготовлення керамічних виробів з урахуванням підсистеми ідентифікації МВ і

автоматичним визначенням їх координат та підсистеми вилучення МВ, що в порівнянні з існуючими АСК, дозволило підвищити її надійність в процесі експлуатації та попередити виникнення аварійних ситуацій пов'язаних з потраплянням МВ в основні вузли технологічної лінії;

- вперше створено розрахункову модель визначення величини напруженості електромагнітного поля, утвореного індуктивними котушками системи ідентифікації металевих включень, що дало можливість провести числове моделювання напруженості магнітного поля при зміні координат положення МВ на конвеєрній стрічці в просторі між котушками для множини типових матеріалів;

- вперше розроблено апроксимаційну модель, що покладена в основу методу ідентифікації МВ, яка описує їх координати в сировині на конвеєрній стрічці відносно положення трьох котушок збудження, які є елементами підсистеми ідентифікації МВ, що дало можливість автоматичного визначенням їх координат і, як наслідок, прискорити роботу підсистеми вилучення МВ та підвищити надійність АСК технологічним процесом виготовлення керамічних виробів в цілому.

Удосконалено метод формування електромагнітного поля шляхом встановлення додаткової котушки для формування спрямованої діаграми направленості в зоні досліджуваної ділянки конвеєрної стрічки з сировиною, що дозволило підвищити як чутливість системи ідентифікації до параметрів електромагнітного поля, так і вірогідність ідентифікації МВ в сировині.

Наукові результати роботи стали основою для:

– розробки алгоритму сумісної роботи підсистеми ідентифікації МВ та підсистеми їх вилучення, що в порівнянні з існуючим алгоритмом роботи АСК технологічним процесом виготовлення керамічних виробів, дозволило збільшити час напрацювання системи на відмову на 19,7%;

– розробки підсистеми ідентифікації МВ в сировині на конвеєрній стрічці з автоматичним визначенням їх координат та її електромагнітного блоку, що

дозволяє оперативно визначити наявність МВ в сировині, його об’єм, тип металу та місцезнаходження;

– розробки алгоритмів роботи блоків опрацювання вхідних сигналів та цифрового хвилевого фільтру для мікропроцесорної обробки вхідних сигналів, що дозволяє проводити їх обробку в режимі реального часу і, тим самим, підвищити ефективність процесу ідентифікації МВ;

– розробки підсистеми вилучення МВ, а також алгоритмічного і програмного її забезпечення, які дозволяють оперативно реалізувати процес вилучення МВ без зупинки технологічного процесу;

– створення комунікаційної системи для сумісної роботи підсистеми ідентифікації МВ та підсистеми їх вилучення, реалізованої на базі сучасних апаратно-програмних засобів, які працюють в складі АСК технологічним процесом виготовлення керамічних виробів та забезпечують надійний і ефективний процес її експлуатації.

Розроблені підсистеми ідентифікації МВ та їх вилучення пройшли промислову апробацію на лінії №1 СВП «Завод ПРОКЕРАМ» ТОВ «Голд Кераміка» (акт від 8.06.2021р.) та рекомендовані до впровадження.

Результати теоретичних і експериментальних досліджень впроваджено в навчальному процесі – в робочих програмах навчальних дисциплін «Промислові системи автоматики» (для рівня – бакалавр) та «Проектування систем діагностування» (для рівня – магістр), які читаються студентам спеціальності 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» за освітньою програмою «Комп’ютеризовані системи управління та автоматика» (акт від 17.04.2021р.).

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно [4,10,16,20,24,25,26]. У роботах опублікованих у співавторстві, здобувачу належать:

– методологія виявлення МВ в сировині на конвеєрній стрічці [8,9,15,17];

– метод ідентифікації і вилучення МВ підсистеми технологічного процесу підготовки сировини [1,3,5,6,11,14];

– розробка апаратного і програмного забезпечення підсистеми ідентифікації і вилучення АСК технологічного процесу виготовлення керамічних виробів [2,7,13,18,21,22];

– аналіз джерел і факторів, що обумовлюють зменшення надійності АСК технологічного процесу виготовлення керамічних виробів [23], розробка ModBus-модуля і елементів для інтеграції підсистеми ідентифікації в АСК підготовки сировини [12, 19].

Апробація результатів досліджень. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на IV Всеукраїнській науково-практичні конференції молодих учених і студентів «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості», Івано-Франківськ. – 2019; V, VI Міжнародній міжвузівській школі семінарі «Методи і засоби діагностики в техніці та соціумі (МіЗД)», Івано-Франківськ. - 2015 та 2018 роки; IV Міжнародній науково-практичній конференції «Summer InfoCom 2017», Київ. – 2017; OPEN CONFERENCE SYSTEMS, INNOVATIVE IDEAS IN SCIENCE 2017, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina. – 2017; Всеукраїнській науково-практичній конференції молодих вчених «ТАК»: телекомунікації, автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології», Покровськ. – 2016; VI, VIII Міжнародній науково-технічній конференції і виставці «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання», Івано-Франківськ. – 2011 та 2014 роки; II Міжнародній науковій конференції «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах», Вінниця. – 2013; VI Всеукраїнській науково-практичній конференції «Сучасні тенденції розвитку інформаційних технологій в науці, освіті та економіці», Луганськ. - 2012р., VI Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених, аспірантів, студентів «Сучасна інформаційна Україна: інформатика, економіка, філософія», Луганськ. – 2012р., VII Національній науково-технічній конференції і виставці «Неруйнівний контроль та технічна діагностика», Київ. – 2012.

Публікації. За результатами досліджень, які викладені в дисертації, опубліковано 26 наукових праць, серед них: 4 статті у наукових фахових виданнях України та 4 статті у періодичних наукових виданнях інших держав (із них 4 у виданнях, що входять до наукометричної бази даних Scopus і Index Copernicus); 17 у збірниках праць і тезах вітчизняних та міжнародних конференцій; 1 повний патент на винахід.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, 5 розділів з висновками до кожного з них, загальних висновків, списку використаної літератури та додатків. Робота містить 214 с. загального обсягу, з яких 172 с. основного змісту, 112 рисунків, 12 таблиць, список бібліографічних посилань із 117 джерел та додатки на 42 с. Зміст дисертації відображає результати досягнення мети та вирішення основних завдань, результати теоретичних та експериментальних досліджень.

1 СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МЕТОДІВ І СИСТЕМ ІДЕНТИФІКАЦІЇ МЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ У ТЕХНОЛОГІЧНІЙ СИРОВИНІ НА КОНВЕЄРНІЙ СТРІЧЦІ

1.1. Глина як сировина для керамічних виробів та короткий опис технологічного процесу їх виготовлення

Для виготовлення керамічних виробів застосовується сировина мінерального походження – каоліни, глини, кварц, вапняк, польову шпати та ін. Найбільш древньою і, як і раніше, основною сировиною для виробництва керамічних виробів є глина.

Глина утворюється внаслідок природного фізичного і хімічного вивітрювання польовошпатових гірських порід таких як граніт, абсид (вулканічне скло), туф, а також при руйнуванні гнейсів.

Глина в сухому стані – кусковий сипучий матеріал дуже різноманітний за своїм складом і властивостями мінеральних сумішей, які при замочені водою набирають пластичних властивостей, здатні формуватись, висихати та при випалюванні перетворюватися в щільний матеріал.

Глина – осадова порода, що складається з гідроалюмосилікатів із загальною хімічною формулою $nAl_2O_3 \cdot mSiO_2 \cdot zH_2O$ [1]. Частинки глинистих матеріалів мають малий розмір (0.01-10мкм) і в основному пластинчасту форму. Вони здатні не тільки включати воду в свою хімічну структуру (хімічно зв’язана вода), але і утримувати її навколо частинок у вигляді тонких прошарків (фізично зв’язана вода). При змочування глини, вода входить у міжшаровий простір мінералу і його шари отримують можливість легко зміщуватись один щодо одного. Цим пояснюється одна з найважливіших властивостей глин – пластичність. В даний час відомі наступні глинисті матеріали: каолініт, монтморилоніт, галуазит і іллі́т (гідрослюда), що визначають мінеральний склад усіх видів глин.

Хімічний склад глин коливається в широких межах і залежить від мінерального складу і наявності домішок. Основними компонентами глин є кремнезем SiO_2, глинозем Al_2O_3, оксиди лужних і лужноземельних металів K_2O, CaO, MgO, оксиди Fe і Ti. На основі хімічного аналізу можна імовірно судити про придатність глин для певного виробництва, але глини складаються не тільки з глинистих мінералів і зазвичай містять домішки кварцу, польового шпату, карбонатів, оксидів заліза, слюди, а також органічні сполуки. Так, у високоякісному каоліні міститься (%): каолініту – 85-90, кварцу 7-10, польового шпату - 3-5. У звичайній гончарній глині полімінерального складу міститься (%): глинистих мінералів – 45-60, кварцу – 25-35, карбонатів – 2-8. Органічні домішки в глинах коливаються від 3-4 до 18-20%. Вміст глинозему Al_2O_3 визначає в основному ступінь вогнетривкості глини. Так, для виготовлення вогнетривких керамічних виробів застосовують глини, що містять не менше 28% Al_2O_3. Оксиди калію і натрію, навпаки, є сильними плавнями і у вогнетривких глинах їх повинно бути не більше 2%. Вміст у глині Fe_2O_3 і TiO_2 понад 2% свідчить про те, що ця глина після випалу матиме червонуватий колір, а при 5% і вище – темно-червоний колір. CaO та MgO є сильними плавнями при температурі випалу понад 1000^0C. [2].

Пластичністю називають властивість глин утворювати при змішуванні з водою тісто, здатне під дією зовнішніх зусиль приймати будь-яку форму і зберігати її в процесі подальшої обробки (сушіння і випалу). Пластичний стан глини характеризують як проміжне між твердим (суха глина) і текучим (глинисті суспензії) станами. На пластичності глинистих мінералів базується метод пластичного формування глиномістких мас.

За пластичністю природні глини діляться на дві основні групи (5 підгруп): від високо пластичних до непластичних.

По спікливості – обсягом відкритих пор в обпеченому зразку – глини діляться на три категорії: сильноспекливі, слабоспекливі, неспекливі. Для поліпшення спікливості в глину додають плавні (або флюси) – різновиди польових шпатів (алюмосилікати лужних і лужноземельних металів).

За вогнетривкістю глини поділяються на три групи: легкоплавкі, тугоплавкі, вогнетривкі.

Глини представляють собою групу гірських порід, які складаються із глинистих мінералів і являються сировиною для керамічної промисловості, класифікуються за наступними ознаками, рис. 1.1 [3].

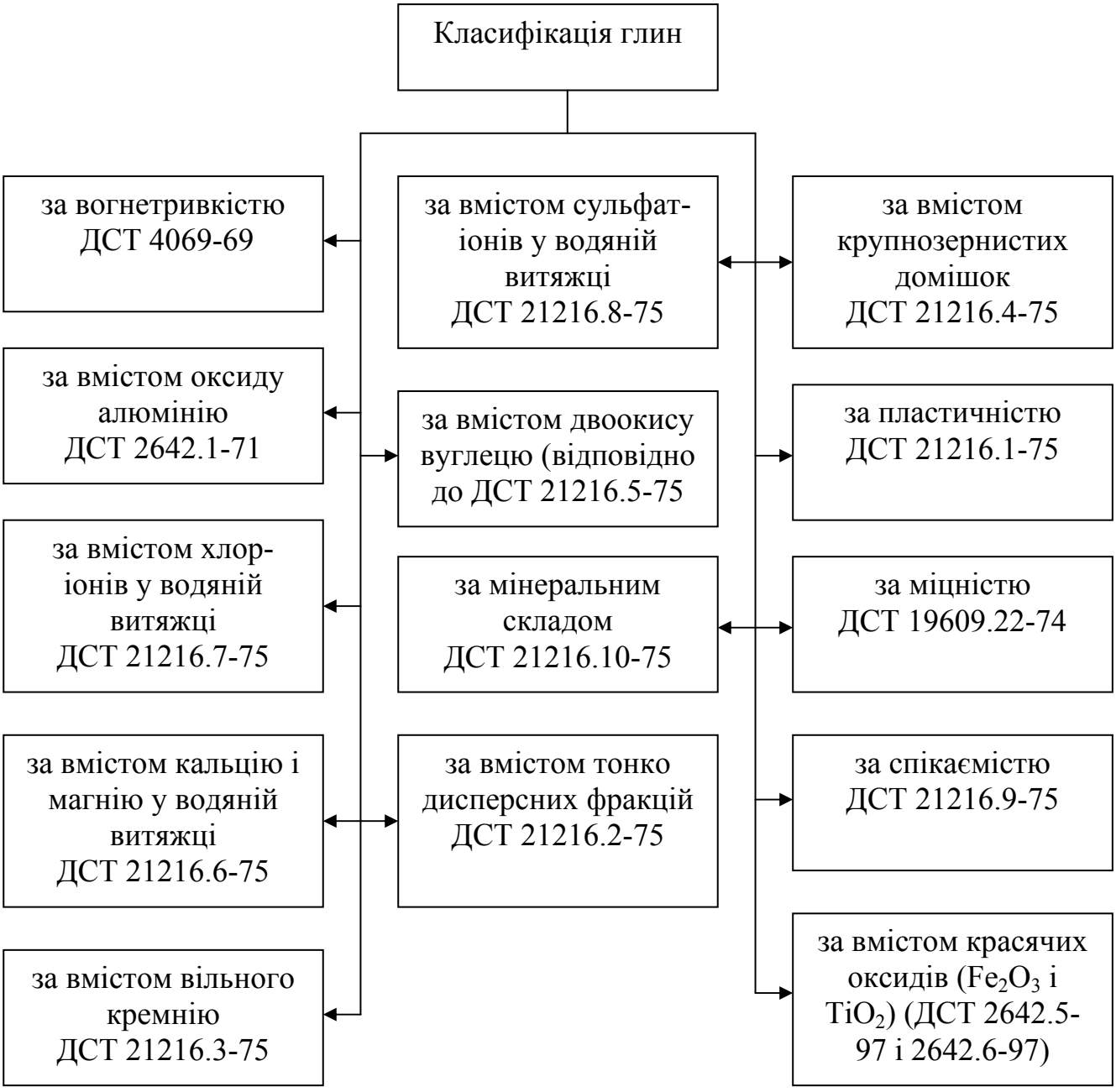


Рисунок 1.1 – Класифікація глин як сировини для виготовлення керамічних виробів та визначення класифікаційних ознак

Добута глина із кар’єру, як правило, повинна проходити ряд процесів до того як поступити на механізовану та технологічну переробку [4].

Значний розкид хімічних, фізичних та технологічних показників глини як сировини для виготовлення керамічних виробів вимагає проведення наступних заходів: вилежування, переморожування, літування та замочування.

Механічна переробка глини полягає в тому, щоб якнайкраще зруйнувати структуру глини, що утворилась геологічно, механічно перемішати глину з водою яка необхідна для формовки виробів та з тими добавками які необхідні за технологічним процесом.

Переробка глини здійснюється на вальцях грубого помолу (рис. 1.2).

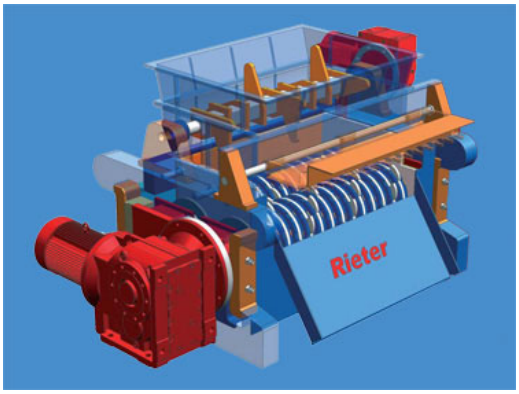


Рисунок 1.2 – Конструкція валкового млина грубого помолу глини [3]

Разом з грубим помолом проходить механічне виділення кам’яних та інших матеріалів, які є недопустимі в глині. На другій стадії проходить тонкий помол на вальцях.

Тонко помолота глина подається в лопатковий змішувач (рис. 1.3) для зволоження і одержування формовочної маси.

Рисунок 1.3 – Конструкція лопатевого змішувача [3]

Формовка виробів здійснюється стрічковими, штанговими чи кривошипно-шатунними пресами, або вручну чи іншими механізованими засобами, які використовуються в цій галузі (рис. 1.4). Крім наведеної схеми є ще й шнекерний спосіб одержання виробів наливним способом та інші. Сформовані вироби підлягають сушінню і випалу.

Рисунок 1.4 – Установка для формування цегли [3]

Сушка виробів, як одна із стадій технологічного процесу, необхідна для того, щоб обезводнити. Великі підприємства круглорічної дії сушать вироби в спеціальних сушарках з примусовим рухом теплоносія – нагрітого повітря. Процес сушки ведеться у відповідності з технологічним регламентом.

Випал – це процес теплової обробки виробів з метою одержання методом спікання. За своїм характером випал є складним фізико-хімічним процесом, який включає виділення залишкової вологи, процесів дегідратації глинястих мінералів, декарбонізації та ряду хімічних процесів з утворенням складних хімічних сполук на основі складників сировини. Процес випалу проходить від розігріву виробів від температури навколишнього середовища до необхідної температури випалювання 800-980 ^{0}C та охолодження до температури навколишнього середовища. Випалювання ведеться в печах періодичної або безперервної дії.

Більшість етапів технологічного процесу виготовлення цегли напряму контактують із глиною, а тому вміст у ній металевих включень становить небезпеку для технологічних ліній і впливає на якість вихідної продукції.

1.2. Вплив металевих включень у сировині на технічний стан обладнання технологічної лінії для виготовлення керамічних виробів

Ризик попадання МВ з'являється кожен раз, коли сировина (матеріал, продукт) переноситься від одної операції до іншої. Дробарки, сушарки, мішалки, подрібнювачі, дозатори являються потенційними джерелами металічних включень. Джерела МВ чисельні, і навіть самий досконалий контроль не може забезпечити чистоту сировини. Застосування сучасних технологічних процесів і систем контролю за наявністю МВ зводить ймовірність їх попадання до мінімуму, а правильний підбір обладнання, що володіє необхідними конструктивними характеристиками, дозволяє з максимальною долею вірогідності виявити і вилучити МВ, що попали у сировину.

МВ переважно поступають із чотирьох джерел [4] (рис.1.5).

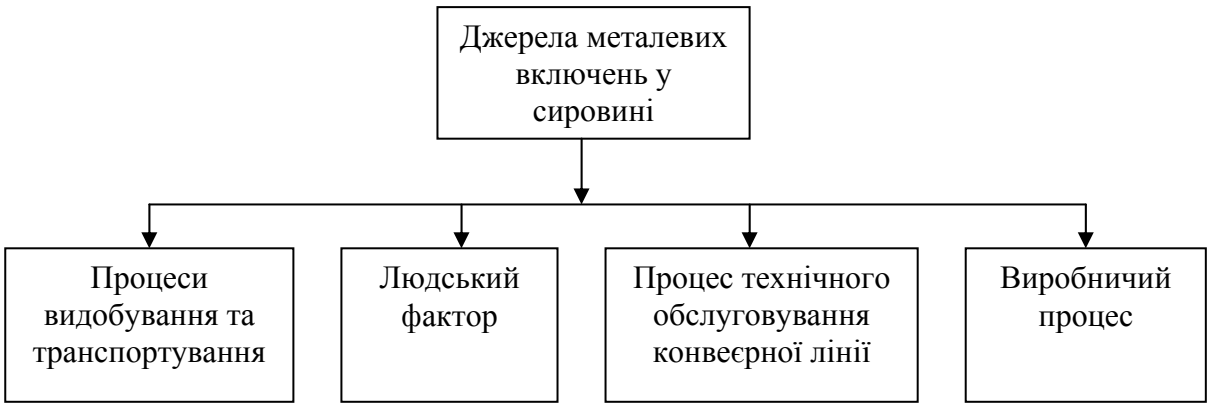


Рисунок 1.5 – Структура джерел МВ

- процеси видобування, упаковування та транспортування.

Типовим прикладом МВ у сировині є металеві бірки, пломби, дріт, сітковий дріт, деталі сільськогосподарської техніки, а також деталі техніки, що займається доставкою сировини, скоби, кантувальні стрічки і інші деталі, які використовуються для упаковування і транспортування.

- до людського фактора, який призводить до появи МВ є попадання монет, канцелярських кнопок, заколок для волосся, затискачів, пишучих ручок, ювелірних виробів, ножів, булавок, пінцетів і ін.

- технологічний обслуговуючий персонал, який після проведення ремонтних робіт залишає викрутки і інший дрібний інструмент, стружка і зварювальний шлак після ремонтних робіт, обривки мідного дроту після ремонту електрочастини, окремі деталі після недбалого прибирання, металева стружка після ремонту труб і іншого обладнання.

- технологічний процес. Небезпека попадання МВ існує завжди при переміщенні сировини або при участі сировини у будь-якому процесі. Дробарки, змішувачі, подрібнювачі, транспортні системи – кожний пристрій вносить свою частку. Прикладами можуть бути осколки огорожі, частини ножів чи інших робочих органів, фольга від утилізованих продуктів, кріпильні вироби (болти, гайки, гравера, шайби, шпонки, шплінти), деталі вузлів і механізмів.

Визначення ймовірного джерела МВ є важливим етапом в розробці структури системи ідентифікації МВ у сировині.

Так, на рис. 1.6 наведені фото зношеного конусного млина.

а)

б)

а) конус млина; б) зворотна сторона конусного млина

Рисунок 1.6 – Фото зношеного конусного млина обумовленого попаданням МВ

Металеві включення, що викликали таке зношування млина (рис. 1.6) були незначного розміру, а тому не призвели до виходу його з ладу, проте знизили якість вихідної сировини. Хоча так буває не завжди. У 1992 році на Лисятинському цегельному заводі попадання деталі гусениці від ковшового навантажувача (частина трака) спричинило вихід з ладу млина дрібного помолу і лінії формування цегли. У фінансовому еквіваленті в період гіперінфляції це вилилось у фінансові втрати в розмірі 210 тис. крб. Саме ця аварія а також скрутне фінансове положення заводу спричинило зупинку заводу та подальшу його повну ліквідацію. У 1994 році на Райлівському цегельному заводі Дрогобицького району попадання зуба ковша екскаватора у валковий млин спричинило зупинку лінії на один тиждень в результаті чого фінансові втрати склали 2 млн. купонів. Відомі випадки попадання МВ і на заводі СВП «Завод ПРОКЕРАМ» ТОВ «Голд Кераміка» (с. Загвіздя, Івано-Франківська область). Так, попадання деталі конвеєрної лінії у сировину викликало повний вихід з ладу валкого млина і призвело до зупинки однієї з двох ліній. В результаті цієї аварії матеріальні втрати склали близько 450 тис. грн.

Аналогічні випадки мали місце і на іноземних підприємствах. Так, на одному із заводі Брянської області (Росія), тривале попадання дрібних МВ спричинило інтенсивний знос робочої поверхні валкового преса. (рис. 1.7).

Рисунок 1.7 – Знос робочої поверхні валкового преса

Відновлення поверхні таких валків призводить до зупинки виробництва, перевезення валків для відновлення, сам процес відновлення та в сукупності витрати на ліквідацію вказаної відмови склали близько 80 тис. доларів США.

Окремо слід зауважити, що потрапляння МВ призводить до зменшення надійності АСК технологічною лінією, так як це спричиняє заклинювання валків помолу, шнеку формовочного пресу, поломки робочих органів автомату порізки.

Як підсумок, наслідком потрапляння МВ у сировину є:

- пришвидшений знос технологічного обладнання;
- аварійні ситуації;
- відмови технологічного обладнання;
- низька якість вихідної продукції;
- наслідкові фінансові затрати.

1.3. Аналіз АСК технологічних ліній підготовки сировини для виготовлення керамічних виробів

Заводи з виробництва керамічної продукції комплектуються технологічними лініями підготовки сировини, а вони у свою чергу оснащуєтся системами автоматизації переважно різних фірм-виробників. Основний акцент при автоматизації технологічної лінії підготовки сировини ставиться на дешевизну і спрощення управління. В результаті не завжди досягаються поставлені задачі автоматизації, а питанню ідентифікації металовключень приділяється недостатня увага.

Фірма «ЮгПромАвтоматика» (Росія), що спеціалізується на комплексній автоматизації, комплектує лінії підготовки сировини власною системою автоматики [5]. При цьому вилучення металевих включень здійснюється шляхом розміщення постійного електромагніту марки П100М. Даний електромагніт в систему автоматики не інтегрований, а містить окреме ручне управління. Це обґрунтовується конструкцією самого електромагніту і його принципом роботи,

яка не передбачає утримування чи розвантаження вилучених металевих включень при відсутності живлення (рис.1.8).

Як результат, дана система не передбачає вилучення МВ кольорових металів, а також металевих включень, що мають невелику вагу і знаходяться під шаром сировини. Окрім цього, в системі не передбачено автоматичне саморозвантаження вилучених металевих включень, що створює необхідність у ручному розвантаженні електромагніта.

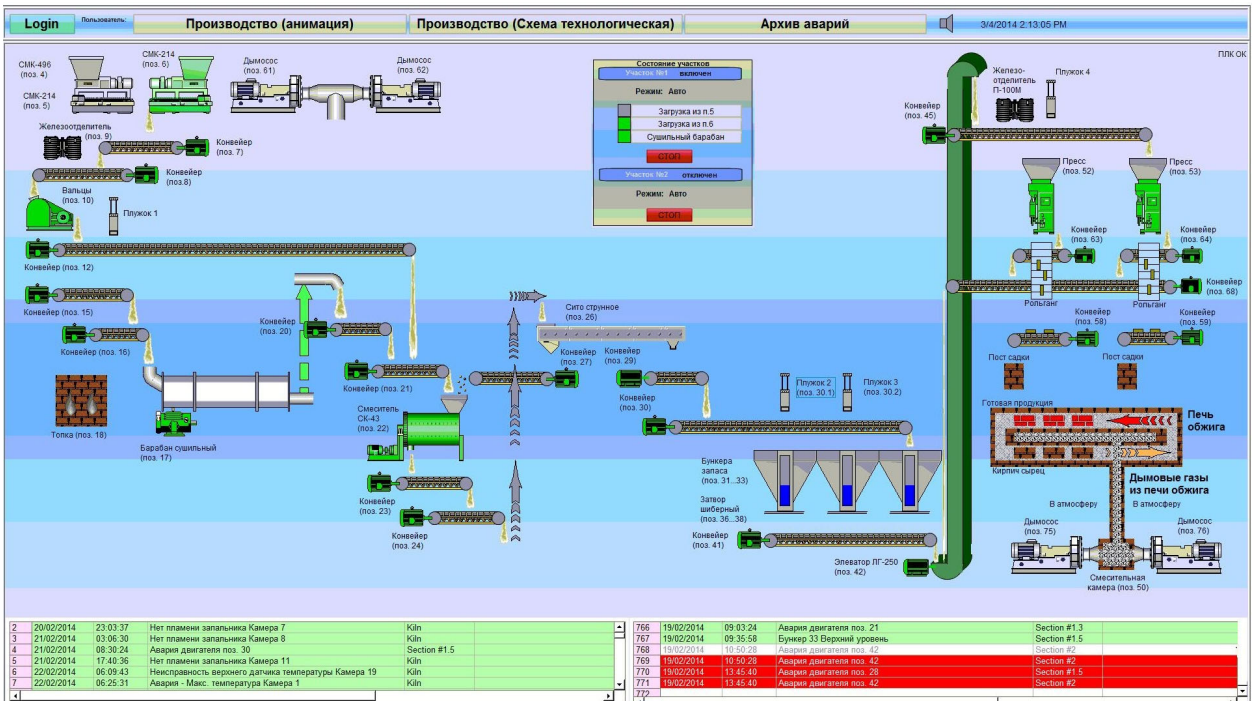


Рисунок 1.8 – Автоматизована система підготовки сировини фірми «ЮгПромАвтоматика» [5]

Фірма «ВигорТех» (Росія) здійснює автоматизацію технологічних ліній цегельних заводів, зокрема була здійснена автоматизація лінії виробництва цегли Касімовського цегельного заводу (Росія) [6]. Для вилучення МВ було застосовано саморозвантажувальний залізовідділювач ЭПС-80. В порівнянні із постійним електромагнітом, даний пристрій здійснює безперервне саморозвантаження вилучених МВ. Проте і в цьому випадку розробником не передбачено інтеграцію системи вилучення у автоматизовану систему

управління технологічною лінією. Окрім цього система не дозволяє проводити вилучення чи ідентифікацію кольорових МВ, рис.1.9.

Перевагою даної АСК від фірми ВигорТех є передбачена функція автоматичного саморозвантаження вилучених МВ, що усуває необхідність у ручному розвантаженні. Але як і в попередньому випадку відсутня можливість вилучення МВ кольорових металів, а також МВ, що мають невелику вагу і знаходяться під шаром сировини.

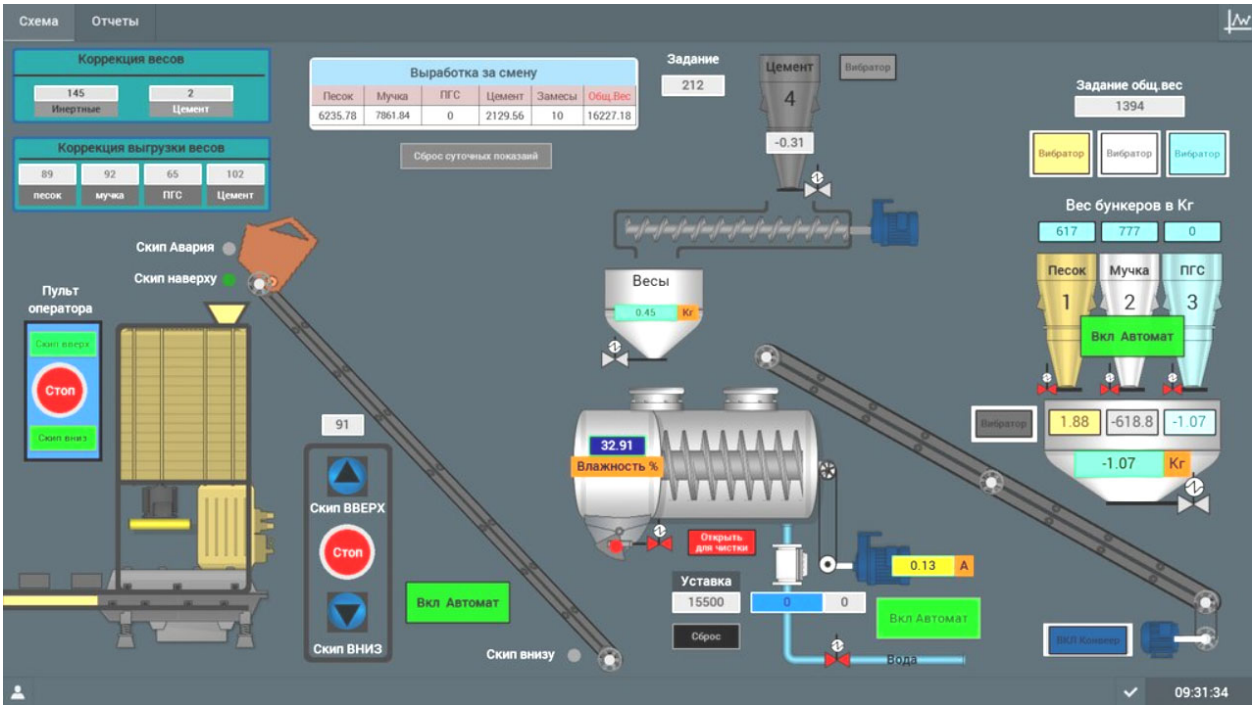


Рисунок 1.9 – Автоматизована система підготовки сировини фірми «ВигорТех» [6]

Фірма «Технікон» (Росія) – провідний інсталятор систем промислової автоматизації. Її спектр сфер автоматизації доволі широкий і зокрема це цегельні заводи [7]. Для вилучення МВ було застосовано підвісний залізовідділювач ЖНЭм-0,5-150С. В порівнянні із іншими моделями постійних електромагнітів, даний пристрій здійснює більш якісне вилучення МВ чорних металів із глибоким їх заляганням у сировині. Це перш за все реалізовується за рахунок його С-подібної конструкції. Розробник передбачив мінімальну інтеграцію системи вилучення у автоматизовану систему управління технологічною лінією. Ця інтеграція зводиться до контролю робочого струму електромагніту і його

вимкнення у випадку аварійних ситуацій. Аналогічно до інших АСК, система не дозволяє проводити вилучення чи ідентифікацію кольорових МВ, рис.1.10.

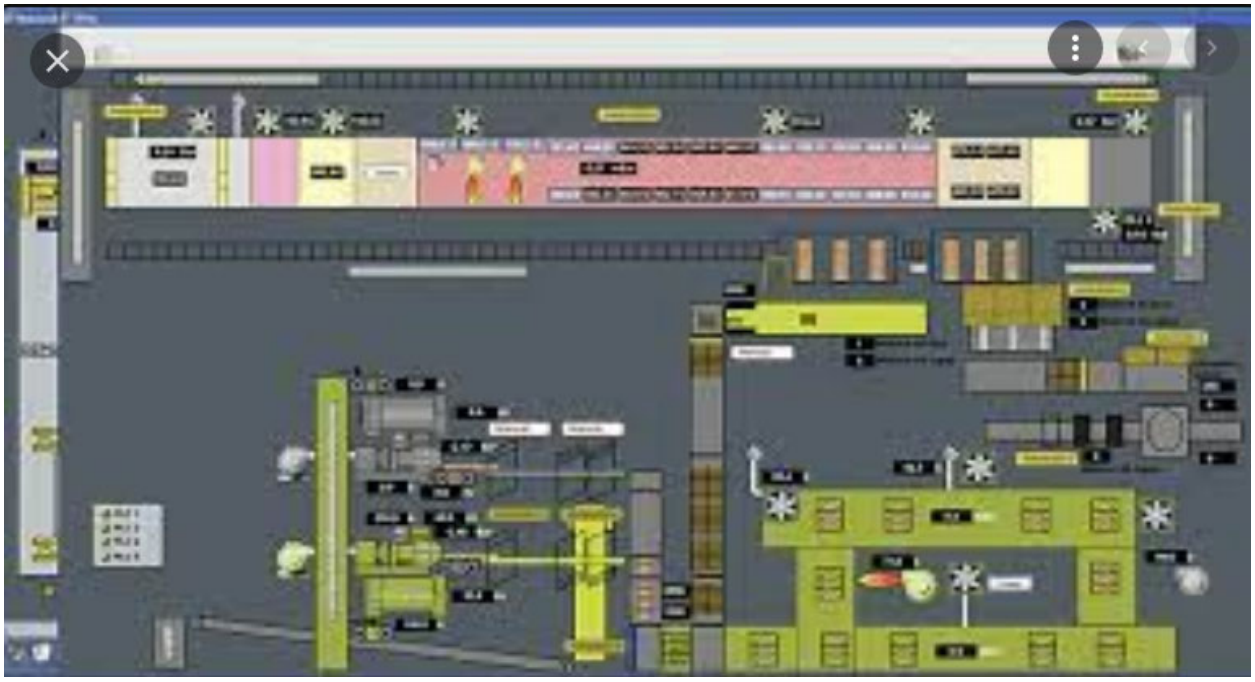


Рисунок 1.10 – Автоматизована система підготовки сировини фірми «Технікон» [7]

Ринок українських фірм які цілеспрямовано займаються розробкою і впровадженням АСК цегельних заводів, доволі слабо розвинений. А тому більшість фірм закуповують уже готові АСК в комплекті із технологічною лінією, або проводять модернізацію існуючих АСК. Серед фірм варто виділити фірму «Електронні автоматизовані системи», яка займається різноманітними сферами автоматизації [8]. Пропонована ними АСК не передбачає інтеграції в неї залізовідділювача, в ролі якого часто використовується модель ЭП-100. Даний залізовідділювач часто застосовується через свою простоту і дешевизну. Як і інші анологічні системи дана система не передбачає вилучення МВ кольорових металів, рис.1.11.

Так, доволі часто вони залишають існуючу систему вилучення або встановлюють нову, переважно це Dimet серії ЭМЖС, особливістю якої є можливість саморозвантаження вилучених МВ, що значно спрощує її експлуатацію. Інтеграції системи вилучення в АСК не приділяється достатньої уваги, а вилучення кольорових МВ не передбачено.

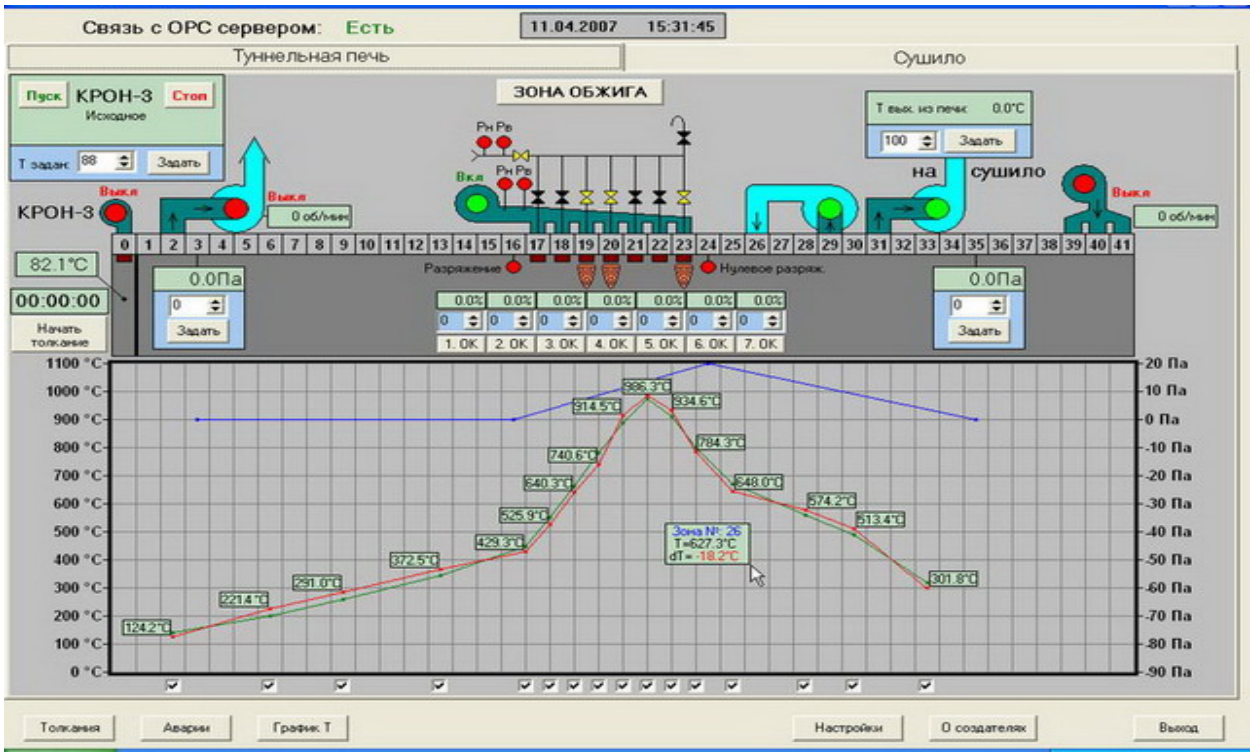


Рисунок 1.11 – Автоматизована система підготовки сировини фірми «Електронні автоматизовані системи» [8]

Серед українських фірм варто також виділити фірму Еліус-М, яка доволі гнучко підходить до проведення модернізації існуючих АСК цегельних заводів (рис.1.12) [9].

Рисунок 1.12 – Автоматизована система підготовки сировини фірми «Еліус-М» [9].

Структурно відокремлений підрозділ (СВП) «Завод ПРОКЕРАМ» ТОВ «Голд Кераміка» обладнаний сучасною АСК технологічним процесом виготовлення керамічних виробів. Проте технологічна лінія обладнана залізовідділювачем П80-М, який є доволі малоефективним, що робить неможливим вилучити МВ малого розміру, але які становлять із сировиною єдине ціле. Окрім цього не передбачено інтеграцію залізовідділювача в АСК. Відповідно і відсутня можливість вилучення металевих включень із кольорових металів.

В таблиці 1.1 проведено підсумковий аналіз розглянутих АСК.

Таблиця 1.1 – Порівняльна таблиця АСК технологічними лініями підготовки сировини

Назва фірми інсталятора АСК або заводу	Наявність системи ідентифі-кації	Тип метало-відділювача	Ступінь інтеграції в АСК	Вилучення кольорових МВ	Вилучення дрібних МВ сполучених із сировиною
ЮгПромАвтома-тика	Відсутня	П100М	Відсутня	Відсутнє	Часткова
ВигорТех	Відсутня	ЭПС-80	Часткова	Відсутнє	Часткова
Технікон	Відсутня	ЖНЭм-0,5-150С	Відсутня	Відсутнє	Середня
Електронні автоматизовані системи	Відсутня	ЭП-100	Відсутня	Відсутнє	Часткова
Еліус-М	Відсутня	Dimet	Відсутня	Відсутнє	Часткова
(СВП) «Завод ПРОКЕРАМ»ТОВ «Голд Кераміка»	Відсутня	П80-М	Відсутня	Відсутнє	Часткова

1.4. Аналіз методів ідентифікації металевих включень у сировині на конвеєрній стрічці

Сьогодні існує значна кількість методів ідентифікації МВ у ґрунтовій товщі та сипучій сировині в основу яких покладені різні фізичні явища. Слід

зазначити, що не всі вони можуть бути використані для ідентифікації МВ у сировині для виготовлення керамічних виробів [10]. Це зумовлено наступними причинами:

- безперервний рух глини по конвеєрній стрічці унеможливлює використання методів, які вимагають тривалого часу для ідентифікації МВ (наприклад, хіміко-аналітичних методів), а також використання контактних методів (наприклад, механічних методів), що в результаті вимагає застосування безконтактних методів;

- наявність промислових завад а також масивних металевих чи залізобетонних конструкцій обмежує використання магнітометричних методів ідентифікації МВ в сировині.

Виходячи з цього проаналізуємо методи, які дозволяють ідентифікувати МВ безконтактним способом за незначний проміжок часу і можуть бути реалізовані в умовах потенційної наявності промислових завад. З врахуванням вказаних вимог були виключенені з розгляду хіміко-аналітичний, електро-контактний методи, а також механічне зондування. На рис. 1.13 наведена класифікація методів ідентифікації МВ в сировині для виготовлення керамічних виробів.

Ферозондовий (магнітометричний) метод базується на фіксації просторових спотворення магнітного поля Землі, які створюються феромагнітним об’єктом ідентифікації. Ідентифікація локальних феромагнітних об’єктів здійснюється практично в будь-яких природних середовищах (глинистих і піщаних ґрунтах і т.п.). В той же час використання переносної апаратури, що реалізує вказаний метод, всередині або поблизу сучасних споруд (будинків, мостів, аеродромних покрить і т.п.) викликає відповідну складність через вплив стальних елементів їх конструкцій (арматури, балок, труб і т.д.).

Стаціонарні і квазістаціонарні магнітні поля вимірюються, як правило, за допомогою наступних приладів: протонних магнітометрів, давачів Хола, волоконно-оптичних давачів з лазерною накачкою, ферозондових приладів.

Найбільш широко використовуються ферозондові прилади, які характеризуються не тільки високою чутливістю і точністю, але й можливістю безпосереднього вимірювання складових вектора магнітного поля (забезпечуючи тим самим отримання повної інформації про структуру поля і його джерел), придатністю для роботи в дуже слабких магнітних полях та в широкому температурному діапазоні, високою надійністю, довговічністю і низькою вартістю. За принципом дії ферозонди найбільш близькі до магнітних підсилювачів. За своєю суттю вони і є магнітними підсилювачами у яких керуюче електричне коло замінене розімкнутим магнітним колом. Існує достатньо багато типів і модифікацій ферозондів, що відрізняються один від одного режимами роботи, способом накладання допоміжного поля, схемотехнічними рішеннями і конструктивним виконанням. Ця різниця більш або менш суттєва в залежності від діапазону і частоти спектра вимірюваних полів, умов, в яких проводяться вимірювання, особливості перетворення корисного сигналу у вимірювальній схемі.

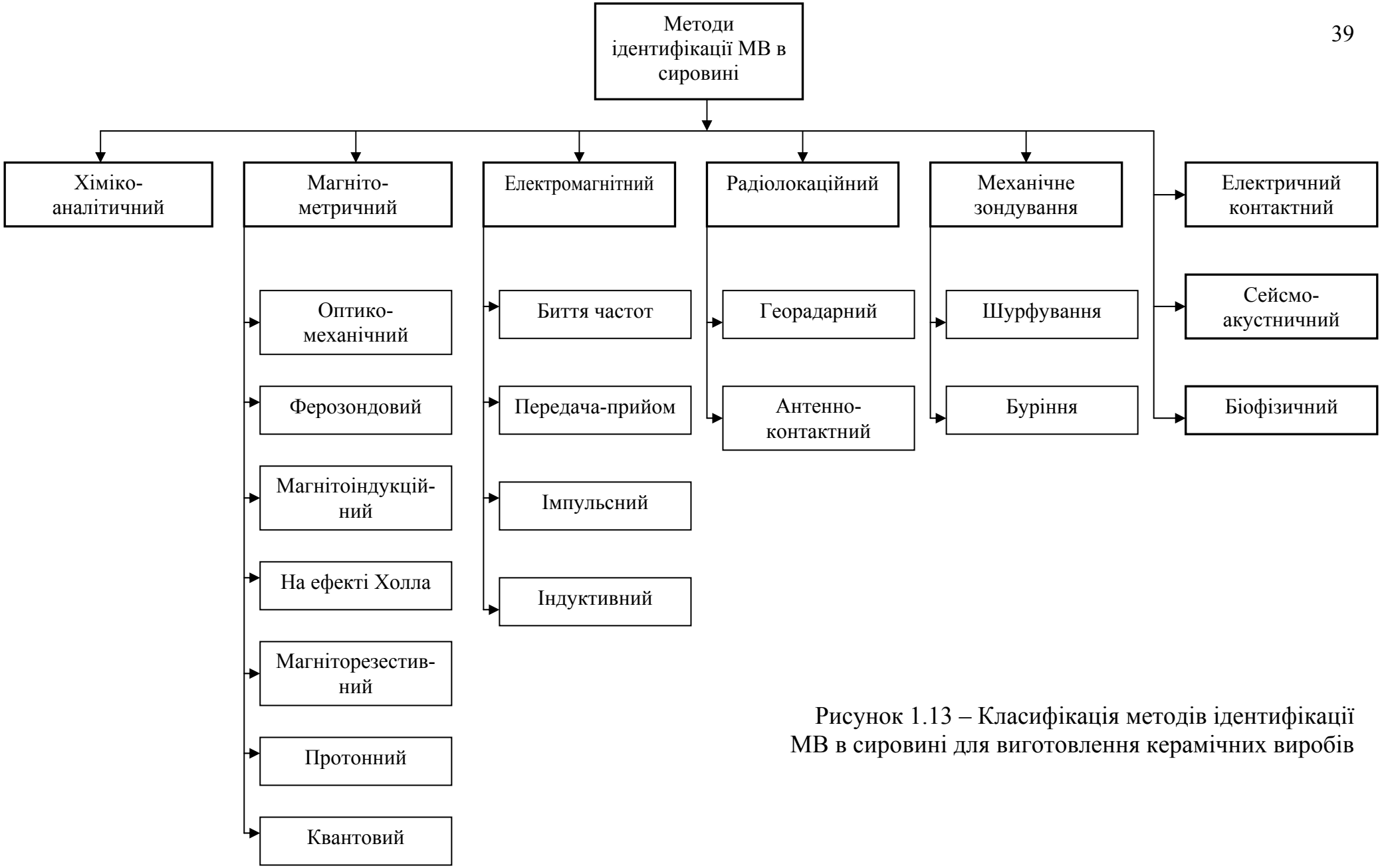


Рисунок 1.13 – Класифікація методів ідентифікації МВ в сировині для виготовлення керамічних виробів

За допомогою ферозондового магнітометра можна контролювати глибину залягання предметів. Використання двох ферозондів дозволяє створити прилад для виміряння різниці індукції магнітного поля в двох точках простору. Такий прилад фактично містить два канали магнітометра, причому один із них використовується для компенсації однорідної частини поля Землі в об'ємі двох ферозондів. Прилад також використовується для ідентифікації локальних феромагнітних об'єктів, розміщених в товщі немагнітного середовища (грунт, вода).

Реальна чутливість найкращих сучасних портативних переносних магнітних градієнтометрів складає $10^{-7}…10^{-8}$ Тл/м. Глибина ідентифікації феромагнітних об'єктів в ґрунті досягає 1,5…5,0 м. (в залежності від розмірів об'єкта); в воді – 10м; ширина зони ідентифікації оцінюється в 1…2 м. [11].

Основними перевагами ферозондового методу є можливість ідентифікації феромагнітних об'єктів в більшості природних середовищах; значна глибина і висока швидкість процесу ідентифікації МВ, а також простота в експлуатації приладів.

До недоліків методу слід віднести низьку завадостійкість при роботі поблизу масивних стальних конструкцій і об'єктів, а також вплив дрібних, близько розміщених МВ на результати ідентифікації МВ значно більших розмірів.

Електромагнітний метод широко використовується для ідентифікації об'єктів, які виготовлені із металу або мають окремі металеві елементи в своїй конструкції. Причому метал може бути як ферромагнітним, так і діамагнітним.

Даний метод заснований на феромагнітних властивостях металу і реєстрації вторинних полів вихрових потоків, які виникають в цих тілах під впливом первинного низькочастотного магнітного поля. Первинне магнітне поле створюється за допомогою котушок, що живляться змінним струмом. Вихрові струми залежать від сили струму збуджуючої (генераторної) котушки, його частоти і конфігурації об'єкта [12].

Величина вторинного магнітного поля обернено пропорційна кубу відстані між об’єктом ідентифікації і точкою спостереження (приймальної котушкою). Так як величина первинного магнітного поля, в свою чергу, також обернено пропорційна кубу відстані від генераторної котушки, звідси випливає, що величина приймального сигналу обернено пропорційна шостій степені відстані між індукційною системою контролю і об’єктом контролю.

Прийом слабких вторинних сигналів в індукційних системах контролю повинен здійснюватись на фоні завадоутворюючої дії сильного первинного сигналу (так званого сигналу прямого проходження). Селекція корисного сигналу, фактично зводиться до компенсації первинного сигналу:

- часова при імпульсному режимі роботи – шляхом періодичного підключення приймальної котушки до входу приймальника тільки під час відсутності первинного поля;
- просторова за рахунок оптимального розміщення в просторі генераторних і приймальних котушок, які забезпечують мінімальний індуктивний зв'язок між ними.

Основними перевагами електромагнітного методу є здатність ідентифікувати об’єкти із будь-якого металу, можливість ідентифікації досить великих металевих об’єктів на фоні дрібних, які можна віднести до завад, незначний вплив зовнішнього середовища на процес ідентифікації, а також відносно низьку вартість апаратури.

До недоліків методу можна віднести те, що величина приймального сигналу зворотно пропорційна шостій степені відстані між індукційною пошуковою системою і об’єктом ідентифікації.

Найбільше застосування саме цей метод отримав для ідентифікації металевих включень в переробній сировині, тобто як конвеєрних металодетекторів. Одна із вимог, що ставляться до індукційних давачів – збереження працездатності приладу при їх розміщенні поблизу масивних металевих конструкцій.

Радіолокаційний метод і метод радіохвильового просвічування

Дані методи ідентифікації відносять до радіохвильових методів. Це активні методи, які дозволяють ідентифікувати об’єкти, що виготовлені із будь-яких металів і неметалевих матеріалів. Вони засновані на дослідженні особливостей розповсюдження в різних середовищах електромагнітних полів, довжина хвилі яких співрозмірна або менша відстані між приймачем і передавачем. Частота таких електромагнітних хвиль лежить в діапазоні від десятків кГц до ГГц. Дальність, роздільна здатність, завадозахищеність і конструкція системи контролю значно залежить від робочого частотного діапазону. Основною відмінністю цих методів від низькочастотних є наявність струмів зміщення в досліджуваному середовищі при проходженні в ньому високочастотної електромагнітної хвилі, що обумовлює вплив діелектричної проникності середовища на їх характеристики. В радіохвильових електромагнітних методах вирішальне значення має поглинання енергії хвилі в середовищі з збільшенням відстані, яка визначає дальність ідентифікації. Поглинання енергії в значній степені залежить від провідності середовища.

При збільшенні провідності спостерігається збільшення поглинання енергії високочастотних електромагнітних полів, які визначаються їх частотою і електромагнітними властивостями середовища: провідністю, магнітною і діелектричною проникністю.

Радіохвильове просвічування засноване на вивчені електромагнітних властивостей середовища, що знаходиться між джерелом і приймачем електромагнітних хвиль. Такий метод дозволяє ідентифікувати наявність неоднорідностей в дослідженому середовищі.

Він базується на вимірюванні інтенсивності електромагнітних хвиль, що розповсюджуються в просторі між джерелом і приймачем поля та, відповідно, на вивченні потужності сигналу на вході приймача після проходження його через досліджуване середовище [13]. Приймальна потужність обернено пропорційна квадрату відстані між передавачем і приймачем, а також коефіцієнту, який

враховує втрати в середовищі, тому метод радіо просвічування володіє хорошою роздільною здатністю по відстані.

Метод радіолокації заснований на явищі відбиття падаючої на границю розділу «геосередовище – об'єкт ідентифікації» електромагнітної хвилі і вимірюванні характеристики відбиття на границі розділу хвиль. Основна мета використання даних методів – ідентифікації неоднорідностей з відбитими поверхнями у середовищі з різко змінними електромагнітними характеристиками – питомим опором, діелектричною або магнітною проникністю.

При реалізації радіолокаційних методів випромінююча і приймальна антени розміщуються в безпосередньо близькості одна від одної. В ряді випадків можливе використання як випромінюючої і приймальної антен однієї і тієї ж самої антени. Основним інформаційним параметром при проведенні вимірювань в даних методах є час розповсюдження відбитої від границі середовищ електромагнітної хвилі. Визначаючи час розповсюдження відбитої хвилі і фіксуючи зміну даного часу при переміщенні приймально-передавальних антен вздовж поверхні, можна визначати відстань до неоднорідностей, а також отримати інформацію про її форми. При цьому точність даних методів буде в значній мірі визначатися знаннями швидкості розповсюдження електромагнітних хвиль в середовищі в межах зони вимірювання.

Існує два основних різновиди радіолокаційного методу: імпульсний метод радіолокації і інтерференційний радіолокаційний метод – з використанням частотної модуляції зондуючого сигналу. Найбільшого розповсюдження сьогодні отримав імпульсний метод радіолокації, що полягає в збудженні передавачем в геосередовищі дуже коротких електромагнітних імпульсів із значною амплітудою з подальшим прийомом відбитих від границі розділу імпульсів та визначення часу розповсюдження відбитого імпульсу від поверхні об'єкту до приймальної антени.

Частотний діапазон електромагнітних хвиль, який формує радіолокаційний зондуючий імпульс, достатньо високий і складає від 15 МГц до 1200 МГц – в

залежності від необхідної роздільної здатності і від особливостей використаної при цьому радіолокаційної апаратури. Так, при проведенні досліджень на достатньо значних відстанях до неоднорідностей оптимальні частоти складають від 30 до 500 МГц.

В останні роки досить інтенсивно розвивається високочастотна модифікація радіолокаційного метода, що заснована на використанні так званих георадарів – георадіолокаційних установок з достатньо невеликою потужністю передавача, з частотами від 0.1-2ГГц. Такі частоти дозволяють з доволі хорошою роздільною здатністю ідентифікувати в приповерхневій частині середовища різні види неоднорідностей і візуалізувати їх форму.

Основні переваги радіолокаційних методів є здатність до ідентифікації будь-яких неоднорідностей в грунті (феромагнітних, металевих немагнітних і деяких непровідних); можливість визначати глибину залягання об’єкта ідентифікації та оцінювати його протяжність.

До недоліків методу слід віднести зменшення глибини ідентифікації в середовищах із підвищеним затуханням електромагнітних хвиль (волога, мокра глина), а також висока вартість приладу і складність його використання.

Аналіз електромагнітних методів ідентифікації металевих включень дозволяє зробити висновок, що універсального способу не існує. Всі вищенаведені методи в більшості орієнтовані на отриманні інформації про наявності в середовищі малорозмірних феромагнітних об’єктів і не здатні отримати інформацію про координати і геометричні розміри об’єкта в середовищі. Окремо слід виділити методи ядерно-магнітного резонансу та рентген-метод ідентифікації складу речовини, які дають змогу здійснити визначення складу речовини. Їх основними недоліками є складність реалізації методів і значна вартість обладнання [14].

В таблиці 1.2 наведені порівняльні характеристики проаналізованих вище методів ідентифікації металевих включень.

Таблиця 1.2 – Порівняльні характеристики розглянутих методів ідентифікації МВ

Метод	Переваги	Недоліки	Придатність в умовах конвеєрної стрічки
Магнітометричний	використовує магнітне поле Землі, значна глибина ідентифікації	низька завадозахищеність, вплив масивних об’єктів і конструкцій	Непридатний
Електромагнітний	незначний вплив середовища, можливість виділення великих металевих об’єктів на фоні дрібних завадових, здатність ідентифікувати об’єкти із будь-якого металу	величина приймального сигналу зворотно пропорційна шостій степені відстані між системою і об’єктом ідентифікації	Придатний
Радіохвильове просвічування	хороша завадозахищеність від зовнішніх електромагнітних впливів, можливість приблизно визначати глибину залягання об’єкту ідентифікації	значне зменшення глибини ідентифікації в середовищах із підвищеним затуханням електромагнітних хвиль (зволожена глина), висока вартість і складність використання приладу	Частково
Метод радіолокації			Частково
Георадарний	висока роздільна здатність, відсутність впливу зовнішніх електромагнітних полів	значний вплив провідності середовища (зволожена глина), висока вартість і складність використання приладу	Непридатний

1.5. Аналіз сучасних технічних засобів ідентифікації металевих включень у сировині для виготовлення керамічних виробів

В Україні і за кордоном виготовляється ряд приладів для контролю і ідентифікації МВ в технологічній сировині, зокрема, яка транспортується конвеєрною лінією. Дуже часто в технічній літературі в силу обмеженої функціональності, такі прилади називають металодетекторами. З метою визначення придатності даних пристроїв для експлуатації в умовах керамічного виробництва проведемо аналіз характеристик цих приладів.

Існує комплекс показників, що характеризують роботу конвеєрних металодетекторів і які необхідно враховувати при виборі конкретного виробу. Основними з цих показників є наступні:

- конструкція конвеєрного давача: охоплююча одноелементна (цільна або розбірна) або накладна двохелементна;

- габаритні параметри конвеєрного давача, що визначаються шириною стрічки конвеєра і максимальною висотою завантаження сировини;

- допустимий діапазон зміни швидкості руху стрічки конвеєра;

- чутливість до металевих предметів, виражена в розмірах кулі або куба при заданих умовах експлуатації (розмір і мінеральний склад сировини, її вологість, висота шару і т.п.);

- степінь впливу питомого опору і магнітної проникливості ідентифікуємого МВ на чутливість металодетектора;

- вплив умов експлуатації (розмір і склад сировини, висота шару, вологість і т.п.) на чутливість металодетектора;

- степінь зміни чутливості від положення МВ в об’ємі контролюємого простору конвеєра;

- вплив орієнтації несиметричного металовключення на чутливість металодетектора;

- наявність можливості зміни порогу спрацювання металодетектора;

- степінь впливу електромагнітних завад, що діють на металодетектор; виріб як по ефіру, так і по колам живлення;

- кількість ділянок по ширині стрічки, в межах яких проводиться ідентифікація МВ.

Окремі показники, такі як степінь завадостійкості, вплив властивостей сировини, орієнтація МВ – як правило, розробником в документації не вказується і виявляються тільки в процесі експлуатації в конкретних умовах.

Варто зазначити, що металодетектора, який би володів максимально позитивними властивостями по кожному із перерахованих показників не існує, проте максимально наблизити параметри металодетектора для ідентифікації металовключення в сировині на стрічковому конвеєрі конкретного технологічного процесу і виробництва є важливою науковою задачею.

Конвеєрні металодетектори «БРИЗ» Металодетектори типу "БРИЗ" [15] призначені для захисту дробарного устаткування від поломок із-за попадання МВ в потоці руди та використовуються на стрічкових конвеєрах, що здійснюють транспортування руди в технологічні цехи гірничозбагачувальних комбінатів і копалень.

Металодетектори забезпечують автоматичний контроль МВ, здійснюють зупинку конвеєра, включення світлової і звукової сигналізації.

Конструктивно електронний блок металодетектора виконаний у вигляді субблоків, що прискорює їх ремонт, а конструкція антен дозволяє вмонтовувати їх без розбирання конвеєра.

Металодетектор «БРИЗ» трьохканальний, це забезпечує індикацію про місця розташування металевого включення, який ідентифікується в трьох рівних зонах по ширині конвеєра.

Залежно від ширини стрічки конвеєра металодетектори виготовляються двох типів: «БРИЗ-1200» і «БРИЗ-1600».

Максимальна чутливість металодетектора до металевих включень, які ідентифікуються в потоці сировини складає куб розміром 40 мм^3.

За бажанням замовника металодетектор може бути укомплектований мікропроцесорним блоком для реєстрації і зчитування протоколу спрацьовування металодетектора із збереженням даних (дата, час спрацьовування, час простою і тому подібне)

До недоліку металодетекторів даного типу слід віднести досить низьку чутливість, що робить неможливим його використання у цегельному виробництві. Ідентифікація положення МВ в трьох зонах хоч і перевагою, проте не дає можливості встановити розміри даного МВ. Ще одним недоліком є значні розміри модуля обробки сигналів в порівнянні із іншими системами.

Металодетектор «Бар'єр-305». Металодетектори «Бар'єр-305» [16] застосовуються в будівельній, деревообробній, цукровій та інших промисловостях для захисту подрібнюючого устаткування від пошкоджень МВ.

Металодетектор "Бар'єр-305» виявляє всі метали (кольорові, чавун, легована сталь) і зупиняє транспортер у разі ідентифікації на ньому МВ.

Спосіб з'єднання стиків стрічки (вулканізація, склеювання, з'єднання заклепками або металевими затисками) не впливає на працездатність металодетектора і на його чутливість. У випадку з'єднання стиків стрічки заклепками або металевими зажимами металодетектор "Бар'єр-305» оснащується додатковим модулем - детектором металевих затискачів 1С503.

До переваг металодетектора «Бар'єр-305» слід віднести широкий діапазон температур при установці його поза виробничих приміщень, а також відсутність впливу рівня вібрації, ступеню мінералізації транспортованої сировини і її вологості на параметри ідентифікації МВ та працездатність приладу.

Недоліком є складністю монтажу, так як тип металодетектора є охоплюючим, що створює проблеми при монтажі і ремонті, а також вимога щодо відсутності металу на значній відстані від металодетектора, оскільки вплив несучих конструкцій на результати ідентифікації є значним.

При значних розмірах конвеєрної стрічки, чутливість металодетектора є недостатньою для використання його в цегельному виробництві.

Металодетектор МД-3 [17] призначений для ідентифікації МВ в потоці твердої і сипучої сировини (щебінь, вугілля, немагнітні руди, мука і ін.), що транспортується конвеєрами з клеєними, зварними, клепаними і металотросовими стрічками. Використовується для автоматичної зупинки стрічкових конвеєрів. Конструктивно металодетектор складається з давача, розташованого під транспортерною стрічкою для клеєних і зварних стрічок або над стрічкою для клепаних і металотросових, та базового електронного блоку змонтовуваного на відстані до 15 м від давача.

Відмінною особливістю МД-3 є монтаж давача безпосередньо на несучій металевій конструкції транспортера. Наявність нерухомого металу безпосередньо біля давача МД-3 не впливає на роботу останнього.

Основні технічні характеристики металодетектора МД-3 та його загальний вигляд наведені в Додатку А.

Недоліком даного МД-3 є відсутність можливості ідентифікації дрібних МВ вагою менше 100г, що зумовлює його використання при ідентифікуванні габаритних МВ, а вплив вібрації на роботу давача вимагає певних заходів для її усунення.

Металодетектор конвеєрний МК-1 [18] в основі роботи якого лежить імпульсний метод ідентифікації МВ, призначений для ідентифікації МВ в потоці сировини, що транспортується стрічковими і ланцюговими конвеєрами і видачі керуючого сигналу, за допомогою контактів вбудованого електронного реле, на виконавчий пристрій (звукова або світлова сигналізація, механізм вилучення МВ, зупинка конвеєра і тому подібне з сумарним навантаженням до 5 А.)

Конструктивно МК-1 може складатися як із однієї так із двох панелей давачів. При наявності однієї панелі вона розміщується під стрічкою конвеєра, а при двох - одна розміщується під стрічкою, а інша над стрічкою конвеєра.

Металодетектор ідентифікує наявність МВ у вигляді кулі діаметром 80мм на відстані до 400мм від площини давача, що складається із однієї панелі, розміщеної під стрічкою конвеєра. Аналогічного розміру МВ МК-1 виявляє при

відстані до 800мм між панелями давача, одна з яких розміщена під стрічкою конвеєра, а інша над стрічкою конвеєра.

Для давача, що складається із двох панелей характерна постійність чутливості до МВ на всьому просторі між панелями. У давача, що складається із однієї панелі, чутливість до МВ зменшується із збільшенням відстані від давача.

Перевагою МК-1 є можливість ідентифікації МВ по окремих зонах ідентифікації.

Конвеєрні металодетектори "МІКОН" [19] призначені для ідентифікації сторонніх МВ в потоці сировини, що знаходиться на конвеєрі.

Ідентифікація МВ супроводжується:

- висвічуванням на дисплеї номера ділянки зони ідентифікації, в якій проводиться ідентифікація МВ;
- видачею команди на виконавчий пристрій у вигляді короткочасного імпульсу (0,5 - 1,0) замикання сухих контактів реле.

Роздільна здатність металодетектора у відображенні поперечної координати ідентифікованого МВ забезпечується чотирма незалежними і рівномірно розподіленими по довжині кожної панелі ділянками зони ідентифікації.

Чутливість металодетектора до МВ в межах області ідентифікації складає 100г, що є недостатньою для контролю дрібних МВ. Наявність чотирьох зон ідентифікації не вирішує проблеми контролю розмірів МВ, а чутливість до МВ, що розміщені на границях меж ідентифікації є незадовільною, що створює передумови для їх пропуску.

Монтаж металодетектора на конвеєрі не вимагає проведення трудомістких операцій монтажу, пов'язаних з тривалою зупинкою конвеєра.

Восьмизонний конвеєрний металодетектор Бастіон-К. Його технічні характеристики забезпечують ідентифікацію сторонніх МВ в потоці сировини, що знаходиться на конвеєрі [20].

Блок управління обладнаний дворядковим LCD індикатором, який забезпечує налаштування блоку та індикацію 8 зон. Металодетектор

комплектується виносним радіопультом, який забезпечує індикацію 8 зон. Зв'язок з виносним радіопультом здійснюється по радіоканалу на відстані від 50 до 100 метрів. Бастіон-К забезпечує мікропроцесорну обробку сигналу. Виробником заявлено мінімальний розмір ідентифікованого МВ – куля діаметром 20 мм при ширині конвеєра 2000 мм. При цьому величина хибних спрацювань становить 1.5%. Також блок управління обладнано реле для режиму «стоп-конвеєр».

Досвід експлуатації даного металодетектора на підприємствах гірничодобувної промисловості Росії, зокрема «ГМК Норильський Нікель» виявив дуже завищені показники щодо розмірів МВ, особливо проблемою була велика кількість хибних спрацювань, що унеможливило його подальше використання. Це зумовлено особливо тим, що в характеристиках приладу виробник не вказав відстань від МВ до площини давача при ідентифікації кулі діаметром 20мм.

Серед металодетекторів, що виготовляються закордонними фірмами, відомі конвеєрні металодетектори Metalarm MA3500 і Metcorr 117C [21]. Технічні характеристики даних приладів виробниками відкрито не розголошуються, а тому оцінити їхні переваги і недоліки немає можливості. Проте виходячи із службової записки №95/1004 від 28.11.2002 (ГМК Норильський Нікель), металодетектор Metalarm MA3500 непридатний для використання в умовах комбінату через неможливість налаштування чутливості приладу щодо вибіркового реагування на металічні предмети.

За результатами проведеного в розділі аналізу в табл. 1.2 зведені їх переваги і недоліки.

Виходячи з проведеного аналізу конструкцій, принципу роботи і технічних характеристик (табл.1.3) найбільш розповсюджених металодетекторів можна зробити висновок щодо неможливості їх використання для ідентифікації МВ в сировині для виготовлення цегли.

Таблиця 1.3 – Зведена характеристика переваг і недоліків металодетекторів

Характеристика	Модель приладу					
	МІКОН 08/02	БАСТИОН-КМ	МД-3	МК-1	БАРЄР-305	БРИЗ
Ширина стрічки конвеєра, мм	500-800	250-2000	по вимозі	по вимозі	300-2000	по вимозі
Швидкість руху стрічки конвеєра, м/с	0,3-3,0	-	0,2-10	0,2-5,0	0,2-8,0	0,2-3,0
Декларована чутливість на неферомагнітній сировині для стальних предметів	100 г	циліндр 20мм для конвеєра 2000мм	100 г	куля 80 мм	0,1% від площі вікна давача	куб 40 мм для конвеєра 1200
Можливість роботи на феромагнітній сировині	ні	ні	ні	ні	так	так
Конструкція конвеєрного давача	на просвіт	на просвіт	на просвіт	на просвіт	охоплюючий	на просвіт
Особливість розробки	Збільшення зони контролю нарощуванням модулів	Наявний радіопульт для індикації зони спрацювання	Безпосередній монтаж на несучій конструкції конвеєрної лінії	Цифрова обробка сигналу. Лічильник спрацювань	Розширений інтерфейс користувача. Протокол подій.	3 незалежних канали. Диференційний двохчастотний метод корекції впливу сировини

1.6. Висновки і постановка задач досліджень

Проаналізувавши сучасний стан АСК процесом виробництва керамічної продукції та їх типові функції, а також методів і систем ідентифікації МВ в технологічній сировині (стосовно глини для виготовлення керамічних виробів) на конвеєрній стрічці, а можна зробити наступні висновки:

Більшість етапів технологічного процесу виготовлення керамічних виробів за які відповідають окремі вузли технологічної лінії, напряму контактують із сировиною, а тому вміст у ній МВ впливає як на технічний стан технологічної лінії так і на якість вихідної продукції.

При керуванні технологічним процесом виробництва керамічних виробів з використанням АСК не враховується стан сировини на конвеєрній стрічці, що призводить до потрапляння наявних в ній МВ в критичні, з точки зору надійності, вузли технологічної схеми. Так, потрапляння МВ в:

- валки дрібного помолу призводить не тільки до зносу робочих органів, але і до заклинювання валків і, як наслідок, до аварійних ситуацій;
- шнеки формовочного вакуумного пресу призводить як до порушення працездатності пресу і виникнення аварійних ситуацій ;
- вузол автомату порізки призводить до браку вихідної сировини і частих аварійних ситуацій.

У всіх випадках АСК не може визначити причини заклинювання валків, перевантаження валків чи шнеку, що негативно впливає як на продуктивність технологічної лінії, так і на якість вихідного продукту та може призвести до аварійних ситуацій самої АСК.

Для попередження таких аварійних ситуацій необхідно розробити підсистему ідентифікації МВ в сировині з автоматичним визначенням координат їх розташування, а також розробити підсистему автоматичного вилучення ідентифікованих МВ, як складової частину типової АСК.

Проведений аналіз методів ідентифікації МВ у сировині показав, що серед відомих методів ідентифікації МВ в сировині виходячи із специфіки процесу її транспортування на конвеєрній лінії, були виключені хіміко-аналітичний метод

та електро-контактні методи і методи механічного зондування. Проведений ґрунтовний аналіз радіолокаційного, магнітометричного та електромагнітного методів показав, що найбільш перспективним методом ідентифікації МВ в сировині на конвеєрній стрічці є електромагнітний. Однак для його впровадження необхідно ліквідувати наявний методу недолік - величина приймального сигналу обернено пропорційна шостій степені відстані між індукційною системою ідентифікації і об'єктом ідентифікації.

Проведений аналіз сучасного стану технічних засобів ідентифікації МВ у сировині для виготовлення керамічних виробів – металодетекторів різних типів і принципів дії показав, що жоден з них не може бути використаний для ідентифікації МВ в сировині з автоматичним визначенням їх координат.

Виходячи з викладеного основними задачами подальшої роботи є:

– розробка теоретичних передумов методу ідентифікації МВ в сировині на конвеєрній стрічці та проведення його досліджень на експериментальному стенді;

– розробка підсистеми ідентифікації МВ в сировині на конвеєрній стрічці з автоматичним визначенням їх координат, як функціональної складової АСК технологічним процесом виготовлення керамічних виробів, та проведення її стендової апробації;

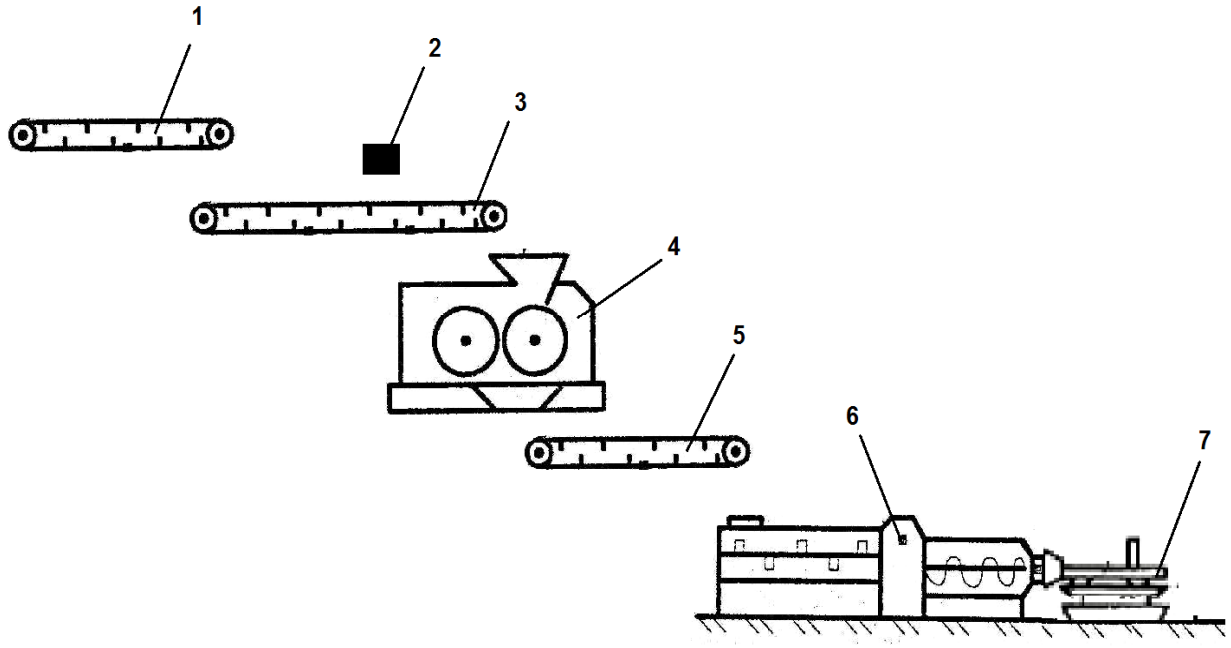
– розробка підсистеми вилучення МВ з сировини, як функціональної складової АСК процесом виготовлення керамічних виробів, її алгоритмічного і програмного забезпечення;

– інтеграція розроблених підсистем ідентифікації МВ і їх вилучення з сировини в АСК технологічним процесом виготовлення керамічних виробів та проведення їх апробації на діючій АСК.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОЗВЯЗКІВ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПІДГОТОВКИ СИРОВИНИ ДЛЯ РОЗРОБКИ АСК

2.1. Дослідження елементів технологічного процесу підготовки сировини

Сучасний технологічний процес виробництва керамічної продукції, зокрема цегли, вирізняється доволі високою ступінню складності. Найбільш критичним і важливим є процес переміщення сировини, тонкого подрібнення, формовки і порізки (рис.1.8). Функцію переміщення виконують конвеєрні стрічки 1,3,5. Функцію тонкого подрібнення виконують валки тонкого помолу 4. Формовку і порізку виконують відповідно вакуумний прес 6 і автомат порізки 7. Усім цим процесом керує АСК загальнозаводського рівня із розміщеними, по місцю, пультами ручного керування агрегатами.



1- конвеєрна лінія №1, 2 – електромагніт, 3 - конвеєрна лінія №2, 4-валки дрібного помолу, 5 – конвеєрна лінія №3, 6 – формовочний вакуум-прес, 7 – автомат порізки.

Рисунок 2.1 – Технологічна схема лінії виробництва керамічної продукції

Саме ці розглянуті технологічні етапи здійснюють значний вплив на якість вихідної продукції [22]. Одним із методів інтенсифікації виробництва є форсування режимів технологічних процесів, що веде за собою зниження надійності як технологічного обладнання, так АСК в цілому. Ефективно керувати такими об’єктами неможливо без введення нових алгоритмів і вузлів, що підвищують надійність АСК. Ця проблема може вирішуватись або шляхом заміни повністю технологічної лінії або модернізацією існуючої.

Так, аналіз АСК технологічної лінії в умовах ТОВ «Голд Кераміка» показав, що потрапляння МВ у сировину призводить до аварійних ситуацій АСК. Типова АСК не має можливості ідентифікувати і вилучити усі МВ із сировини, рис.2.2.

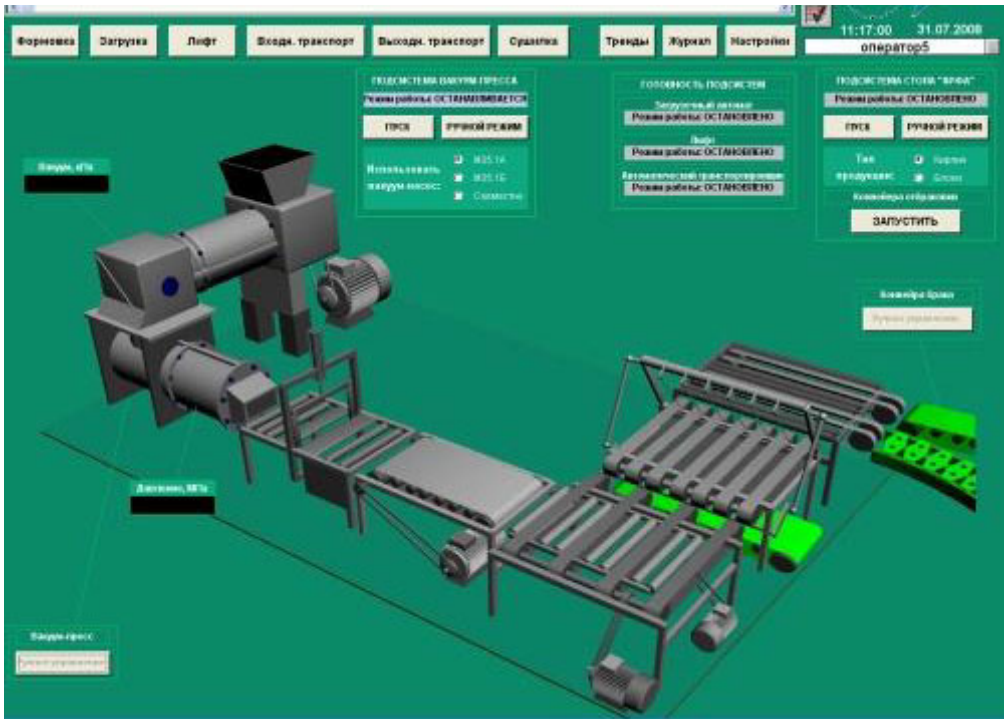


Рисунок 2.2 – АСК лінії формовки і автомат порізки [22]

Можна виділити чотири основні критичні вузли у технологічній схемі: валки дрібного помолу, конвеєрна лінія, формовочний вакуум-прес, автомат порізки.

Перший вузол – це валки дрібного помолу, рис. 2.3. Неконтрольоване потрапляння МВ у валки призводить не тільки до зносу робочих органів, але і до

заклинювання валків. В результаті сама АСК не має можливості визначити причину заклинювання, що призводить до аварійних ситуацій.

Рисунок 2.3 – Валковий млин дрібного помолу [23]

Для даного млина [23] є надзвичайно критичним потрапляння МВ розмір яких значно перевищують встановлений зазор помолу глини у млина, рис.2.4.

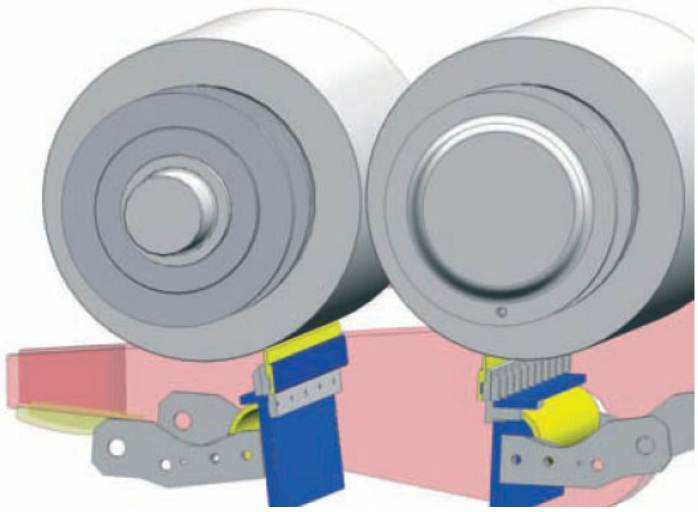


Рисунок 2.4 – Внутрішня будова валкового млина [23]

Аналогічна ситуація відбувається і формовочному вакуумному пресі. Потрапляння МВ у шнеки пресу призводить як до аварійних ситуацій самого пресу, так і до аварійних ситуацій АСК, оскільки система не має можливості визначити причини перевантаження приводів валків чи шнеку.

Дещо інші наслідки потрапляння МВ у сировину спричиняють у вузлі автомату порізки. Так, наявна АСК не має можливості оперативного виявлення

поломки органів автомату порізки, що саме виникають через наявні МВ у сировині. Це призводить до браку вихідної сировини і частих аварійних ситуацій. Виникнення частих аварійних ситуацій АСК в результаті негативно впливає на продуктивність лінії виробництва і можливості форсування режимів роботи.

Переміщення сировини здійснюється кількома конвеєрними лініями. На рис. 2.5 представлено фотографію конвеєрної лінії, що розміщена на СВП «Завод ПРОКЕРАМ» ТОВ «Голд Кераміка».

Рисунок 2.5 – Фото конвеєрної лінії

З метою вилучення МВ із сировини, інженерами заводу було встановлено на конвеєрній стрічці потужний електромагніт, проте він не вирішив даної проблеми повністю, рис.2.6. Так, як деякі МВ опиняються під шаром глини, це у свою чергу унеможливлює їхнє вилучення електромагнітом. В результаті існує висока ймовірність попадання МВ у наступний технологічний процес.

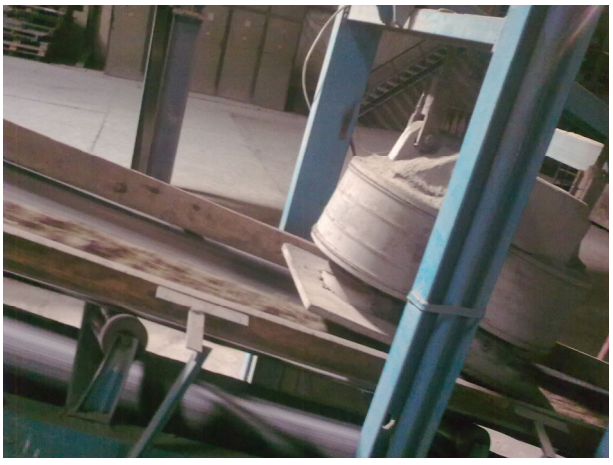


Рисунок 2.6 – Загальний вигляд встановленого електромагніту

На рис. 2.7 представлено будову конвеєрної лінії і її габаритні розміри.

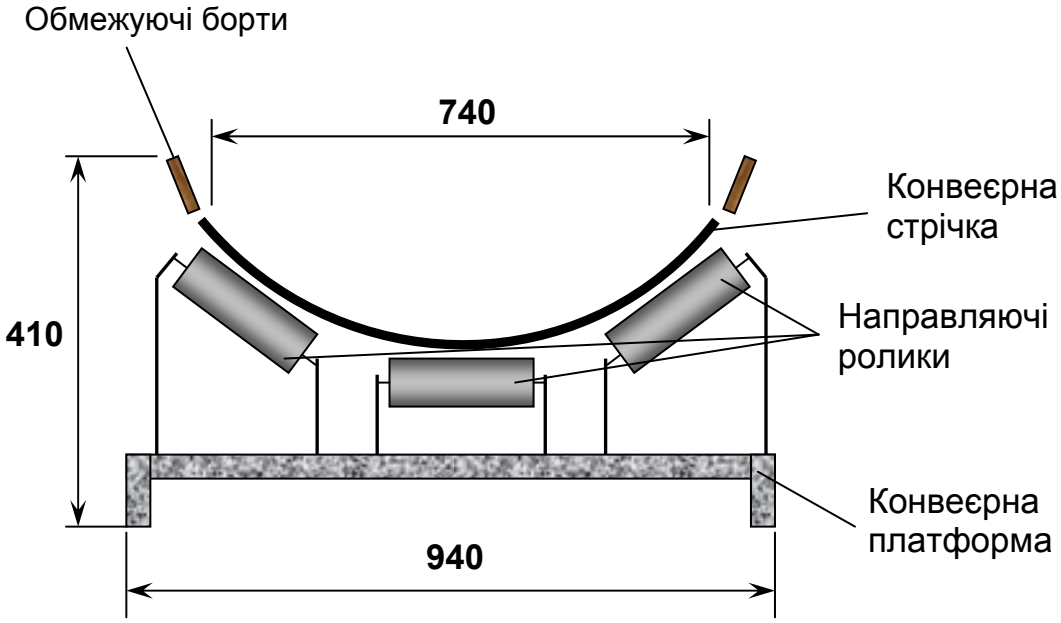


Рисунок 2.7 – Будова і габаритні розміри конвеєрної лінії

Конвеєрна лінія складається двох несучих швелерів на яких закріплені направляючі ролики. В одному перерізі розміщено три ролики, що підтримують конвеєрну стрічну. Відстань між групами роликів становить 1.5м. Ширина стрічки у робочому положенні становить 740мм. Проте сама сировина займає на стрічці в середньому 550мм і має найбільшу товщину шару 80-100мм. Конвеєр має обмежуючі дерев'яні борти для конвеєрної стрічки. Уся стрічка виконана із прорезиненого матеріалу, проте скріплена металевою пластиною. Швидкість руху конвеєрної стрічки складає 0.4÷0.5 м/с. Повна протяжність конвеєрної секції на якій відбувається контроль становить 15 м. При цьому об'єм глини що транспортується складає близько 38 $м^3$/добу. А середня вологість глини складає 21%, рис.2.8.

Рисунок 2.8 – Фото подрібненої глинистої сировини

Слід відмітити, що відсутність системи ідентифікації сировини на наявність МВ призводить до значних як часових, так і виробничих затримок і простоїв. Потрапляння МВ в будь-який із вузлів вимагає від персоналу виконання наступної процедури: повної зупинки технологічної лінії, визначення місця потрапляння МВ, його вилучення та ліквідації наслідків потрапляння, здійснення повторного запуску технологічної лінії і АСК.

Розглянута процедура є досить тривалою у зв’язку з чим погіршується якість сировини, так як вона перебуває поза технічним регламентом, що, у свою чергу, негативно впливає і на якість вихідної продукції. Такі часті аварійні зупинки АСК призводять як до передчасного зносу технологічного обладнання, так і до виходу з ладу самої АСК, що вимагає розробки методів ідентифікації МВ в сировині та керування технологічним процесом виготовлення цегли з врахуванням технічного стану обладнання.

2.2. Статистичний аналіз металевих включень у сировині для виготовлення керамічних виробів

З метою аналізу вагових і габаритних характеристик МВ, було здійснено вибірку МВ в сировині протягом п’яти діб. За результатами підрахунків середня

вага виявлених МВ становила 20-50 грам протягом доби. На рис. 2.9 представлено загальний вигляд МВ [24].

Рисунок 2.9 – Загальний вигляд типових МВ

З метою визначення вимог до системи ідентифікації МВ в сировині, було проведено статистичний аналіз середньої тижневої норми МВ, що виловлюються електромагнітом [25]. Розподіл МВ проводився із поділом на вагові групи згідно нижче табл.2.1 .

Таблиця 2.1 – Ваговий розподіл об’єктів контролю по групам

Група	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вагова група (грами)	0-2	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	>20

Гістограма кількісного розподілу МВ по вагових групах зображена на рис. 2.10.

Як видно з рис. 2.10, найбільш кількісною є вагова група 2-15 грами. Решта вагові групи є кількісно меншими. З метою подальшої обробки статистичної інформації, було проведено інтерполяцію отриманих даних (графік 1 на рис. 2.10) [26].

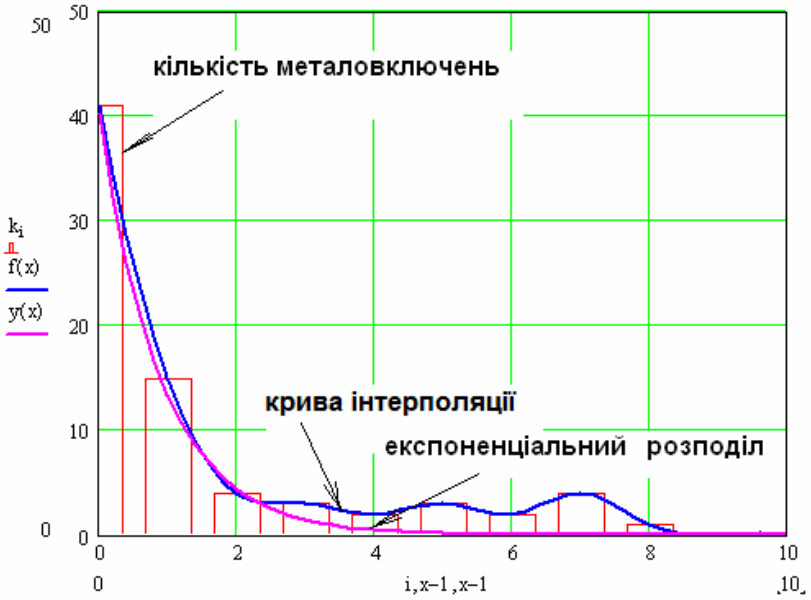


Рисунок 2.10 – Гістограма кількісного розподілу металевих включень по вагових групах

Аналіз результатів показав, що цей графік можна описати експоненціальним законом розподілу (графік 2, рис. 2.10). Як видно із графіку (рис. 2.11) різниця між ними є незначною. Максимальне відхилення складає 6%.

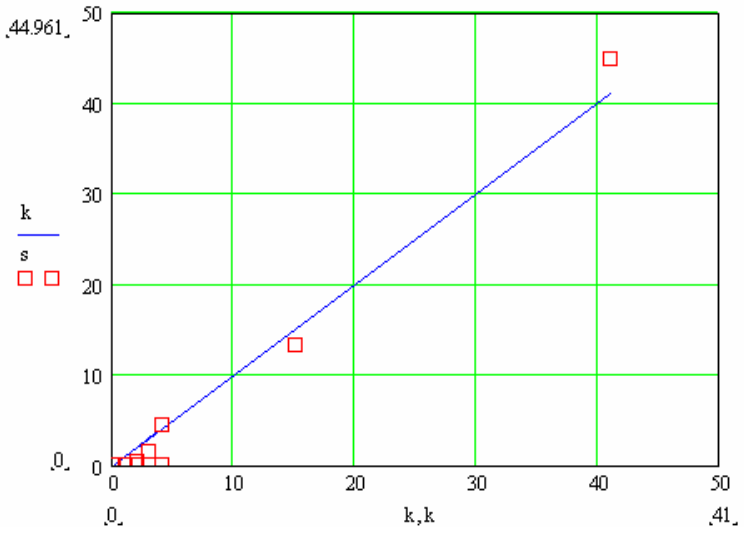


Рисунок 2.11 – Графік різницевої діаграми розподілу

Наступним кроком стало проведення вагового розподілу МВ із підрахунком загальної ваги по кожній із вагових груп за даними табл. 2.1. Гістограма вагового розподілу МВ по ваговим групам наведено на рис. 2.12, [27].

Проаналізувавши графік, стає зрозумілим, що сумарна вага по кожній ваговій групі є приблизно рівною. Ймовірно, що при збільшенні вибірки МВ сумарна вага кожної вагової групи стане однаковою.

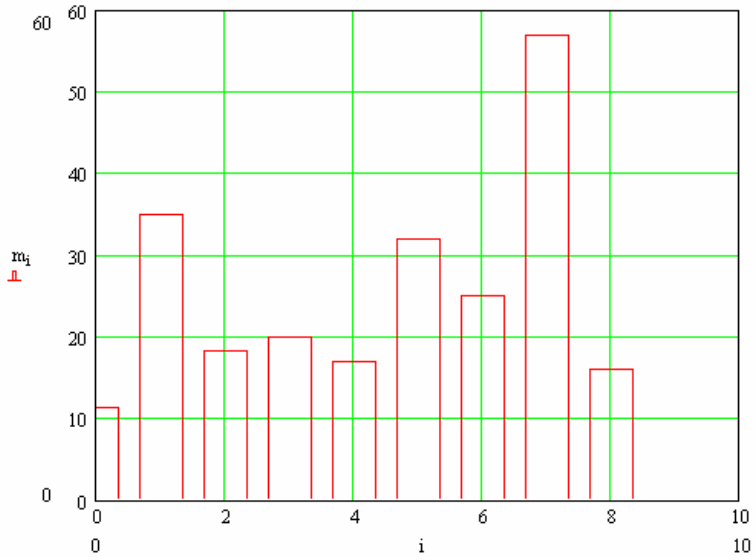


Рисунок 2.12 – Гістограма вагового розподілу МВ по ваговим групам

Наступним кроком статистичної обробки було проведення аналізу розмірів всієї вибірки МВ виходячи мінімальних і максимальних його розмірів. Мінімальним розміром МВ, виходячи з аналізу отриманих статистичних даних, був діапазон від 0.1мм до 15 мм. В результаті було сформовано 11 габаритних груп, що представлені в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Мінімально габаритний розподіл МВ по групам

Група	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Мінімальні габаритні розміри (мм)	0-0.5	0.5-1	1-1.5	1.5-2	2-2.5	2.5-3	3-3.5	3.5-4	4-4.5	4.5-5	>5

За результатами обробки було отримано гістограму розподілу МВ по групам, що представлена на рис. 2.13. з якого видно, що основну групу складають МВ з мінімальним розміром від 1.8 до 3мм. Це свідчить про те, що більшість МВ вказаних розмірів при потраплянні у валки млина, можуть привести до зміни його технічного стану з подальшою відмовою. Зрозуміло, що потрапляння МВ розміри яких перевищують вказані може призвести до відмови або аварії млина дрібного помолу. Наявність на гістограмі чітко виражених

максимумів можна пояснити тим, що глина попередньо проходить валки грубого помолу, які і змінюють вхідні розміри МВ.

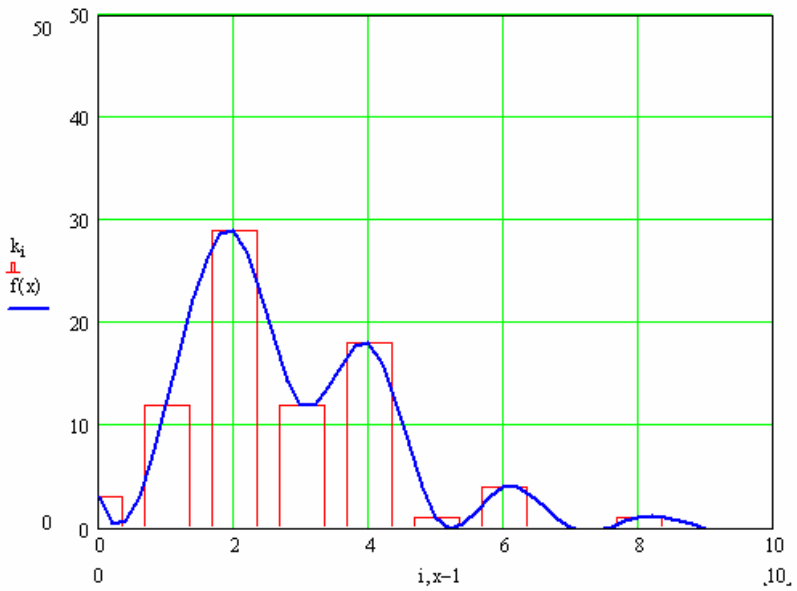


Рисунок 2.13 – Гістограма розподілу габаритних розмірів МВ по групам (мінімальний габаритний розмір)

Аналогічну кількість груп було сформовано і для МВ, відсортованих по максимальних габаритних розмірам. Габарити максимальних розмірів МВ розміщуються в діапазоні від 5 до 80 мм і більше. Слід відмітити, що ймовірність появи МВ в сировині розміром більше 80 мм є незначною проте вона присутня і несе значні ризики для технологічного обладнання. Таблиця розподілу МВ (за максимальним розміром) по групам наведена в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Габаритний розподіл МВ по групам

Групи	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Максимальні габаритні розміри (мм)	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80	80-90	90-100	>100

За результатами обробки даних табл. 2.3 було отримано гістограму розподілу МВ по групам (рис. 2.14) з якої видно, що основну масу становлять МВ з максимальним габаритним розміром 20-50мм. При такому попаданні у валковий млин вони можуть призвести до його значних пошкоджень. Слід зауважити, що основну частину МВ становлять дроти, які складають основу тросових і талевих систем розміри яких охоплюють всі групи. Вказані МВ

впливають на технічний стан вакуум-пресу, що формує цегляні вироби, а також пристрою для порізки пресованої форми на цеглини.

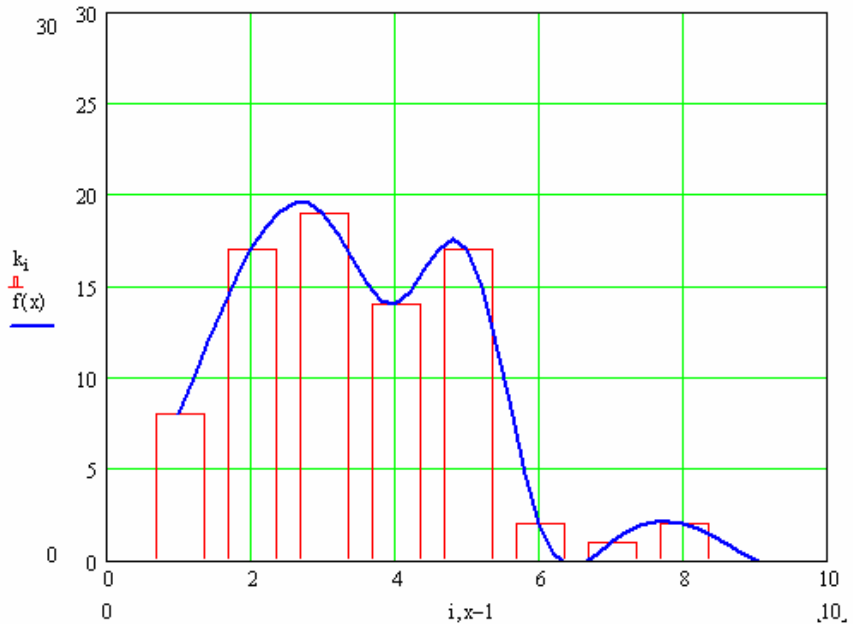


Рисунок 2.14 – Гістограма розподілу габаритних розмірів МВ по групам (максимальний габаритний розмір)

Результати проведеного аналізу маси і габаритів МВ дозволяють сформувати вимоги до підсистеми їх ідентифікації за ваговою групою МВ, що визначають її чутливість [28].

Виходячи з викладеного вище, пропонується ввести ступінь впливу вагових груп МВ на перебіг технологічного процесу, табл.2.4.

Таблиця 2.4 – Групи впливу МВ на перебіг технологічного процесу виготовлення керамічних виробів

Вагова група МВ, грами	0-5	5-10	10-100	100 і більше
Вплив на стан технологічного процесу	відсутній	незначний	значний	критичний

Виходячи з табл. 2.4 та проведеного вище статистичного аналізу даних і результатів експлуатації валкового млина проектуєма підсистема ідентифікації повинна ідентифікувати МВ вагою 5-10г із вірогідністю 0.9, вагою 10-100г із вірогідністю 0.95, а вагою більше 100г із вірогідністю 0.97.

2.3. Розробка структурної і функціональної схем підсистем ідентифікації та вилучення металевих включень

Аналізуючи поточний стан розвитку підсистем ідентифікації та вилучення МВ слід зауважити, що дана проблема актуальна не тільки для окремо взятої галузі промисловості, а є загальною проблемою. Вона зустрічається у будівельній галузі, галузі сільського господарства, харчовій галузі, а також в гірничій та в галузі переробки вторинної сировини. Найбільш простим методом вилучення МВ є рішення наведене в роботі [29]. Застосування барабанного сепаратора спрощує конструкцію, проте не вирішує проблему МВ значної вагової категорії. В роботі [30] описано процес модернізації класичного барабанного сепаратора шляхом зміни режиму роботи пристрою подачі, а також конструкції розділюючої ємності та місця її розташування, однак вказані рішення лише частково збільшили ефективність ідентифікації МВ. Варіантом подолання даних труднощів є використання різнотипних магнітних матеріалів для постійних магнітів [31]. Проте таке рішення тільки незначно збільшує частку вилучених МВ. Попри доволі посередню ефективність, дані способи часто використовуються на промислових лініях [32]. Проте такий підхід не дозволяє проводити автоматичне розвантаження електромагнітів від вилучених МВ. Доволі перспективним є спосіб наведений в роботі [33], що полягає в комбінованому впливі на МВ магнітного поля і повітряного потоку. Проблемним моментом цього підходу є складність визначення сили повітряного потоку через відсутність інформації про розмір МВ. Більш інноваційним є спосіб використання магнітних шариків описаний в роботі [34]. Але в силу низького рівня дослідження і специфіки використання, область його застосування доволі вузька через різні і неоднорідні фізико-механічні характеристики різних типів сировини. Окремо слід виділити саморозвантажувальні сепаратори сепаратори фірми Goudsmit Magnetic Systems [35] проте і вони не забезпечують вилучення металів із значною вагою і складною геометрією. Використання гібридних електромагнітних систем

сепарації описано в роботі [36] значно підвищує ефективність таких систем за рахунок формування магнітного поля, що генерується в заданій області простору. Проте відсутність інформації про ідентифіковане МВ робить таку систему «сліпою» і малоефективною. Проблема автоматизації систем вилучення є найбільш недослідженою. Відома робота [37], в якій автоматизація зводиться до управління основними механічними і кінематичними параметрами роботи сепаратора, а управління магнітним потоком і його характеристиками не розглядаються.

Підсумовуючи, можна вказати, що більшість існуючих систем володіють низьким рівнем автоматизації щодо процесу вилучення і розвантаження вилученого металу. Наявний низький рівень інтелектуальної насиченості даних систем не дозволяє виконувати даний процес із високою енергоефективністю. Враховуючи, що існуючі системи вилучення в більшості випадків працюють індивідуально від системи ідентифікації МВ, унеможливлюється їх сумісна робота. Це не дозволяє розширити функціональні можливості системи. Слід також звернути увагу що більшість систем вилучення не володіють універсальністю, а мають вузько галузеве застосування.

Метою дослідження є розробка альтернативної підсистеми ідентифікації і вилучення МВ із сипучої сировини в умовах конвеєрної стрічки. Розроблена підсистема вилучення повинна забезпечити можливість вилучення МВ різнорідних металів, металевих включень складної конфігурації і різної ваги. Окрім цього, в системі необхідно передбачити можливість сумісної роботи підсистеми вилучення і підсистеми ідентифікації. Це дасть можливість оптимізувати режим роботи робочих органів підсистеми вилучення і автоматичного розвантаження вилучених МВ [38]. Інтеграція цих підсистем у АСК технологічним процесом підготовки сировини дозволить значно розшири її функціональні можливості.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

– розробити структурну схему підсистеми вилучення МВ з прив’язкою її до підсистеми ідентифікації, що дозволить проводити обмін даними між ними.

Зокрема, дозволить передавати дані про ідентифіковані МВ у сировині;

– розробити апаратно-комунікаційний комплекс на базі новітніх апаратно-програмних засобів для забезпечення максимальної функціональності підсистеми ідентифікації та вилучення МВ;

– розробити програмне і алгоритмічне забезпечення підсистеми ідентифікації та вилучення для реалізації оптимальної роботи органів видалення МВ та забезпечення автономності роботи системи.

Для відпрацювання поставленої задачі і збору статистичних даних було обрано місцевий завод будівельних матеріалів СВП «Завод ПРОКЕРАМ» ТОВ «Голд Кераміка» (Україна). Як і інші заводи галузі, основною проблемою якості сировини є потрапляння в неї МВ, які стають причиною частих поломок. Проаналізувавши наявну технологічну схему лінії (рис. 2.15) постачання сировини, в ролі якої виступає подрібнена глина, виявилось, що єдиним наявним способом вилучення МВ є розміщений на конвеєрною лінією №2 блок електромагнітів. При цьому такий метод за проведеним аналізом вилучяє близько 47% наявних МВ. Даний показник не забезпечує достатню безперебійну роботу технологічних ліній заводу в цілому.

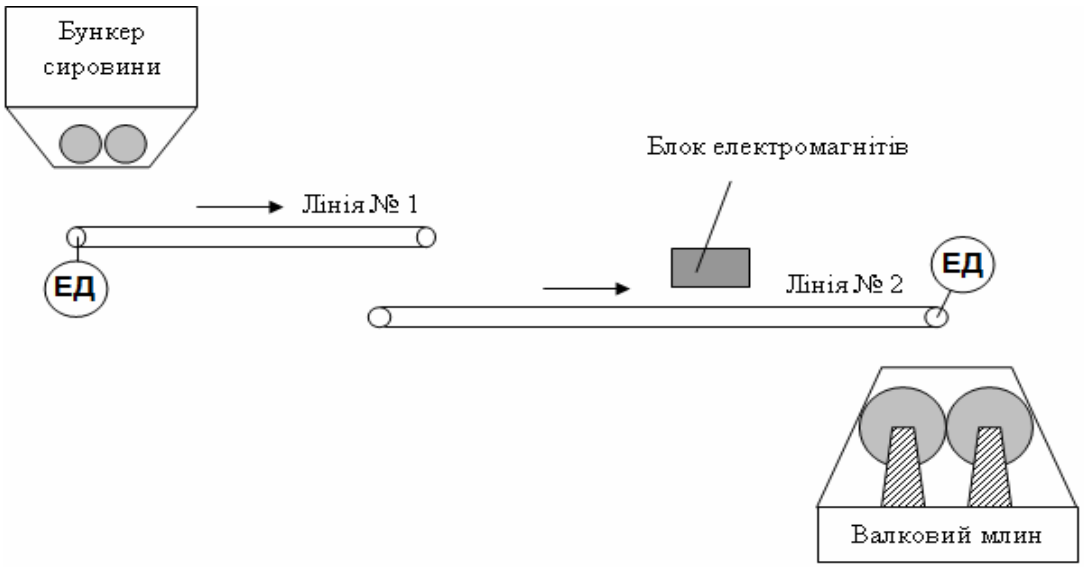


Рисунок 2.15 – Технологічна схема постачання сировини

Технологічна схема містить дві конвеєрні лінії із незалежними електроприводами. При цьому бункер подачі сировини, який являє собою шнековий змішувач сировини, розміщений над лінією № 1, синхронізований із

електроприводом лінії № 1. Сировина із лінії № 1 потрапляє на конвеєрну лінію № 2, звідки вона потрапляє у валковий млин.

З метою забезпечення підсистеми вилучення необхідною інформацією про параметри ідентифікованого МВ, було вирішено скористатись попередніми результатами розробки методу ідентифікації МВ на основі скануючого сигналу [39]. Принцип роботи методу полягає у формуванні скануючого сигналу з рухомим максимумом амплітуди напруженості магнітного поля «дзвоноподібної» форми в межах ширини конвеєрної стрічки. Даний підхід дозволяє ідентифікувати наявність, розміщення відносно перерізу конвеєрної стрічки, габаритні розміри МВ, тип металу.

Попередній досвід модернізації АСК процесом підготовки сировини [40-41] показав, що застосування тільки підсистеми ідентифікації МВ і управління реверсом конвеєрної стрічки, як методу вилучення МВ чи застосування тільки підсистеми магнітного вилучення без підсистеми ідентифікації МВ, не дає очікуваного результату. Це зумовлює, в результаті, значну перевитрату сировини, як супутнього продукту вилучення, а також значні енергозатрати. Для усунення вказаних недоліків АСК була доповнена підсистемами ідентифікації і вилучення МВ, що розміщені в зоні роботи конвеєрної стрічки №2 (рис. 2.16).

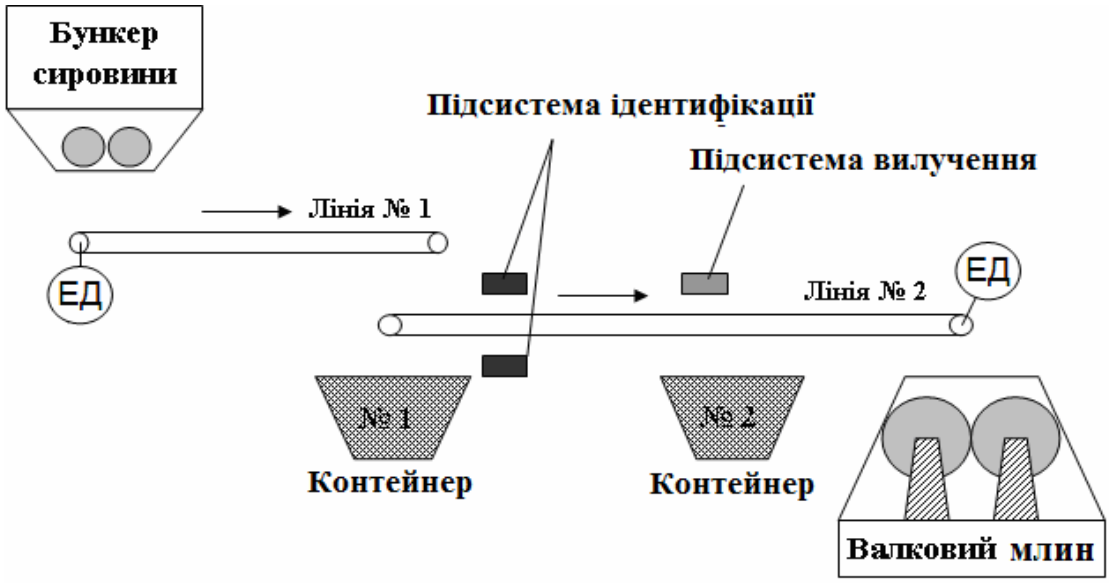


Рисунок 2.16 – Схема технологічного процесу підготовки сировини із доповненими підсистемами ідентифікації і вилучення МВ

Окрім цього передбачена функція управління електроприводом конвеєрної стрічки №2, що дозволяє здійснити повторний контроль наявності МВ у сировині для та провести їх додаткове вилучення [42].

Виходячи із технологічної схеми лінії, функції і можливостей методу ідентифікації і вилучення метало включень, а також вимог цільових підприємств, було запропоновано інноваційну систему вилучення металовключень, функціональна схема системи зображена на рис. 2.17. Сюди входить підсистема ідентифікації та вилучення МВ а також АСК процесом підготовки сировини.

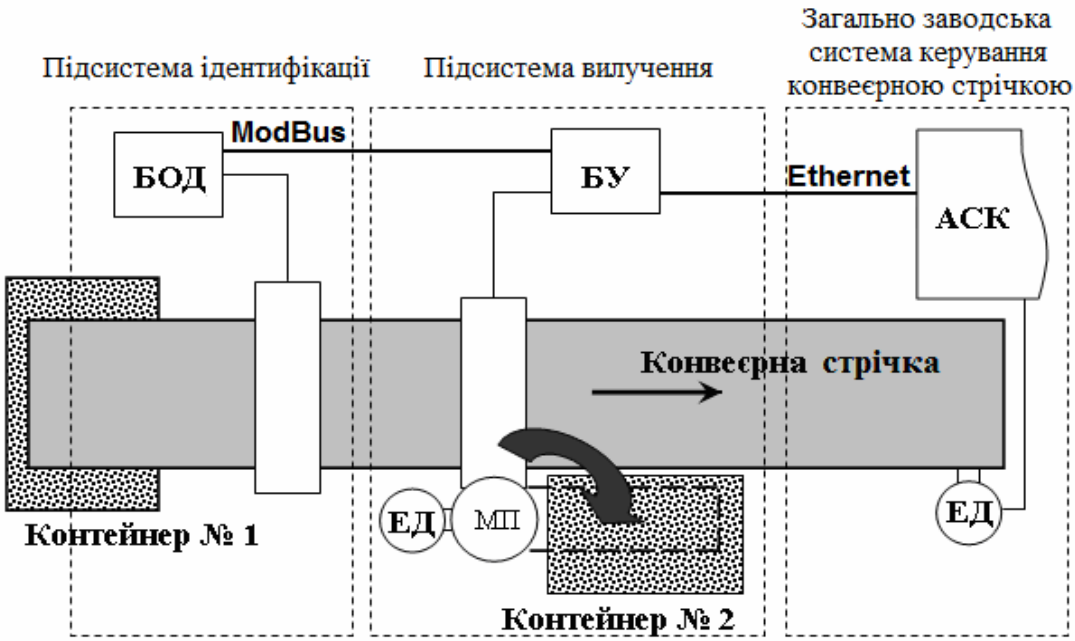


Рисунок 2.17 - Функціональна схема підсистем ідентифікації і вилучення МВ: БОД – блок обробки даних; БУ – блок управління; ЕД – електродвигун; МП – механізм повороту.

Підсистема ідентифікації забезпечує виявлення МВ, визначення їх габаритів та типу металу МВ (чорний чи кольоровий). Блок БОД забезпечує реалізацію розробленого методу ідентифікації МВ.

Підсистема вилучення здійснює вилучення виявлених МВ і їх розвантаження. Вилучення МВ здійснюється шляхом активації блоку електромагнітів. Механізм МП здійснює радіальний поворот блоку електромагнітів між зонами вилучення МВ і зоною їх скидання у контейнер № 2.

Електроприводом МП служить реверсивний ЕД з черв’ячним редуктором. Роботою підсистеми вилучення керує БУ.

Зв'язок між підсистемами ідентифікації та вилучення відбувається через протокол ModBus RTU [43]. БУ отримує від підсистеми ідентифікації інформацію про наявність МВ, тип його металу, габаритні розміри та місце розташування на конвеєрній стрічці. Ethernet-комунікація підсистем із АСК (рис. 2) забезпечує їх інтеграцію, а також можливість управління ЕД приводу конвеєрної стрічки №2 для здійснення її зупинки, реверсу чи сповільнення руху. Реверс дозволяє здійснити вилучення у контейнер № 1 МВ з кольорових металів, які ідентифікуються підсистемою, але не можуть бути вилучені, оскільки не володіють магнітними властивостями. Окрім цього, реверс конвеєрної стрічки №2 зі сповільненим рухом дозволяє підтвердити факт вилучення МВ шляхом повторного руху сировини вздовж зони роботи підсистеми ідентифікації.

Підсистема вилучення, структурна схема якої наведена на рис. 2.18, складається з наступних вузлів, що виконують покладені на неї функції.

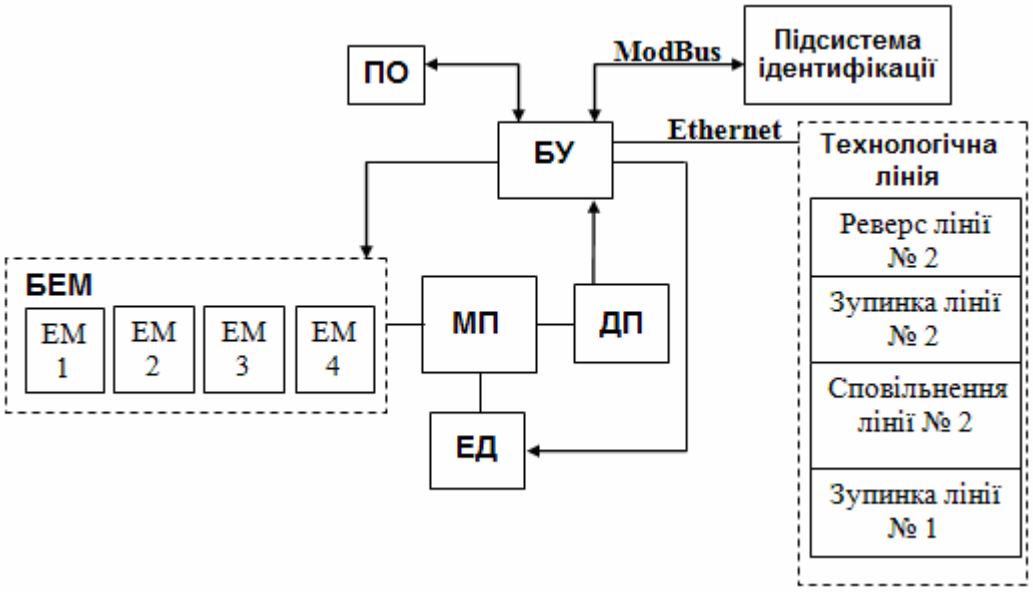


Рисунок 2.18 - Структурна схема підсистеми вилучення МВ:
ЕМ – електромагніт; БЕМ – блок електромагнітів; МП – механізм повороту; ЕД – електродвигун; БУ – блок управління; ДП – давач позиціонування

Блок електромагнітів містить 4 незалежних електромагніти (ЕМ1–ЕМ4). Кількість котушок була визначена виходячи із геометричних розмірів електромагнітів, конвеєрної стрічки і мінімального магнітного потоку електромагніту. Незалежність даних електромагнітів полягає у можливості вибіркового включення одного або декількох електромагнітів в залежності від місця розташування МВ і його габаритів. Окрім цього такий підхід дозволяє вмикати короткочасно електромагніти на пікову потужність, яка дозволена виробником як короткочасна, але заборонена як постійна. Така функція дозволить вилучати важкі і габаритні МВ, а також ті, які накриті великим шаром сировини або з сировиною становлять одне ціле. Подальше переключення на потужність утримування дозволяє утримувати вилучений із сировини метал на сердечнику електромагніта з мінімальними затратами електроенергії.

Механізм повороту здійснює радіальний поворот блоку електромагнітів між зонами вилучення МВ і зоною скидання МВ у прийомний контейнер № 2. Електроприводом механізму повороту служить реверсивний електродвигун, який з'єднаний із ним з допомогою черв'ячного редуктора [44]. Саме використання даного типу редуктора дозволяє забезпечити фіксування поворотного механізму у робочих зонах. Для контролю положення у крайніх зонах служать давачі позиціонування, які спрацьовують у зоні вилучення і зоні скидання МВ. Інформація від давачів позиціонування надходить у блок управління БУ. Цей блок отримує від підсистеми ідентифікації МВ інформацію про наявність, розміри і розташування МВ на конвеєрній стрічці. В результаті БУК приймає рішення про включення необхідної кількості електромагнітів із врахуванням часової затримки руху МВ від зони ідентифікації до зони вилучення МВ. Окрім цього БУ визначає, які саме з електромагнітів будуть ввімкнуті для вилучення МВ з метою ефективної і економної роботи процесу вилучення. За потреби в підсистемі передбачено реверс конвеєрної стрічки для підтвердження факту вилучення МВ із сировини.

Взявши за основу структурну схему, було здійснено розробку схеми функціональної (рис. 2.19). На схемі зазначено комунікаційні канали [45] і

основні функціональні вузли та агрегати.

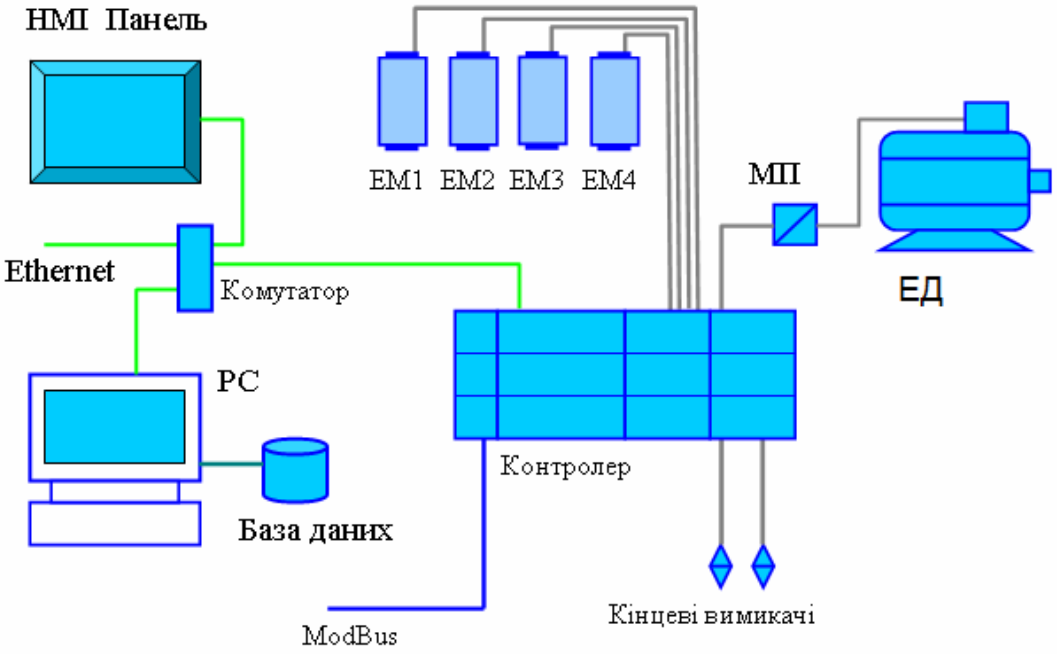


Рисунок 2.19 - Функціональна схема системи вилучення

Розширеним функціональним рішенням є процес скидування вилученого МВ у контейнер № 2. Для цього БУ вмикає електродвигун, який служить електроприводом поворотного механізму блоку ЕМ [46]. Механізм повертається на 90°. Спрацьовує давач зони скидання і БУ зупиняє електродвигун. Наступним етапом вимикаються електромагніти і МВ потрапляють у контейнер № 2 для вилученого МВ. Після цього блок управління повертає вузол електромагнітів у зону вилучення, а дадавач позиціонування контролює дане переміщення.

З метою забезпечення якісного і функціонально управління електроприводом конвеєрної стрічки №2 було інтегровано частотний елктропривід, що інтегрується у АСК. Така інтеграція дозволяє здійснювати плавний пуск і зупинку конвеєрної стрічки, безконтактний її реверс, сповільнений рух конвеєрної стрічки та моніторинг основних енергопараметрів електроприводу конвеєрної стрічки.

В результаті загальна структура передбачає інтеграцію в АСК підсистеми ідентифікації та вилучення металевих включень [47], рис. 2.20.

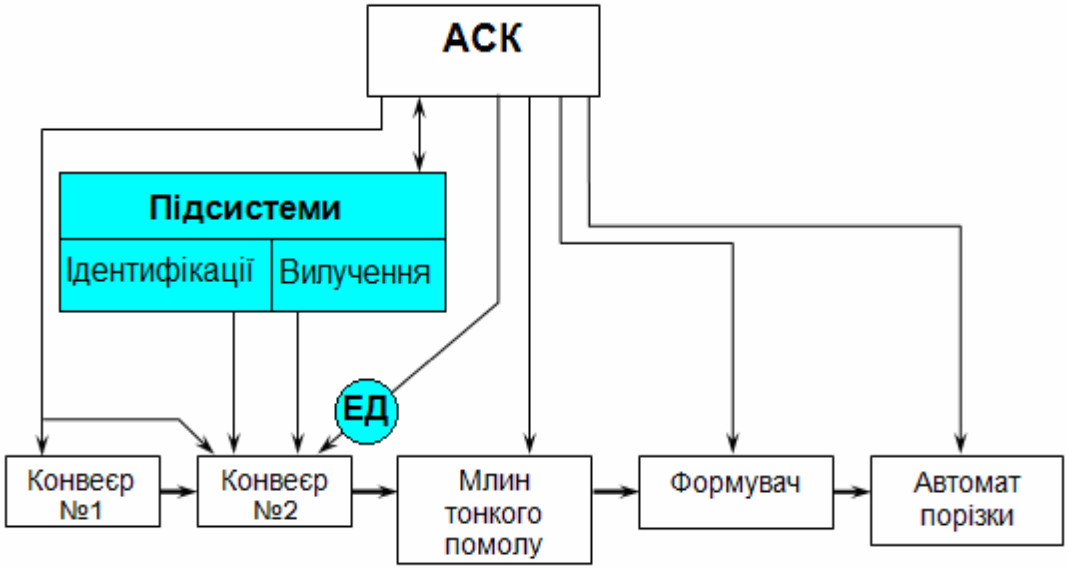
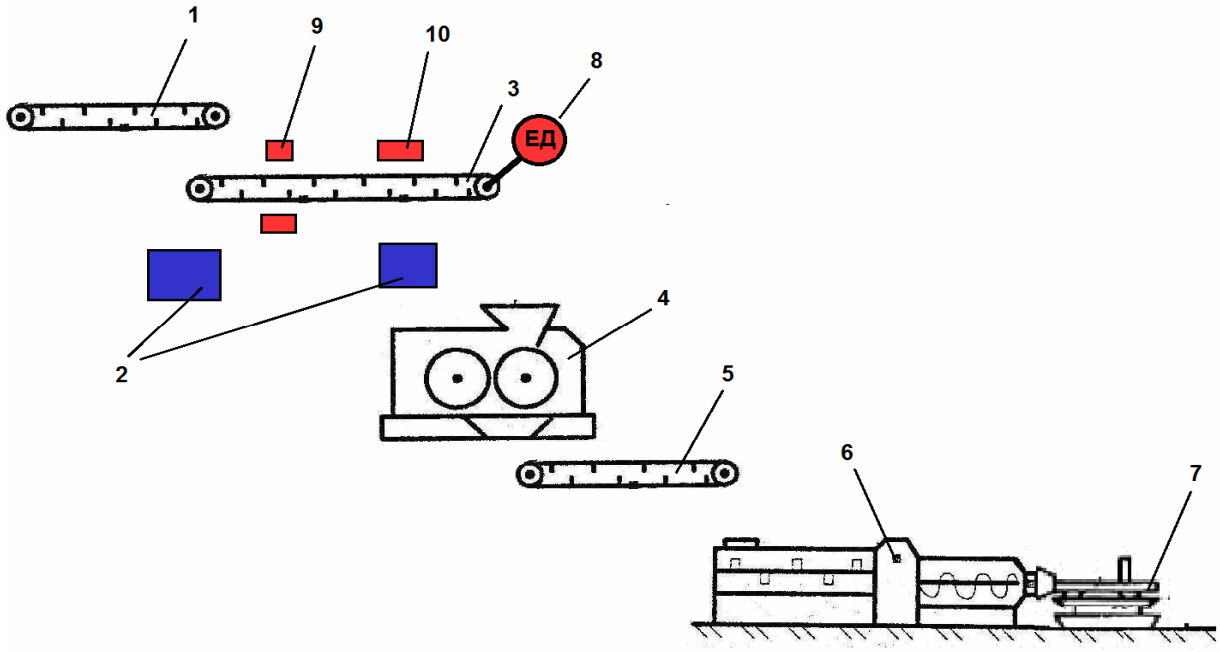


Рисунок 2.20 – Структурна схема інтеграції підсистеми ідентифікації і вилучення МВ в АСК

В результаті функціональна схема технологічної лінії передбачатиме наступні елементи, рис. 2.21.



1- конвеєрна лінія №1, 2 – контейнери, 3 - конвеєрна лінія №2, 4-млин дрібного помолу, 5 – конвеєрна лінія №3, 6 – формовочний вакуум-прес, 7 – автомат порізки, 8- частотний електропривід, 9 – підсистема ідентифікації МВ, 10 – підсистема вилучення МВ.

Рисунок 2.21 – Функціональна схема інтеграції підсистеми ідентифікації і вилучення МВ в АСК

2.4. Оцінка технічного рівня і якості АСК процесом підготовки сировини

З метою оцінки технічного і рівня та якості АСК процесом підготовки сировини було розраховано комплексний показник якості. Для проведення даної оцінки було обрано існуючу АСК на СВП «Завод ПРОКЕРАМ» ТОВ «Голд Кераміка», а також кращий зарубіжний аналог. Порівняння проводиться із АСК з наперед закладеними функціями і показниками, необхідними для збільшення надійності самої АСК і розширення її функціональності. В якості кращого зарубіжного аналогу обрано АСК фірми «ВигорТех».

Комплексний показник якості визначається шляхом порівняння показників якості системи, що проектується і діючого зразка. Вибір показників здійснюється експертним шляхом, шляхом опитування і анкетування спеціалістів, аналізу діючих аналогів АСК підготовки сировини.

В таблиці 2.5 внесені основні показники якості і технічного рівня існуючої АСК, проектованої і кращого аналога.

Таблиця 2.5– Визначення технічного рівня і якості АСК

Показник	Одиниця вимірю-вання показника	Значення показника			Коефіцієнт вагомості
		АСК, що проек-тується	Діюча АСК	Кращий аналог АСК	
		$П_1$	$П_2$	$П_3$	K
1	2	3	4	5	6
Наявність підсистеми ідентифікації	%	80	10	10	5%
Ступінь інтеграції в АСК	%	80	30	40	5%

1	2	3	4	5	6
Можливість вилучення дрібних МВ	%	60	40	50	10%
Можливість вилучення габаритних МВ	%	60	50	60	25%
Можливість вилучення кольорових МВ	%	50	10	10	10%
Супутні втрати сировини	%	4	1	2	5%
Складність інтеграції	%	70	40	50	5%
Вартість впровадження	тис. грн	180	40	60	10%
Можливість саморозвантаження МВ	%	70	10	60	10%
Енергоефективність	%	80	60	50	15%

Комплексний показник якості визначається методом арифметичного середньозваження за формулою:

$$П_к = \sum_{i=1}^{n} \frac{K_i}{100} \cdot q_i \,, \tag{2.1}$$

де n – кількість одиничних показників, прийнятих для оцінки якості системи, що проектується ;

K_i – коефіцієнт вагомості і-го одиничного показника якості, що визначає його відносну значимість, % (коефіцієнти вагомості визначаються експертним методом; сума цих коефіцієнтів повинна бути рівною 100%, тобто ΣK_i=100%);

q_i – відносні безрозмірні показники якості, що визначаються співставленням числових значень одиничних показників АСК, що порівнюються за формулою:

$$q_i = \frac{П_{2i}}{П_{1i}} \,, \tag{5.2}$$

або

$$q_i = \frac{П_{1i}}{П_{2i}} \,, \tag{5.3}$$

де $П_{1i}$, $П_{2i}$ – кількісні значення i – го одиничного показника якості відповідно двох АСК що порівнюються, натур. од.

З формул (2.2) і (2.3) вибирається та, в якій збільшення відповідає покращенню показника якості АСК. У випадну негативного параметру, показник якості стає відємним числом.

Згідно формул (2.2) і (2.3) розраховуємо безрозмірні показники якості відносно діючої АСК:

– наявність підсистеми ідентифікації, q_1= 80/10 = 8 ;
– ступінь інтеграції в АСК, q_2 = 80/30 = 2.7;
– можливість вилучення дрібних МВ, q_3= 60/40 = 1,5;
– можливість вилучення габаритних МВ, q_4=60/50 =1.2;
– можливість вилучення кольорових МВ, q_5=50/10 = 5;
– супутні втрати сировини, q_6 = -4/1= -10 ;
– складність інтеграції, q_7= -70/40 = -1.75;
– вартість впровадження, q_8 = -180/40 = -4,5;
– можливість саморозвантаження МВ, q_9 = 70/10 = 7;
– енергоефективність, q_{10} = 80/60 = 1.3;

Знаходимо суму безрозмірних показників якості у відсотках:

$К_1 + К_2 + … + К_{10}$ = 5+5+10+25+10+5+5+10+10+15 = 100 % .

Комплексний показник якості, згідно з формулою (2.1) складає :

$П_я$ = (5·8+5·2.7+10·1.5+25·1.2+10·5-5·4-5·1.75-10·4.5+10·7+15·1.3)= 164.25 %,

в десятковому виді: $П_я$ = 1.64.

Здійснимо аналогічну операцію стосовно кращого аналогу АСК.

– наявність підсистеми ідентифікації, q_1= 80/10 = 8 ;
– ступінь інтеграції в АСК, q_2 = 80/40 = 2;
– можливість вилучення дрібних МВ, q_3= 60/50 = 1,2;
– можливість вилучення габаритних МВ, q_4 = 60/60 = 1;
– можливість вилучення кольорових МВ, q_5 = 50/10 = 5;
– супутні втрати сировини, q_6 = -4/2= -2 ;
– складність інтеграції, q_7= -70/50 = -1.4;
– вартість впровадження, q_8 = -180/60 = -3;
– можливість саморозвантаження МВ, q_9= 70/60 = 1.17;

– енергоефективність, $q_{10} = 80/50 = 1.6$;

Комплексний показник якості, згідно з формулою (2.1) складає :

$П_я = (5 \cdot 8+5 \cdot 2+10 \cdot 1.2+25 \cdot 1+10 \cdot 5-5 \cdot 2-5 \cdot 1.4-10 \cdot 3+10 \cdot 1.7+15 \cdot 1.6) = 131$ %,

в десятковому виді: $П_я = 1.31$.

В результаті АСК, що пропонується, володіє значно кращими показником якості і технічного рівня.

Висновки до розділу 2:

При дослідженні елементів технологічного процесу підготовки сировини для виготовлення керамічних виробів встановлено, що технічний стан трьох основних вузлів технологічної схеми - валків дрібного помолу, формовочного вакуум-пресу та автомата порізки, обумовлений потраплянням в них МВ, визначають надійність і ефективність функціонування АСК та якість вихідного продукту.

Проведена вибірка МВ по вагових і габаритних групах дозволила отримати гістограму їх розподілу по групам, аналіз якої показав, що основну масу становлять МВ з максимальним габаритним розміром 20-50мм. На основі цього були сформовані вимоги до підсистеми ідентифікації і вилучення МВ.

Розроблено структурну і функціональну схеми підсистеми ідентифікації і вилучення МВ, описано складові підсистем та принцип їх роботи і взаємодію між собою через протокол ModBus RTU, а також проведено інтеграцію підсистем АСК через Ethernet-комунікацію.

Проведена оцінка якості АСК процесом підготовки сировини, що проєктується, з існуючою на СВП «Завод ПРОКЕРАМ» ТОВ «Голд Кераміка» АСК та кращим її аналогом фірми «ВигорТех» (Росія) показала, що показник якості *Пя* проєктуємої, в порівнянні з існуючою АСК, становить *Пя*=1,64 (164%), а кращий аналог АСК становить *Пя*=1,31 (131%). Тобто проєктуєма АСК на 33% за якістю і технічним рівнем буде перевищувати кращий її аналог.

3 РОЗРОБКА ТЕОРЕТИЧНИХ ЗАСАД ПІДСИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ТА ВИЛУЧЕННЯ МЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ

3.1. Вихідні положення методу ідентифікації металевих включень в сировині

Ідентифікація МВ у сировині заснована на різниці взаємодії оточуючого середовища і МВ [4, 48] під впливом різних фізичних полів. Загалом, фізичні поля можуть бути акустичними, тепловими і електромагнітними. Оптимальний вибір фізичного поля, яке дозволить оцінити наявність МВ у досліджуваному середовищі є складним завданням. Необхідно оцінити здатність визначати наявність МВ за відмінністю взаємодії МВ і оточуючого середовища в тому чи іншому полі.

Акустичні поля доволі складно використати для ідентифікації МВ через сильні затухання сигналу на границі переходу між поверхнями. Для проникнення і селективності довжина хвилі повинна бути співрозмірною із розмірами включень [49]. При розмірі включень 30мм і, відповідно, довжині хвилі можна знайти частоту акустичних хвиль:

$$\lambda = \frac{v}{f}, \tag{3.1}$$

Для глини швидкість поширення акустичних хвиль складає 2000м/с. Відповідно

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{2000}{0.03} = 66666 \text{ Гц.}$$

На таких частотах повітря є перешкодою для проходження хвиль в середовище матеріалу, тому використання акустичних хвиль є недоцільним.

Теплові поля, які переносяться теплопровідністю доволі повільно змінюють температуру оточуючого середовища. Теплоплоємність глини 0.92кДж/(кг*К), заліза 0.46, міді 0.385. Таким чином теплоємність відрізняється не суттєво, що значно ускладнює селективність методу ідентифікації МВ.

Найбільшого поширення набули електромагнітні методи ідентифікації МВ. Електромагнітне поле взаємодіє з матеріалом. Степінь взаємодії визначається трьома основними параметрами - магнітною проникністю, діелектричною проникністю і електричною провідністю середовища [50].

Для ідентифікації МВ в середовищі використовується збудження електромагнітних хвиль і подальший аналіз цих хвиль після взаємодії із досліджуваним середовищем. В залежності від частоти електромагнітних хвиль, більше практичне значення мають магнітна складова електромагнітного поля на низьких частотах і електрична складова електромагнітного поля на високих частотах. Зі зростанням частоти електромагнтного поля збільшується роздільна геометрична здатність методу оцінки і відповідно зростає складність реалізації. На високих частотах, коли розмір електромагнітної хвилі стає співрозмірний з розміром елементарних частин, які з ним взаємодіють, виникає проблема рівномірності збудження і прийому таких хвиль по плошині.

На низьких частотах простіше формувати магнітну складову електромагнітного поля. Таке поле взаємодіє із досліджуваним середовищем і при прийомі дозволяє отримати інтегральну оцінку ціє взаємодії. Спрощується система формування електромагнітного поля по площині досліджуваного середовища. Всі складові цього середовища охоплені ним і взаємодіючи з ним, вносять свій вклад в результуюче поле.

Магнітне поле у виді електромагнітної хвилю, яка поширюється в середовищі і взаємодіючи з ним трансформується. При цьому можливі дослідження як електромагнітних хвиль, що пройшли через досліджуване середовище, так і електромагнітних хвиль що відбилися від нього [51].

Магнітні хвилі, які проходять через середовище із певними властивостями трансформуються. Ці трансформації на виході із середовища описуються формулою

$$H_2 = H_0 \cdot e^{(\alpha + jk)} \tag{3.2}$$

де α - коефіцієнт затухання хвилі, H_0 - напруженість магнітного поля на вході середовища, k - хвилеве число.

Хвилеве число залежить від властивостей середовища:

$$k = \omega \cdot \sqrt{\varepsilon_a \cdot \mu_a} \tag{3.3}$$

де ω - частота хвилі, ε_a - діелектрична проникність середовища, μ_a - магнітна проникність середовища.

Як уже було зазначено, на низьких частотах електромагнітне поле дає інтегральну оцінку середовища і, якщо в ньому присутні різні матеріали, буде отримано усереднений результат взаємодії всіх складових середовища, (рис. 3.1.)

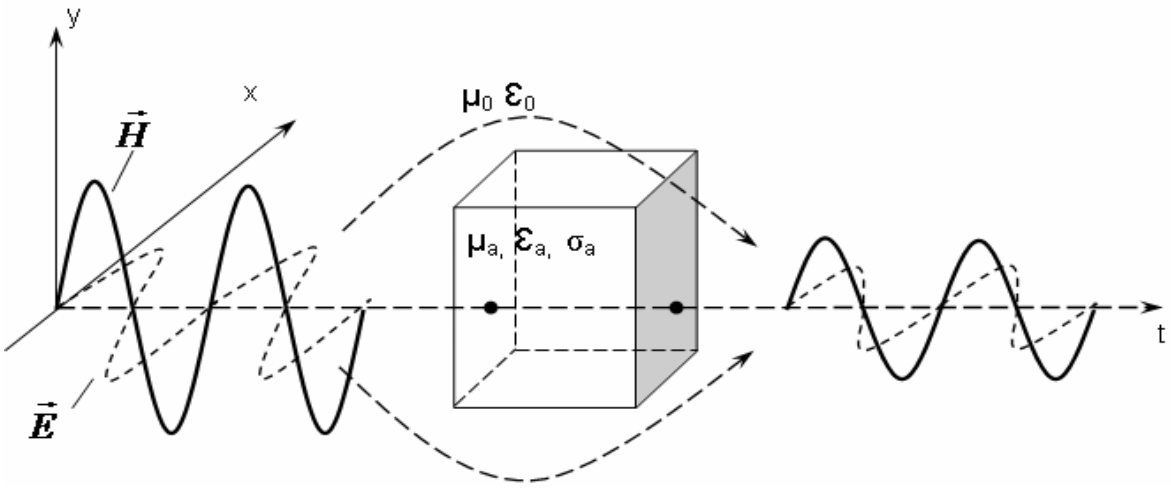
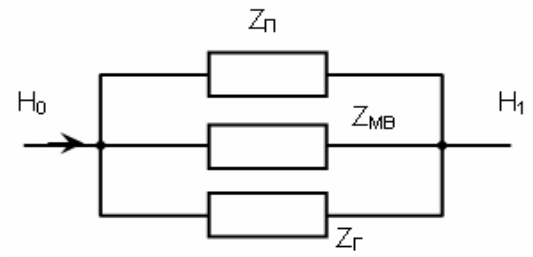


Рисунок 3.1 – Модель формування електромагнітного поля після проходження через об’єкт із відмінними електричним і магнітними властивостями

Взаємодію досліджуваного середовища із електромагнітним полем можна представити моделлю у виді схеми (рис.3.2).

В представленій моделі видно, що сумарний вплив на магнітний потік, який пройшов через досліджуване середовище, визначається сукупністю хвилевих імпедансів різних складових цього середовища.



Zп - імпеданс повітря, Zг - імпеданс глини, Zмв - імпеданс МВ.

Рисунок 3.2 – Електрична модель взаємодії електромагнітного поля із неоднорідним середовищем

Хвилевий імпеданс окремих складових середовища залежить від їх електричних і магнітних властивостей і, в загальному виді, визначається формулою

$$Z = Z_0 \sqrt{\frac{\mu_a}{\varepsilon_a}}, \tag{3.4}$$

де Z_0 - початкове значення імпедансу повітря.

Таким чином, знаючи властивості збуджуючого ЕМ поля до і після взаємодії його із досліджуваним середовищем можна визначити зміни в хвилевому імпедансі цього середовища. При незмінності електричних і магнітних властивостей вихідної сировини, зміни у хвилевому імпедансі досліджуваного середовища можна пояснити тільки наявністю МВ.

Наявність МВ в досліджуваному середовищі складним чином впливає на хвилеві властивості цього середовища. Для дослідження цього впливу на електромагнітні хвилі, що проходять через середовище, було розроблено розрахункову модель.

3.2. Побудова моделі взаємодії металевих включень з електромагнітним полем

При поширенні хвиль електромагнітного поля із ним взаємодіють електропровідні частинки. При збудженні цих частинок виникають вторинні чи

вихрові електромагнітні поля. Тому процес передачі енергії змінного в часі магнітного поля можна представити передачею множини силових ліній від однієї частини простору до іншої, рис.3.3.

Основна енергія електромагнітного поля буде зосереджена в його магнітній складовій. На низьких частотах формування і прийом електромагнітних хвиль в основному здійснюється за допомогою індуктивних котушок.

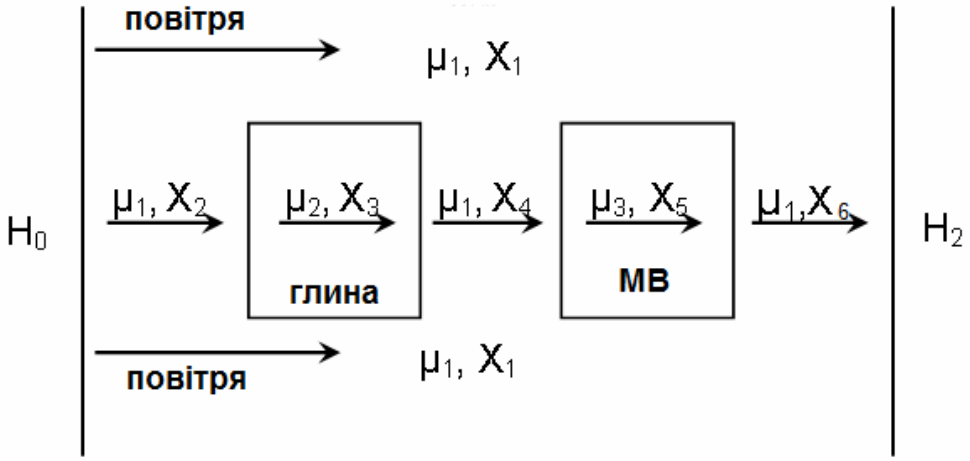


Рисунок 3.3 – Фізична модель взаємодії неоднорідного середовища із магнітним полем

В залежності від того, по якій траєкторії проходить певна силова лінія, що утворена початковим магнітним полем H_2, у неї буде власна довжина (X_i) і коефіцієнт поширення (μ_i). При цьому всі лінії будуть сумуватись і загальне поле H_2 буде мати інтегральну оцінку всіх ліній на ділянці між котушкою збудження і прийомною котушками.

Таку взаємодію зручно представити моделлю у виді електричної схеми [52], де поширення електромагнітних хвиль здійснюється трансформаторним зв’язком (рис.3.4). В такій моделі кожен індуктивний контур представляє траєкторією проходження сигналу через певне середовище (МВ, глина, повітря). Коефіцієнт затухання сигналу по певній траєкторії визначається відповідними резисторами в колі R1, R2, … Ri.

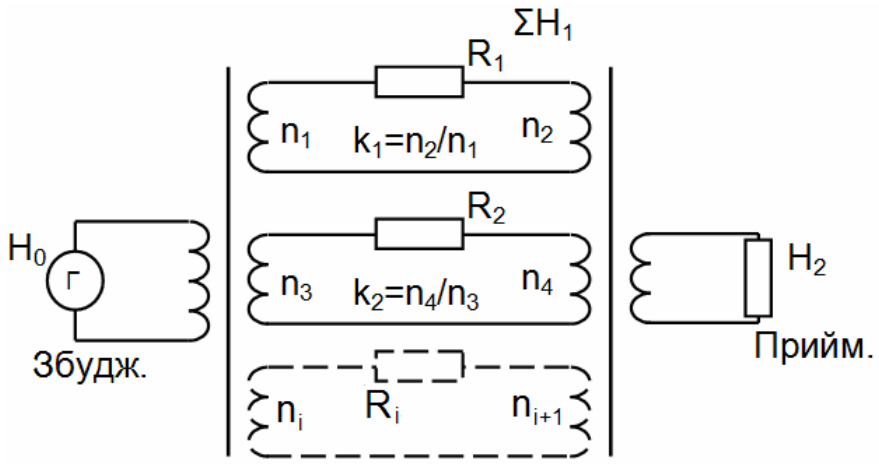


Рисунок 3.4 - Електрична модель взаємодії неоднорідного середовища

Співвідношення між кількістю витків обмоток *n1, n2, ... ni* визначає сумарний вплив відповідної траєкторії проходження сигналу на результуючий у приймальній котушці. При малому розмірі МВ відповідно зменшується кількість витків обмотки, яка моделює магнітні лінії, що проходять через це МВ. Магнітні властивості відповідного середовища визначаються співвідношеннями витків n_2/n_1, *чи* n_4/n_3. Для МВ з міді, алюмінію це співвідношення $n_4/n_3 < 1$, для феромагнітних сплавів $n_4/n_3 > 1$, а для повітря - $n_4/n_3 = 1$.

Таким чином, оцінюючи напруженість магнітного поля після взаємодії його із досліджуваним середовищем можемо виявити ділянки заповнені матеріалом із відмінними магнітними і діелектричними властивостями.

3.3. Дослідження моделі взаємодії металевих включень з магнітним полем

Оцінюючи напруженість магнітного поля після взаємодії його із досліджуваним середовищем можна встановити наявність ділянок, заповнених матеріалом із відмінними магнітними і діелектричними властивостями.

Для перевірки можливості визначення електропровідних металів, таких як сталь, алюміній, мідь було розроблено дослідну установку, яка дала можливість визначити коефіцієнт затухання електромагнітної хвилі і її хвилеве число [53], (рис.3.5).

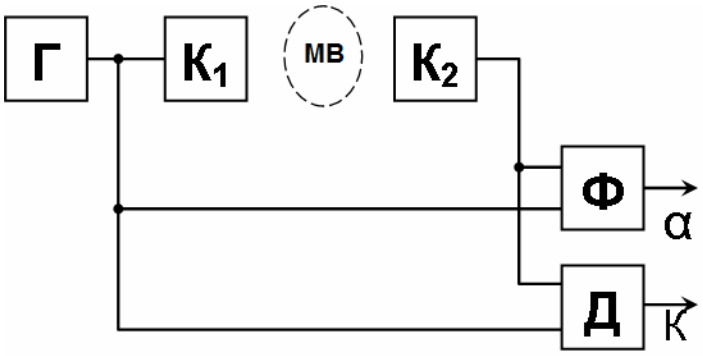


Рисунок 3.5 - Функціональна схема дослідної установки для дослідження взаємодії із електромагнітним полем матеріалів

На схемі генератор синусоїдальних сигналів Г підключено до однієї із котушок $К_1$ [54]. Ця котушка формує електромагнітне поле, яке поширюється і , проходячи через досліджуваний матеріал, МВ потрапляє на іншу котушку $К_2$. Визначення хвилевого числа α проходить із використанням фазоміра Ф [55], а коефіцієнт затухання K визначається відношенням амплітудних значень із використанням детектора Д.

За допомогою даної установки було проведено дослідження взаємодії із електромагнітним полем брусків зі сталі міді та алюмінію. Фото установки зображено на рис. 3.6.

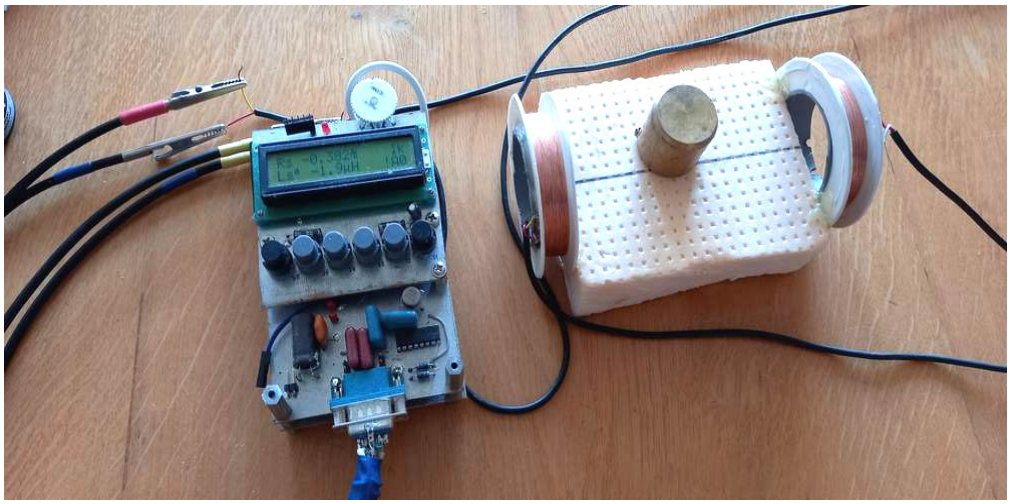


Рисунок 3.6 – Фото дослідної установки

Дослідження передбачало вимірювання зміни відношення амплітуди сигналу на котушці $К_2$ із взірцем і без них, а також вимірювання зміни фази при внесенні в простір між котушками брусків різного розміру і з різних металів.

Як результат, на рис. 3.7 і 3.8, за допомогою осцилографа отримано годографи при наявності металу і без нього.

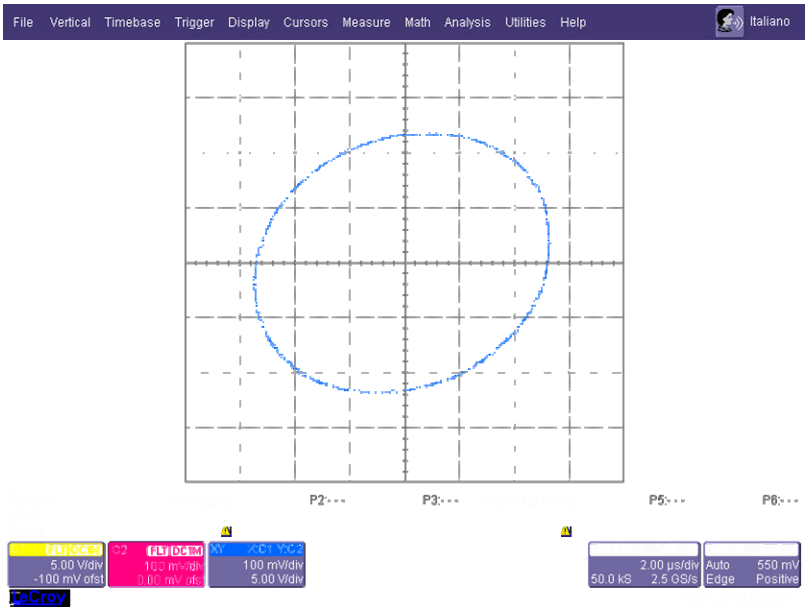


Рисунок 3.7 – Фото годографа отриманого на осцилографі без наявності металу

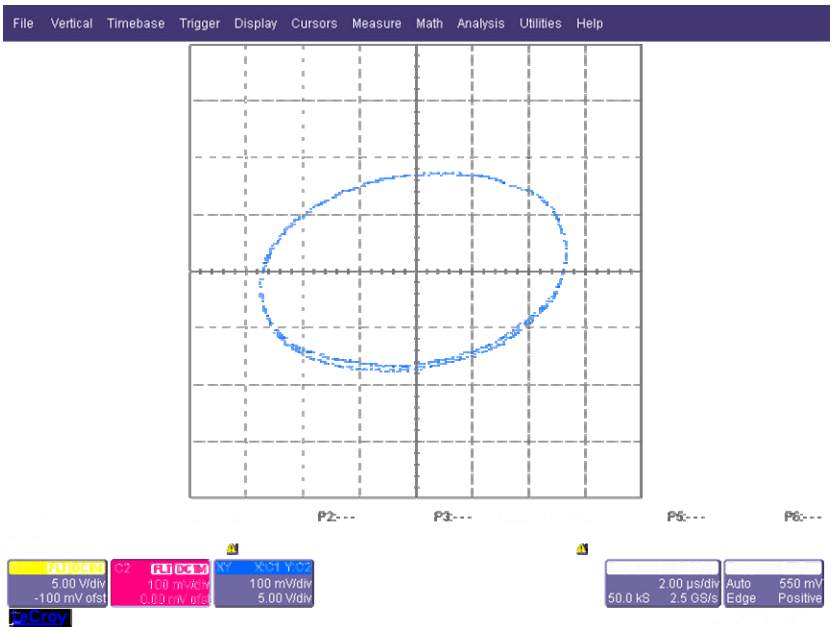
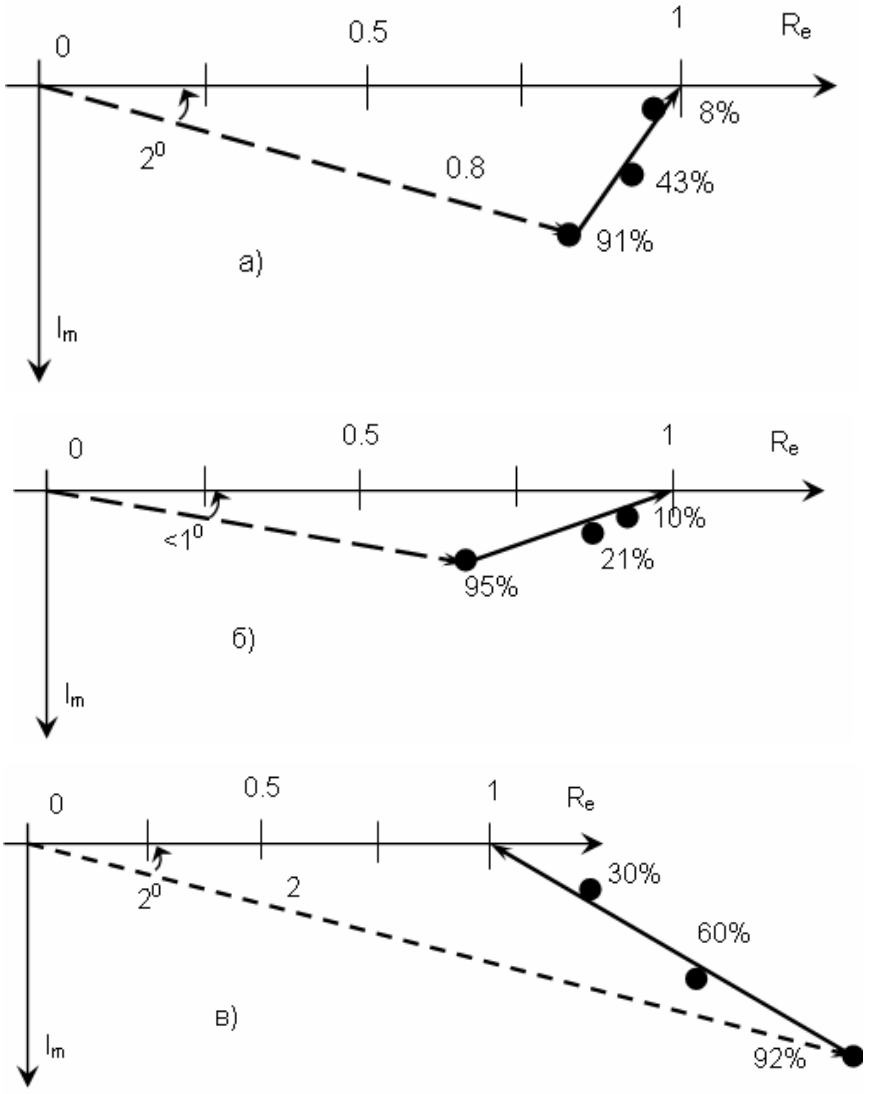


Рисунок 3.8 – Фото годографа отриманого на осцилографі з наявністю металу (мідь, діаметр циліндра 30мм, висота 40мм)

Результати дослідження МВ із типових металів і розмірів представлено у виді векторних діаграм [56] (рис. 3.9).



а – алюмінієва деталь, б – мідна деталь, в – залізна деталь

Рисунок 3.9 – Узагальнені діаграми зміни впливу металевого об’єкту на потік магнітної індукції

Як видно із наведених результатів, при збільшенні розміру МВ з алюмінію (рис.3.9, а) фаза сигналу зменшується до 2 градусів і так само зменшується амплітуда. При максимальному збільшенні розміру МВ до фізичних розмірів ділянки між досліджуваними котушками відношення між амплітудами для алюмінію становить близько 0.8. Тобто, при внесенні в простір між котушками бруска із розміром цього простору, амплітуда сигналу на котушці $К_2$ змінюється в 0.8 рази. Відсотки на діаграмі вказують обємний розмір МВ у відношенні до простору між котушками дослідної установки.

Для мідного МВ максимальний коефіцієнт відношення амплітуд становить 0.5. Для сталевих МВ коефіцієнт відношення зростає до 2.

Таким чином, в залежності від магнітних та електричних властивостей матеріалу МВ після його взаємодії із електромагнітним полем напруженість електромагнітного поля змінює фазу і відношення амплітуд, що можна прийняти за діагностичну ознаку при ідентифікації МВ в електрично-непровідному середовищі.

3.4. Розробка моделі блоку формування спрямованого магнітного поля для ідентифікації металевих включень у сировині

Збудження магнітного поля на низьких частотах відбувається із використанням котушок [57]. При цьому магнітне поле, яке утворюється в результаті збудження котушки змінним струмом має складну будову. Магнітне поле прийнято зображати силовими лініями, які напрямлені від одного полюса до іншого. Всі лінії магнітного поля замкнені. Поняття магнітних ліній є абстрактним, але дає можливість оцінити вплив вектора магнітного поля на певну ділянку простору. При використанні котушки у виді витка провідника, форма силових ліній має нелінійну форму [58] (рис.3.10).

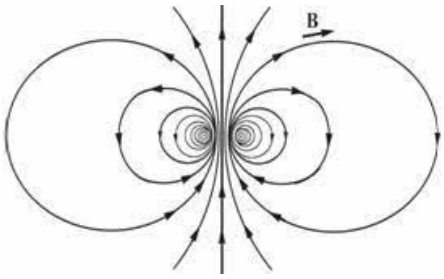


Рисунок 3.10 - Розподіл силових ліній магнітного поля одиночного витка

При використанні котушки, у якої витки розташовані в деякому просторі між витками форма силових ліній має більш лінійну форму, рис. 3.11.

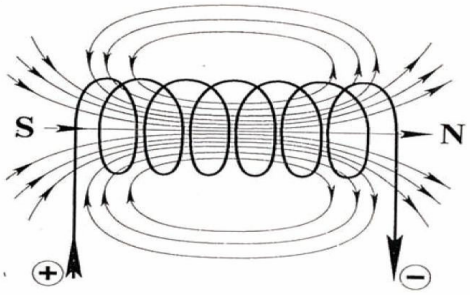


Рисунок 3.11 - Розподіл силових ліній магнітного поля групи витків

Систему витків можна замінити двома витками, які співвісно розташовані на певній відстані і утворюють котушку Гелмгольца, рис. 3.12.

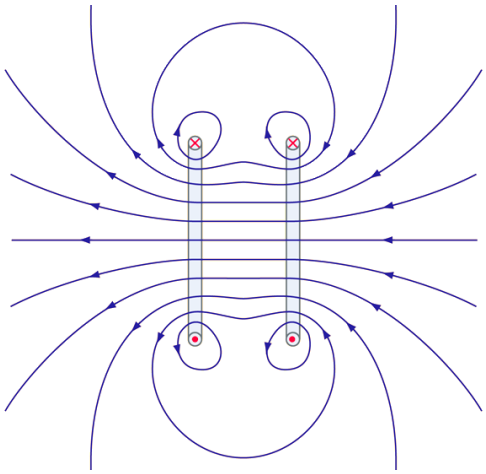
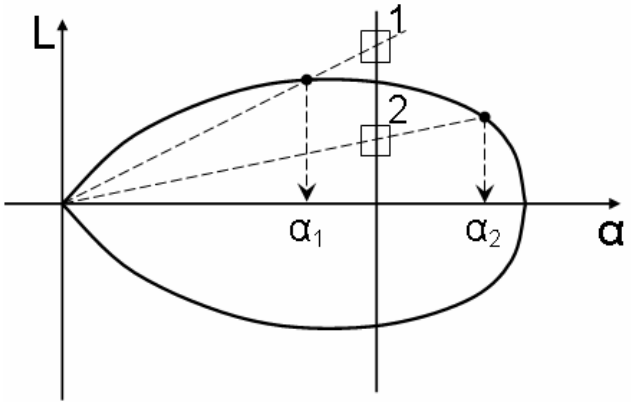


Рисунок 3.12 - Розподіл ліній магнітного поля двох витків рознесених в просторі

Лінії магнітного поля в такій системі між витками мають більш лінійну форму. Простір між двома котушками не заважає встановленню досліджуваного взірця.

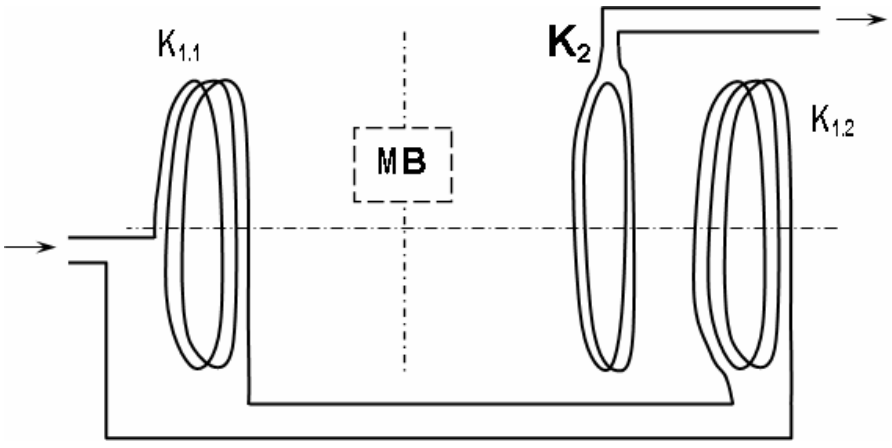
При формуванні магнітного поля важливо отримати симетричну діаграму направленості із максимумом по осі системи котушок [59]. Така діаграма направленості системи дозволяє отримати просторову інформацію про положення МВ. Як приклад, на рис. 2.19 один і той же матеріал при пересуванні із положення 1 в 2 буде вносити різний коефіцієнт затухання α_1, α_2.



1, 2 – положення металовключення

Рисунок 3.13 – Діаграма направленості магнітного поля між двома котушками збудження

Враховуючи замкнутий характер ліній магнітного поля, воно може бути визначене в будь-якій точці простору між котушками [60]. Найбільша густина ліній магнітного буде на торцях котушки. Тому приймальну котушку можна встановити на торці будь якої з котушок збудження, рис.3.14.



$K_{1.1}$, $K_{1.2}$ – котушки збудження, K_2 – приймальна котушка

Рисунок 3.14 – Схема розташування котушок збудження і приймальної

При такому розташуванні приймальної котушки частина електромагнітного поля котушки $K_{1,2}$ буде потрапляти в більшій мірі. Тому сигнал в приймальній котушці буде визначатися тими лініями, які є спільними для двох котушок $K_{1.1}$, $K_{1.2}$, тобто корисним сигналом, який несе в собі інформацію про наявне МВ між ними. Сигнал в котушці K_2 буде також в значно більшій мірі залежати від ліній магнітного поля котушки $K_{1.2}$, які замикаються

поблизу котушки $К_{1.2}$ і не взаємодіють із МВ. При обробці сигналів необхідно вилучати цю сторонню, в даному випадку, складову сигналу.

Співвідношення між площами котушок і відстанню між ними визначає діаграму направленості формованого електромагнітного поля. При збільшенні площі витків зменшується направленість системи, однак зростає енергія електромагнітного поля при фіксованому струмі збудження. Зменшення площі котушок збільшує направленість формованого електромагнітного поля однак знижує його інтенсивність [61].

3.5. Математична модель магнітного поля з двома котушками, рознесеними в просторі

Напруженість, що утворена магнітним полем визначається за законом Біосавара-Лапласа. У вакуумі індукція магнітного поля утвореного ділянкою провідника зі струмом *I* може бути знайдена за формулою:

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I\left[d\vec{l}, \vec{r}\right]}{r^3} \tag{3.5}$$

де dl - елемент провідника, який генерує магнітне поле, r - відстань від елемента, що формує магнітне поле до точки спостереження.

Кожна із ділянок провідника *dl*, інтегрально впливає на індукцію в точці простору на відстані *r*.

Використовуючи дану формулу можна порахувати індукцію поля утворену витком зі струмом в будь які точці простору. Оскільки поле буде осесиметричне, то достатньо знайти розподіл індукції поля в одній із січних площин (рис.3.15).

Було розроблено математичну модель, яка дозволяє визначити індукцію магнітного поля системи двох котушок. Використовуючи принцип суперпозиції процес розрахунку індукції двох котушок розкладено на дві складові. Ці

складові індукції окремо визначаються для кожної котушки. Потім поля двох розрахунків додаються і, таким чином, утворюється поле двох котушок.

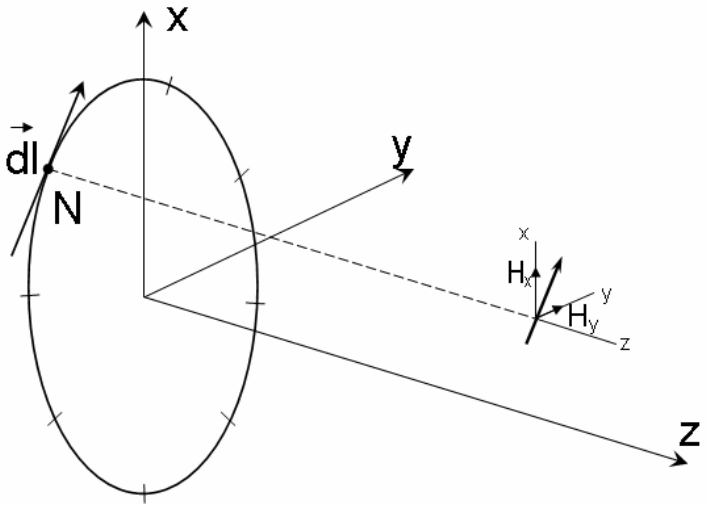


Рисунок 3.15 - Модель розрахунку індукції магнітного поля в довільній точці площини

Виток зі струмом розбивається на певну кількість сегментів, які формують ділянки випромінювання поля *dl*. Кількість ділянок визначає точність отриманого результату. При цьому збільшення їх кількості призводить до зменшення довжини *dl* та збільшення точності отриманого результату. Вісь системи направлена по осі координат Z. Тому в кожній точці площини значення H_z буде визначатися координатою по осі Z. Складові H_x і H_y треба визначати як суму впливів від усіх сегментів витка зі струмом. Таким чином шукається розподіл індукцій від двох котушок. За цим шукається сума індукцій в кожній із розрахункових точок.

Вплив МВ із магнітним властивостями моделюється згідно розробленої моделі.

Кожна електропровідна частина простору після збудження в ній вихрових струмів є джерелом вторинного електромагнітного поля. Це поле залежить від розміру електропровідної частини і значення коефіцієнтів магнітної та діелеткричної проникностей. Виходячи із цього сумарне магнітне поле буде суперпозицією поля збудження і вторинниого поля, утвореного перевипроміненням.

Спрощене моделювання сумарного магнітного поля без врахування фазових зсувів, якими на низьких частотах нехтуємо, проводиться із використанням третьої котушки, центр якої знаходить в певній точці простору. В цій точці буде сформовано індукцію поля за допомогою двох котушок зі струмом. Ця індукція буде збуджувати вторинне поле, пропорційне магнітним властивостям ділянки. Ці магнітні властивості залежать від розміру МВ і магнітних проникностей матеріалу включення.

Прийнявши узагальнений коефіцієнт, який враховує розмір і властивості МВ знаходиться еквівалентній струм, що формує вторинне поле. Після цього знаходиться розподіл індукції вторинного магнітного поля.

Результати моделювання можна спостерігати у виді векторних силових ліній [62], представлених на рис. 3.16, а також у вигляді тривимірної моделі розподілу індукції магнітного поля, за результатами моделювання в середовищі MatLab [63] (рис. 3.17).

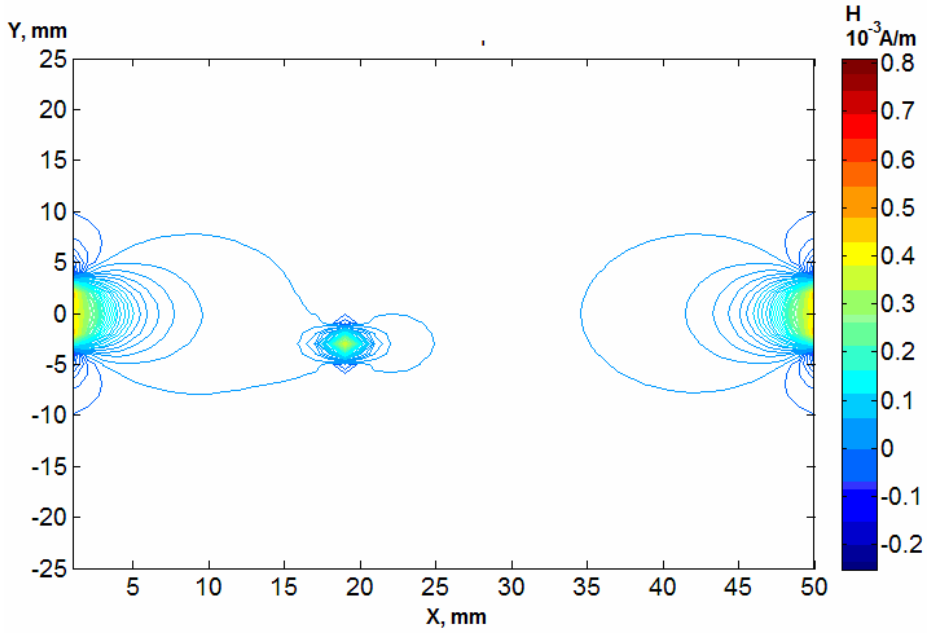


Рисунок 3.16 – Графік розподілу силових ліній напруженості магнітного поля в площині системи котушок *H=f(x,y)* при наявності моделі МВ

.

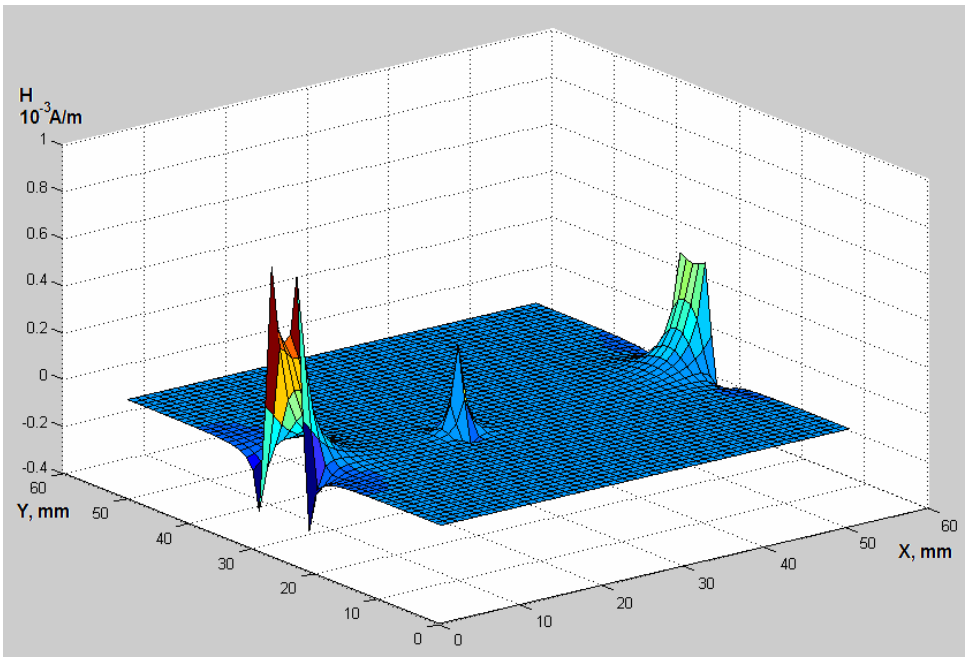


Рисунок 3.17 – Графік розподілу діючих значень напруженості магнітного поля в площині системи котушок *H=f(x,y)* при наявності моделі МВ

Видно, що внаслідок великого розміру котушок збудження, поле в їх околі має складну форму. Тому для вимірювання індукції поля приймальна котушка встановлюється на певній віддалі від торця однієї із котушок збудження.

Значення ЕРС у приймальній котушці визначається за законом електромагнітної індукції із використанням магнітного потоку Ф.

Магнітний потік Ф визначається шляхом інтегрування магнітної індукції по площі витка приймальної котушки.

В результаті моделювання було отримано якісну характеристику залежності ЕРС в приймальній котушці від положення МВ (рис.3.18) [64].

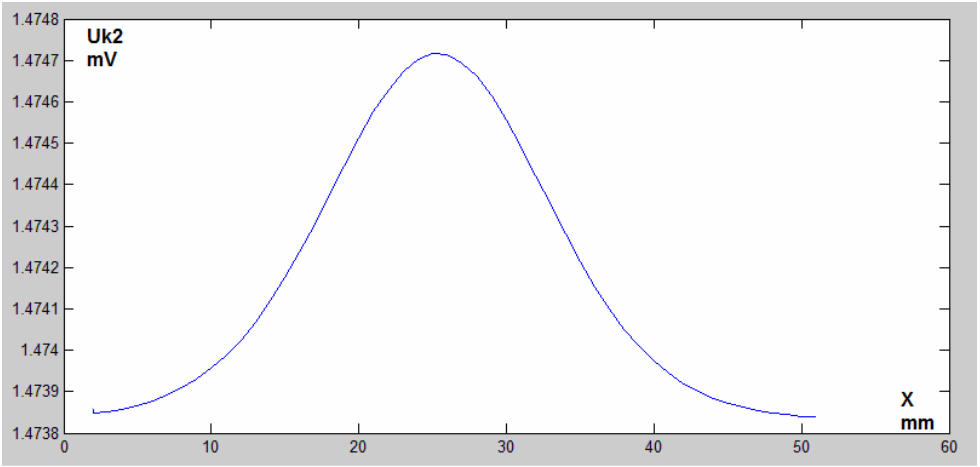
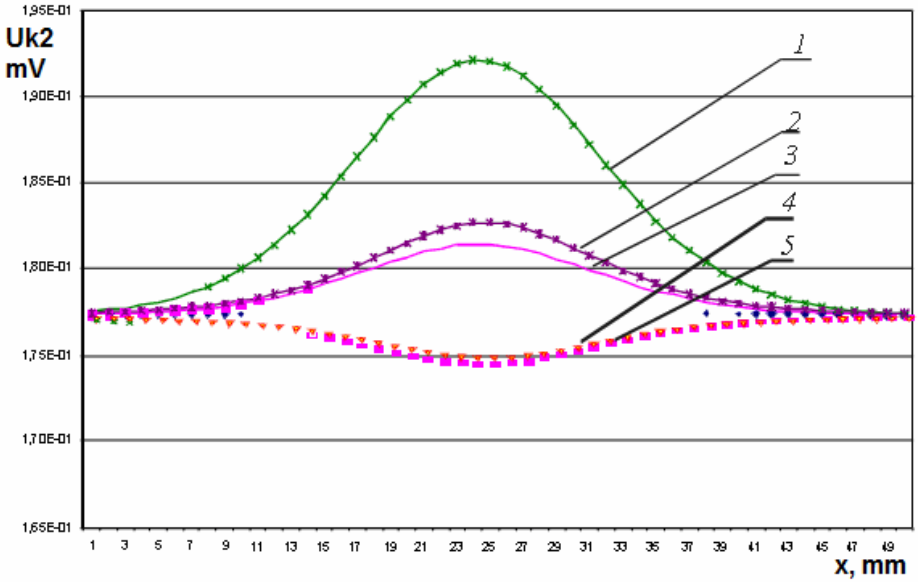


Рисунок 3.18 – Графік залежністі ЕРС в приймальній котушці від положення МВ

Результати вимірювання залежності ЕРС для різних розмірів МВ з різними магнітними властивостями наведено на рис. 3.19



1,2,3 – залізо і 4,5 – кольоровий метал різних розмірів

Рисунок 3.19 – Графік залежності ЕРС приймальної котушки від положення, розмірів і матеріалу МВ

Із наведених результатів видно, що МВ із різним розміром і властивостями впливають на залежність як мультиплікативний коефіцієнт. Більше за розміром МВ із меншим коефіцієнтом магнітної проникності може мати більший вплив на результати вимірювання ніж менше за розміром МВ із більшою магнітною проникністю.

3.6. Оцінка параметрів середовища застосування методу ідентифікації металевих включень

Маючи залежність між положенням МВ і напруженістю магнітного можна знайти віддаленість МВ від осі між двома котушками збудження.

Так, як графічні результати моделювання мають характерний вигляд залежності напруженості магнітного поля від координати положення лінії із струмом в площині, перпендикулярній до неї, то для отримання залежності ЕРС

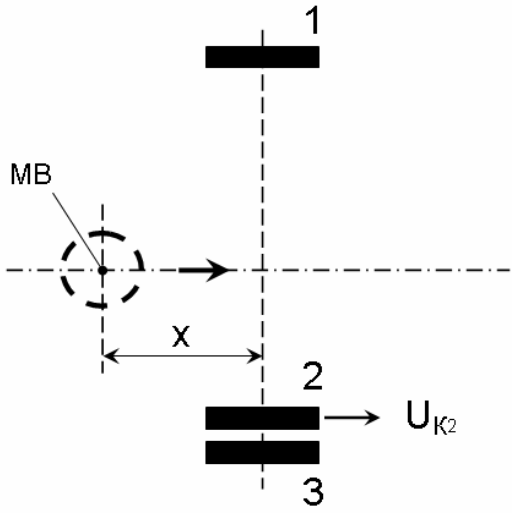
приймальної котушки від положенням МВ було використано апроксимаційну залежність виду:

$$U_a = K \cdot \frac{y}{y^2 + x^2}, \tag{3.6}$$

де U_a – ЕРС на виході приймальної котушки, K – узагальнений коефіцієнт пропорційності, x – положення МВ відносно осі котушок, y – узагальнюючий коефіцієнт параметрів котушок.

Форма графіку залежності ЕРС приймальної котушки від положення МВ залежить від багатьох факторів таких, як положення приймальної котушки, розмірів котушок збудження, форми МВ.

На рис. 3.20 наведено схему проведення експерименту.



МВ – металовключення, 1, 3 – котушки збудження

2 – приймальна котушка, x – зміщення металовключення відносно осі котушок,

Uk2 – напруга на виході приймальної котушки

Рисунок 3.20 – Схема проведення експерименту

Графік на рис.3.21 показує результат вимірювання, який інваріантний відносно осі симетрій. Тому за допомогою цієї системи котушки неможливо визначити точне положення, тільки зміщення відносно осі котушок збудження [65].

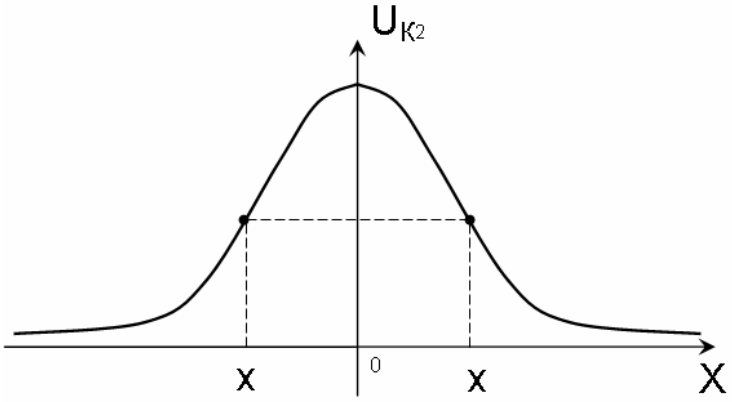


Рисунок 3.21 – Залежність ЕРС приймальної котушки від положення МВ

За допомогою даної залежності апроксимується експериментально знайдена залежність. Метою застосування даної залежності є пошук горизонтального зміщення МВ відносно осі котушок збудження. При цьому приймаємо, що МВ може знаходитися на лінії, яка перпендикулярна до осі котушок і знаходиться посередині між ними.

В апроксимаційній формулі (3.6) є три невідомих. Коефіцієнт y залежить від параметрів котушок і може обчислятися попередньо за допомогою калібрування системи.

Два інших параметри необхідно визначити в процесі дослідження. Визначення проводиться із використанням додаткової системи вимірювальних котушок, які працюють одночасно.

3.7. Принцип пошуку положення металевого включення за двома вимірюваннями

Отримання просторової інформації про положення МВ здійснюється із використанням паралексного методу [64]. При цьому методі одночасно проводиться вимірювання ЕРС двома приймальними котушками на різних частотах збудження для кожної з пар котушок, зміщеними в просторі на фіксовану величну d. Пара котушок 1,3 і 1,5 утворюють дві незалежні ділянки збудження, а котушки 2,4 є приймальними, які в цілому утворюють дві системи

вимірювальних котушок (рис. 3.22). Величина *d* є відстанню між середніми точками осей котушок [66, 39].

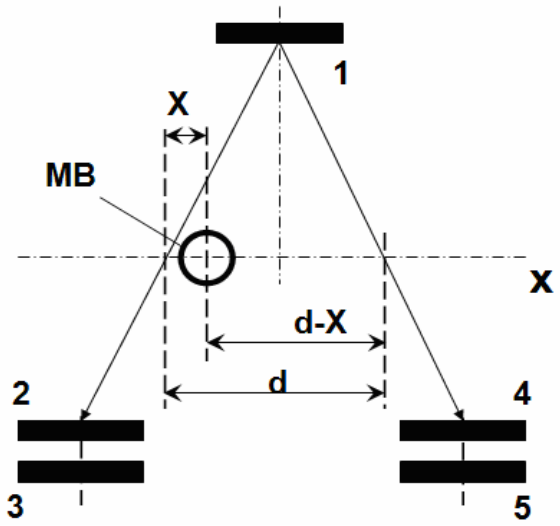


Рисунок 3.22 – Схема розташування котушок

За допомогою розробленої системи проходить вимірювання ЕРС на двох приймальних котушках, які працюють на різних частотах. Було проведено математичне моделювання із двох систем вимірювальних котушок. Результати наведено на рис.3.23.

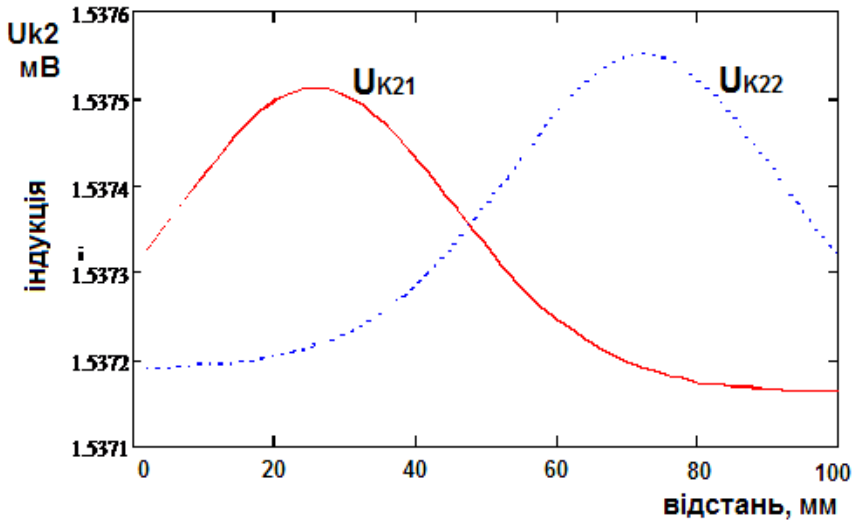
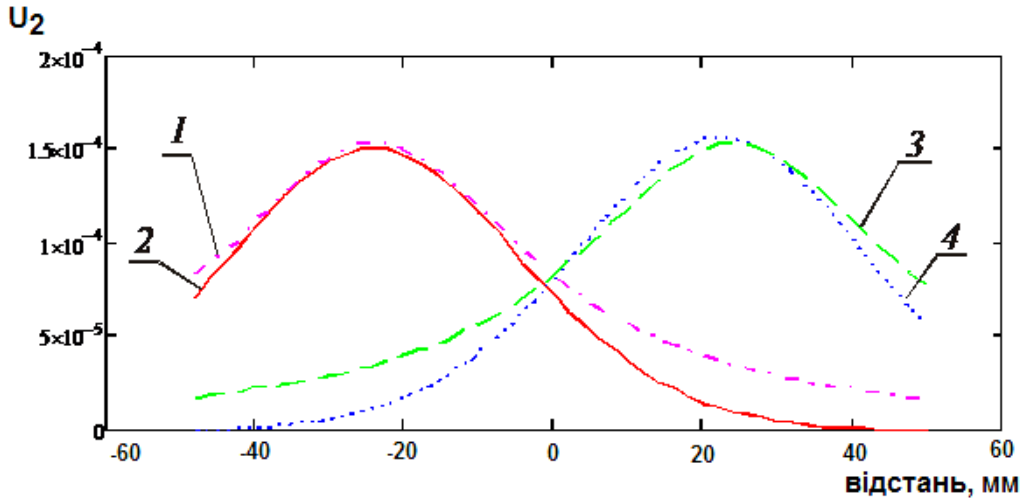


Рисунок 3.23 – Залежність ЕРС двох котушок від положення металовключення

Для того, щоб скористатися апроксимаційною формулою (3.6) необхідно відняти складову, яка утворена котушкою збудження 3 чи 5 і яка не несе інформацію про досліджувану ділянку (рис. 3.24).

Вигляд залежності після віднімання усталеного значення, спричиненого неінформативними складовими, і апроксимовані залежності наведені на рис.3.24.



1,3 - апроксимовані значення, 2,4 – виміряні значення

Рисунок 3.24 – Графік залежності ЕРС приймальних котушок від положення МВ, $U_2=f(x)$

Таким чином, для одного МВ, яке знаходиться на фіксованій віддалі відносно осей приймальних котушок проводиться два вимірювання ЕРС у приймальних котушках 2 і 4. Це дає можливість розв'язати систему рівнянь (3.7)

$$\begin{cases} U_{a1} = K \cdot \left(\dfrac{y}{y^2 + x_1^{\,2}} \right) \\ U_{a2} = K \cdot \left(\dfrac{y}{y^2 + x_2^{\,2}} \right) \end{cases} . \qquad (3.7)$$

Внаслідок близькості параметрів котушок двох вимірювальних систем, коефіцієнти K у них практично рівні і залежать від магнітних властивостей МВ. Коефіцієнт y визначається в процесі калібрування для кожної із котушок.

Якщо прийняти координату $x=0$ по одній з котушок, а відстань між котушками d, то можна записати

$$\begin{cases} U_{a1} = K \cdot \left(\dfrac{y}{y^2 + x^2} \right) \\ U_{a2} = K \cdot \left(\dfrac{y}{y^2 + (d-x)^2} \right) \end{cases}. \tag{3.8}$$

Виразивши з першого рівняння системи (3.8) коефіцієнт K і підставивши його в друге рівняння отримаємо

$$U_{a2} = \left[U_{a1} \cdot \left(\frac{y^2 + x^2}{y} \right) \right] \cdot \left(\frac{y}{y^2 + (d-x)^2} \right). \tag{3.9}$$

Перепишемо

$$\frac{U_{a2}}{U_{a1}} = \frac{y^2 + x^2}{y^2 + (d-x)^2} = G, \tag{3.10}$$

$$x_1, x_2 = \frac{G \cdot d \pm \sqrt{Gd^2 + 2Gy^2 - G^2 y^2 - y^2}}{G-1}. \tag{3.11}$$

Отримаємо вираз для для пошуку положення МВ, яке знаходиться на лінії між середніми точками осей котушок збудження:

$$x_1, x_2 = \frac{G \cdot d \pm \sqrt{Gd^2 - y^2 (G-1)^2}}{G-1}. \tag{3.12}$$

З двох результатів вибирається додатній і менший за відстань d.

Таким чином, маючи значення коефіцієнтів y і коефіцієнт відношення ЕРС на двох приймальних котушках, отримуємо координату положення МВ.

Висновки до розділу 3:

Розглянуто основні положення методу ідентифікації МВ у сировині на базі електричної моделі взаємодії електромагнітного поля із неоднорідним середовищем. Встановлено, що знаючи властивості збуджуючого електромагнітного поля до і після взаємодії його із досліджуваним середовищем можна визначити його хвилевий імпеданс, зміна якого, при незмінності

електричних і магнітних властивостей вихідної сировини, характеризує наявність в досліджуваному середовищі МВ.

Здійснено побудову моделі взаємодії неоднорідного середовища із магнітним полем, аналіз якої показав, що на основі оцінки величини напруженості магнітного поля після взаємодії його із досліджуваним середовищем можна виявити ділянки заповнені матеріалом із відмінними магнітними і діелектричними властивостями.

Проведені дослідження на базі розробленої дослідної установки моделі взаємодії МВ з магнітним полем показали, що після взаємодії МВ з електромагнітним полем його напруженість змінює фазу і відношення амплітуд, які можна прийняти за діагностичну ознаку при ідентифікації МВ в сировині.

Розроблена модель блоку формування спрямованого магнітного поля для ідентифікації МВ у сировині з розміщенням додаткової котушки збудження на торці будь якої з котушок збудження, що дало можливість збільшити чутливість вимірювальної системи котушок.

Побудована математична модель, яка дозволяє визначити індукцію магнітного поля системи двох котушок магнітного поля рознесених в просторі, та встановлена залежність ЕРС приймальної котушки від положення, розмірів і матеріалу МВ.

Здійснено оцінку параметрів середовища застосування методу ідентифікації МВ, що дозволило апроксимувати експериментально знайдену залежність ЕРС приймальної котушки від положення МВ, яка дозволяє визначити величину горизонтально зміщення МВ відносно осі котушок збудження при його ідентифікації.

Розроблена процедура визначення положення МВ за результатами вимірювання ЕРС на двох приймальних котушках, які працюють на різних частотах, та отримано аналітичний вираз для пошуку положення МВ, яке знаходиться на лінії між середніми точками осей котушок збудження

4 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНИХ БЛОКІВ ПІДСИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ МЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ У СИРОВИНІ НА КОНВЕЄРНІЙ СТРІЧЦІ

4.1. Розробка функціональних блоків підсистеми ідентифікації металевих включень в сировині з автоматичним визначенням їх координат на конвеєрній стрічці

При побудові підсистеми ідентифікації МВ було розроблено наступні фнукціональні блоки: блок вимірювання ЕРС приймальної котушки А1 і блок формування сигналу збудження і обробки виміряної ЕРС АА1, в який входить блок А1. При розробці передбачалося створення концепції, яка дозволяє легко масштабувати розроблені вузли для збільшення зони ідентифікації МВ. Відповідно структура підсистеми має бути модульна.

Основними функціями підсистеми є формування сигналів збудження котушок і вимірювання комплексного сигналу, що формується на приймальній котушці [67].

Роздільна здатність вимірювання має бути кращою за 0.0001В при діапазоні вхідних сигналів до 2.5В. Звідки можна знайти мінімальну кількість станів 2.5/0.0001=25000.

Формування сигналів збудження для котушки збудження здійснюється за допомогою прямого цифрового синтезу. Функціональну схему блоку формування цифрових сигналів зображено на рис.4.1. Сигнали, необхідні для формування сигналу збудження і формування опорних сигналів виділення комплексного значення виміряного сигналу, формуються одночасно і зсунуті на $\pi/2$. Вони позначені умовно sin і cos. Синхронізація роботи здійснюється тактовим сигналом clk і сигналом початку кадру RESET.

Значення вихідного гармонійного сигналу записано в постійну пам'ять ROM генератора. Кожне нове значення виставляється на вихід генератора по приходу імпульсу на вхід clk. Для синхронізації множини генераторів до періоду

використовується сигнал RESET, який формується на початку умовного кадру. Таким чином, множина генераторів, яка приєднана до системи із спільними сигналами синхронізації значення і кадру, буде працювати синхронно.

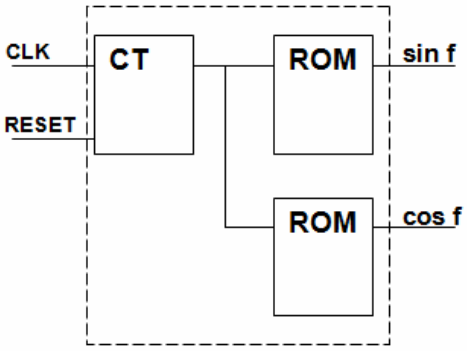


Рисунок 4.1 – Функціональна схема блоку формування цифрових сигналів

Для простоти згрупуємо функціональну схему генератора цифрових сигналів в окремий блок (рис. 4.2).

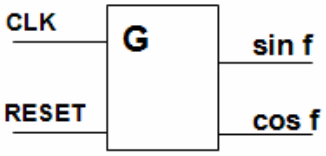


Рисунок 4.2 – Згрупована функціональна схема генератора цифрових сигналів

Вимірювання сигналу вимагає підсилення сигналу і перетворення його в дискретний вигляд. Функціональна схема блоку вимірювання ЕРС приймальної котушки наведено на рис.4.3.

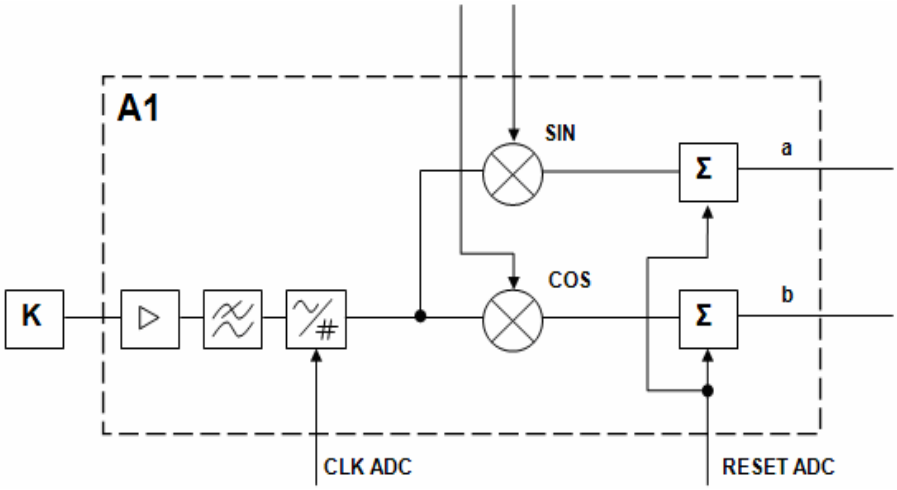


Рисунок 4.3 - Функціональна схема блоку вимірювання ЕРС приймальної котушки

Вхідний сигнал сформований приймальною котушкою К поступає на вхідний підсилювач, а згодом на протипідмінний аналоговий фільтр [68], який здійснює виділення тієї частини спектру сигналу, яка може бути опрацьована АЦП. Далі сигнал поступає на вхід АЦП, який тактується зовнішнім синхросигналом clk_ADC. Дискретизований сигнал згортається із двома квадратурними дискретними сигналами, які надходять ззовні від генератора (G) [69]. На двох входах суматорів здійснюється інтегрування дискретних значень впродовж кадру. Покадрова синхронізація здійснюється за допомогою сигналу RESET_ADC.

Згрупувавши функціональні елементи блоку вимірювання сигналу, отримаємо окремий блок вимірювання ЕРС приймальної котушки (рис.4.4).

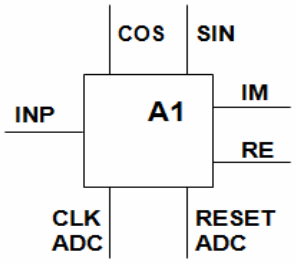


Рисунок 4.4 – Згрупований блок вимірювання ЕРС приймальної котушки (A1)

Використовуючи розроблені блоки вимірювання ЕРС приймальної котушки і генератора цифрових сигналів, розроблено функціональну схему блоку формування сигналу збудження і обробки виміряної ЕРС. Функціональна схема такого блоку наведена на рис.4.5.

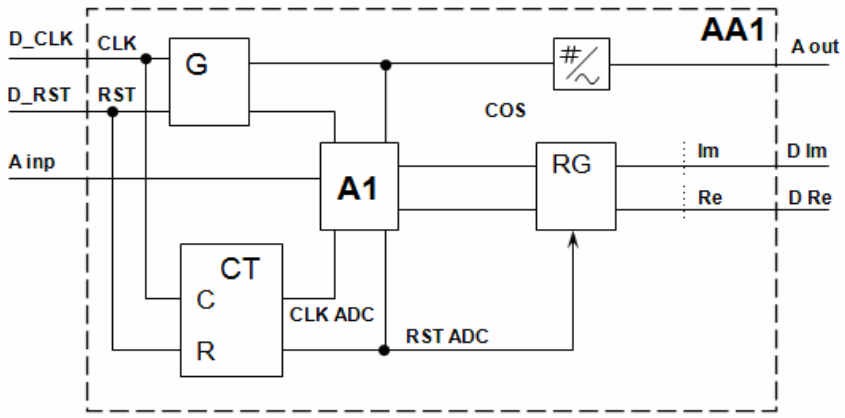


Рисунок 4.5 - Функціональна схема блоку формування сигналу збудження і обробки виміряної ЕРС

Використовуючи сигнали синхронізації Dclk і Drst синхронізується робота генератора цифрових квадратурних сигналів. Один із цих сигналів поступає на ЦАП і далі на вихід блоку вже йде сигнал заданої частоти в аналоговому виді [70].

Використовуючи сигнали синхронізації Dclk за допомогою подільника частоти СТ формується сигнал синхронізації роботи АЦП - сигнал clk_ADC. Також формується сигнал синхронізації кадру, який забезпечує фіксацію результату інтегрування квадратурних складових комплексної оцінки у вихідному регістрі RG, а саме сигналів Im, Re. Цей же сигнал обнуляє інтегратори для опрацювання наступного кадру.

Таким чином, розроблений блок формує аналоговий сигнал збудження певної частоти і вимірює квадратурні складові сигналу приймальної котушки на цій же частоті. Результат вимірювання фіксується у вихідному регістрі блоку і зберігається там до кінця поточного кадру.

Зручно згрупувати елементи блоку до загального виду (рис.3.6).

Рисунок 4.6 – Згрупований комплексний блок AA1

Таким чином, було розроблено функціональну схему блоку, який здійснює формування і опрацювання сигналів на певній частоті збудження. Використовуючи розроблений блок можна реалізувати вимірювання комплексних параметрів сигналу для одної із вимірювальної системи котушок розробленої підсистеми. Функціональна схема підключення розробленого блоку наведена на рис. 4.7.

Блок формування сигналу збудження і обробки виміряної ЕРС на частоті f_i формує аналоговий сигнал, який поступає на два суматори аналогових сигналів. З виходу суматорів генеровані сигнали поступають безпосередньо на дві котушки збудження $К_{1,1}$ і $К_{1,2}$.

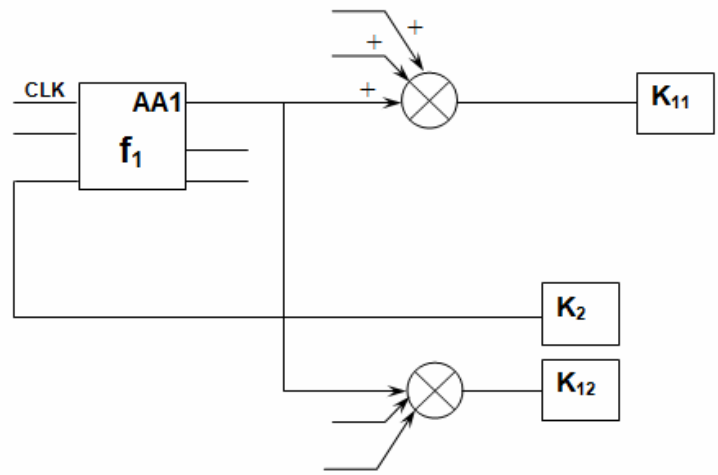


Рисунок 4.7 – Функціональна схема підключення вимірювальної системи котушок

Сигнал із приймальної котушки $К_2$ поступає на вхід блоку АА1 і, в результаті обробки прийнятого сигналу, на виході буде отримано комплексну оцінку прийнятого сигналу на частоті збудження f_i.

Розширюючи розроблену схему було побудовано функціональну схему вимірювання комплексних коефіцієнтів сигналів ЕРС для двох систем вимірювальних котушок на двох частотах збудження [71]. Функціональна схема такої системи наведена на рис. 4.8

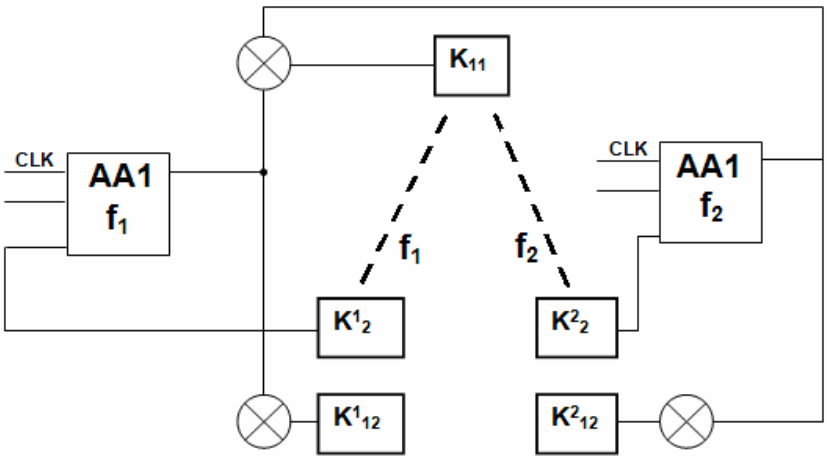


Рисунок 4.8 – Функціональна схема підключення двох систем вимірювальних котушок

Двохчастотний сигнал дозволяє усунути вплив сигналу сусідніх систем вимірювальних котушок [72]. Тому для кожної із систем вимірювальних

котушок використовується власна частота сигналу збудження, які в на рис. 4.8 позначені як f_1, f_2. Двохчастотне збудження вимагає використати котушку $К_{1.1}$ одночасно для формування як сигналу збудження f_1 так f_2. Сигнал, що поступає на цю котушку формується суматором, на вхід якого поступають два сигнали від блоку f_1 і від блоку f_2. Сигнали котушок опрацьовуються відповідними блоками окремо відносно частоти збудження конкретної траєкторії.

Розроблений принцип формування багаточастотного сигналу в системі із багатьма траєкторіями реалізовано для шести траєкторій. Функціональна схема системи із шістьма траєкторіями наведена на рис.4.9.

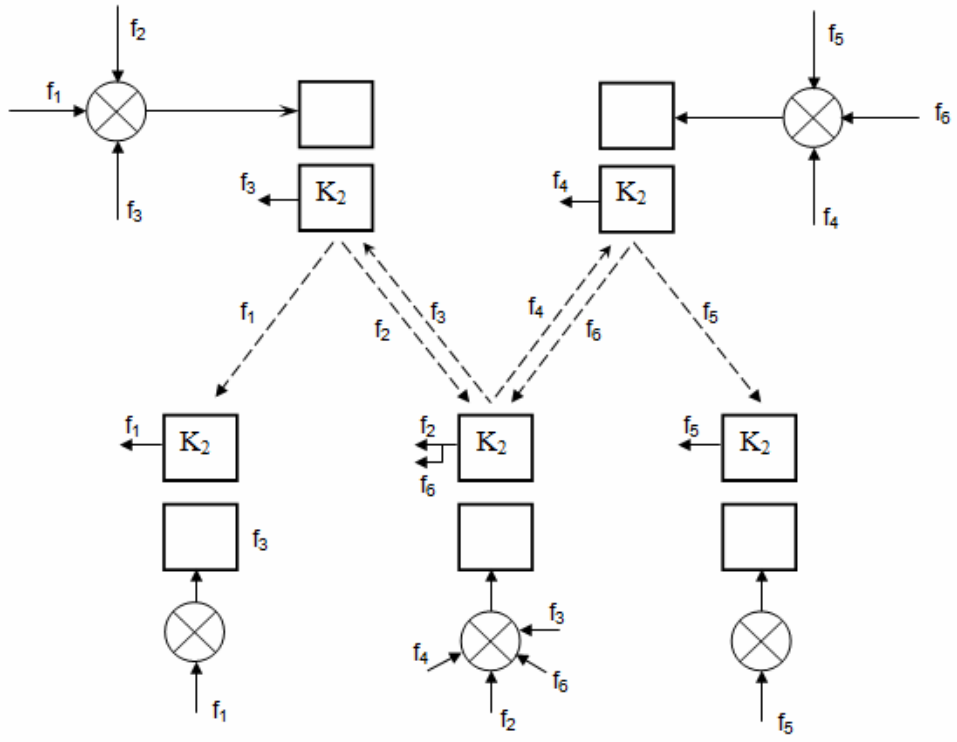


Рисунок 4.9 – Функціональна схема підключення системи для шести систем вимірювальних котушок

Як видно із схеми, в залежності від положення котушки в лінійці котушок збудження, вона може приймати участь у генерації одночасно до чотирьох незалежних синусоїдальних сигналів збудження.

Так само, одна приймальна котушка може формувати до двох вихідних сигналів у вихідному сумарному сигналі. Сумарний сигнал поступає на два вимірювальні блоки, кожен з яких здійснює виділення із сумарного сигналу

визначеної спектральної складової, що визначається частотою сигналу відповідної котушки збудження.

4.2. Розробка складових підсистеми ідентифікації металевих включень в сировині

4.2.1 Реалізація блоку генератора цифрових сигналів

Блок генератора цифрових сигналів містить таблицю значень вихідного сигналу збудження. Реалізовано цей блок за допомогою ARM контролера типу STM32F100 [73]. Цей контролер має в своєму складі достатній об’єм пам’яті і вбудований двохканальний АЦП. Це дало можливість, використовуючи блок прямого доступу до пам’яті, реалізувати простий алгоритм формування квадратурних сигналів гармонійної форми.

Зміщення сигналів до двохполярного виду здійснюється за допомогою суматора на основі операційного підсилювача [74].

Принципова схема блоку генератора цифрових сисналів наведена рис. 4.10.

Зовнішні сигнали синхронізації поступають на входи CLK і RESET. Сигнал з виходу внутрішнього ЦАП DAC1 поступає на суматор DA1, який зміщує рівень однополярного сигналу з виходу ЦАП до двохполярного сигналу, що подається на вхід SIN.

Дискретні квадратурні сигнали DSIN DCOS подаються в блок вимірювання. Сигнали подаються у послідовному форматі і тактуються сигналом DCLK.

Використовуючи синхросигнал CLK шляхом ділення його в 4 рази формується сигнал синхронізації роботи АЦП DADC.

Сигнал синхронізації кадру RESET транслюється в сигнал DRST для керування роботою блоку AA1.

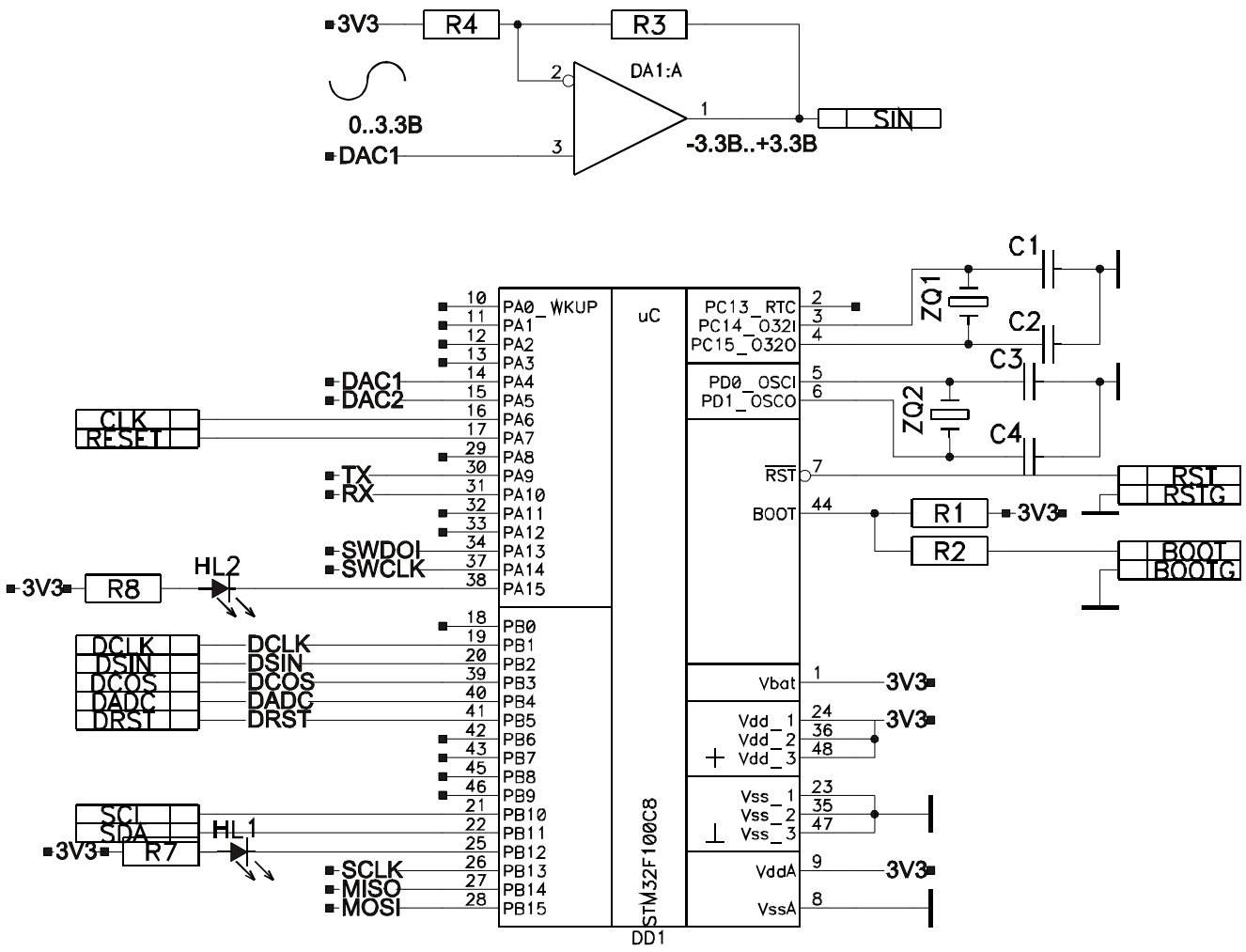


Рисунок 4.10 – Принципова схема блоку генератора цифрових сигналів

4.2.2. Реалізація блоку обробки сигналу ЕРС приймальної котушки

Частота сигналу збудження для котушок збудження обирається кратною 100Гц, починаючи із частоти 1кГц. При цьому частота синхроімпульсів 40кГц, а частота кадрових імпульсів 10Гц. Відповідно на один кадр припадає 4тис точок.

Генерований сигнал має містити цілу кількість періодів і кадр має тривати 0.1с. Цим вимогам відповідають всі сигнали кратні 10 Гц.

Максимальна частота сигналу приймальної котушки не повинна перевищувати половину частоти дискретизації АЦП, а це частота 5кГц згідно теореми Котельнікова. Окрему умову на максимальну частоту дискретизації накладає передатна характеристика вибраного АЦП ADS1256 [75]. Згідно

передавальної характеристики цього АЦП, наведеній в документації для частоти дискретизації 30кГц видно, що при зростанні частоти вхідного сигналу зменшується передавальна характеристика і на частоті дискретизації логарифмічний коефіцієнт передачі АЦП становить -∝ (рис. 4.11).

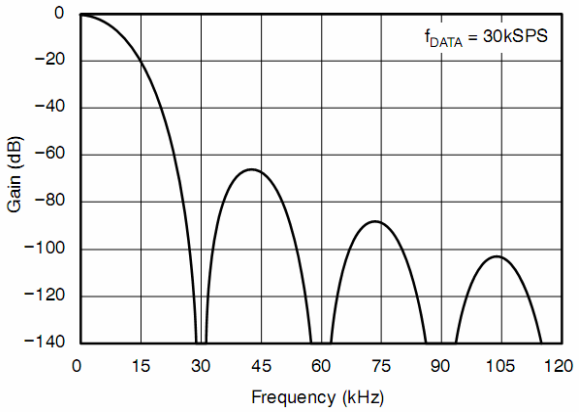


Рисунок 4.11 – Графік передавальної характеристики АЦП [75]

Нижче, в таблиці на рис. 4.12 наведено відповідність між частотою дискретизації і рекомендованою частотою налаштування протипідмінного фільтра.

DATA RATE (SPS)	FIRST NOTCH (Hz)	–3dB BANDWIDTH (Hz)
30,000	30,000	6106
15,000	15,000	4807
7500	7500	3003
3750	3750	1615
2000	2000	878
1000	1000	441
500	500	221
100	100	44.2
60(1)	60	26.5
50(2)	50	22.1
30(1)	30	13.3
25(2)	25	11.1
15(1)	15	6.63
10(3)	10	4.42
5(3)	5	2.21
2.5(3)	2.5	1.1

Рисунок 4.12 - Таблиця залежності частоти дискретизації і протипідмінного фільтра

Приблизне значення максимальної частоти, здатної буди опрацьованою АЦП ADS1256 при частоті дискретизації 10кГц становить 4кГц.

Блок вимірювання сигналу приймальної котушки містить попередній підсилювач сигналу котушки, протипідмінний фільтр, АЦП і мікроконтролер для виконання математичних операцій із дискретизованим сигналом [76].

Принципова схема блоку блоку обробки сигналу ЕРС приймальної котушки представлена на рис 4.13.

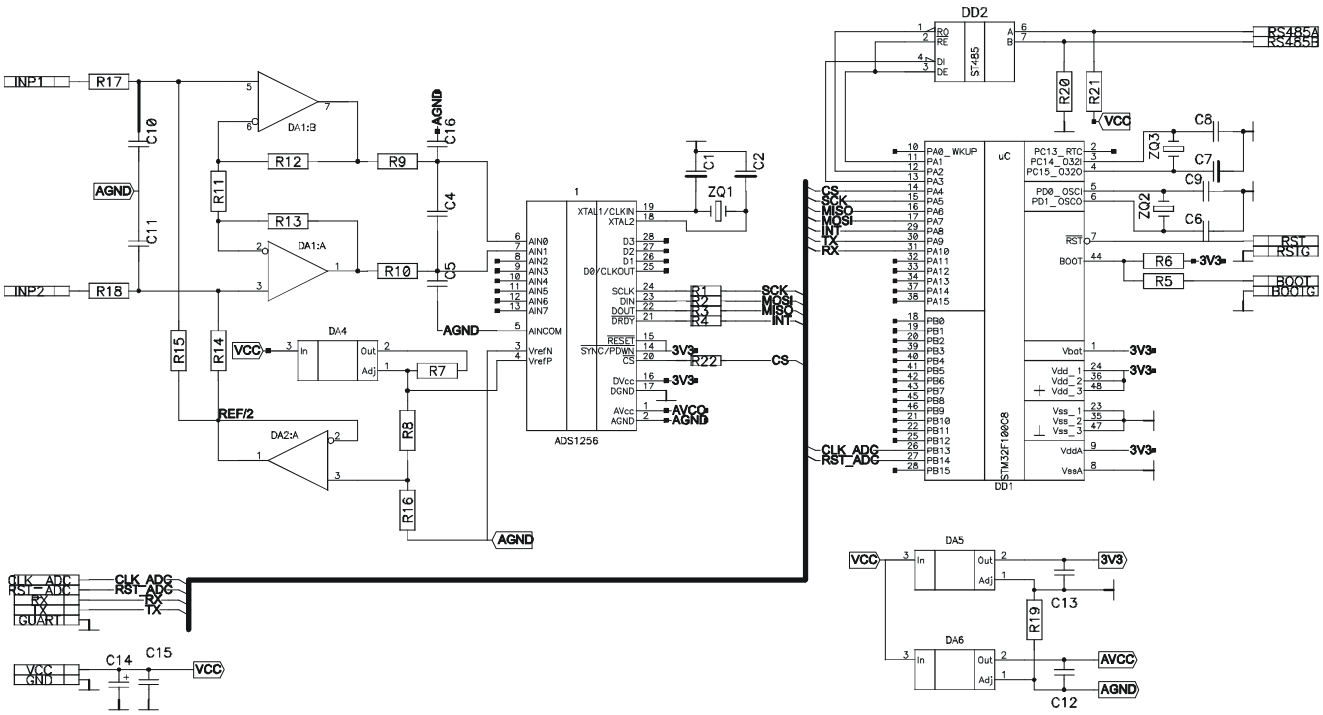


Рисунок 4.13 – Принципова схема блоку обробки сигналу ЕРС приймальної котушки

Вхідний попередній підсилювач здійснює буферизацію вхідних сигналів із приймальної котушки і підсилення в 200 разів. Сигнал в диференційному виді поступає на вхід диференційного підсилювача, побудованого на операційних підсилювачах DA1. Вихідний диференційний сигнал поступає на вхід протипідмінного RC фільтра R9, R10, C4, C5,C10.

Фільтрований диференційний сигнал далі поступає на диференційний вхід АЦП типу AD1256. Вхідний діапазон напруг цього АЦП визначається опорною напругою, яка подається на входи VrefN, VrefP. Ця напруга формується, як спад напруги на прецизійних резисторах R8,R16. Струм через ці резистори стабілізується джерелом струму на стабілізаторі DA4 типу TL431.

Резистори R8, R16 одного номіналу і тому на вході операційного підсилювача DA2 буде половина опорної напруги U_REF/2. На виході буферного DA2 буде посилена копія цього сигналу. Ця напруга подається на вхід диференційного підсилювача через резистори R14, R15. За допомогою цієї

частини схеми, напруга на виході диференційного підсилювача зміщається на напруга U_REF/2. В результаті, двохполярний сигнал із виходу приймальної котушки підсилюється в діапазоні однієї полярності від Vref до 0.

Сигнали цифрового обміну подаються із мікроконтролера до АЦП через ланки із послідовно включеними резисторами для зменшення впливу широкосмугових цифрових сигналів на роботу АЦП.

Синхронно із роботою блоку генератора цифрових сигналів в блок обробки виміряної ЕРС приходять синхросигнали clk_ADC які тактують запуск перетворення АЦП.

4.3. Алгоритм роботи блоку обробки сигналу ЕРС приймальної котушки

Робота системи вимірювальних котушок є синхронною. Синхронізується як дискретизація миттєвих значень так і початок кадру.

Визначення параметрів синхронізуючих імпульсів проводилося виходячи з результатів аналізу геометричних розмірів вимірювальної системи (рис.4.14). Прийнято, що відстань від котушок до площини в якій рухається металеве тіло становить h=0.2м. Приймемо, що зона чутливості системи починається на відстані h від осі котушок. При швидкості руху стрічки із досліджуваною сировиною 0.5м/с, відстань від початку зони чутливості до максимального значення, коли МВ буде на осі котушки, буде пройдена за t=h/v=0.4с. Тобто, від положення, коли МВ неможливо виявити до положення, коли він може бути ідентифікований із максимальною амплітудою, проходить 0.4с.

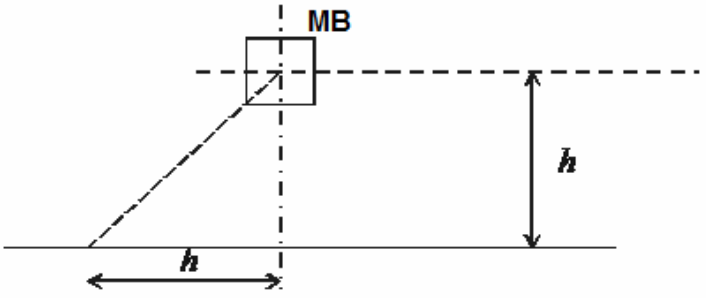


Рисунок 4.14 - Оцінка геометричних параметрів системи котушок

Для оцінки швидкості наростання сигналу необхідно декілька вимірювань. Тому приймемо, що система буде отримувати кожне нове виміряне значення за 0.1с.

При русі МВ в змінному електромагнітному полі, за рахунок виникнення вторинних полів, виникає частотна модуляція сигналу збудження, тому прийнятий сигнал буде мати не тільки ті частотні складові, які формує котушка збудження, а й частотні складові в околі частоти збудження [77, 78].

При використанні для пошуку амплітудних оцінок сигналу алгоритму дискретного перетвореня Фур'є кожне дискретне значення спектральної складової є інтегральною оцінкою всіх спектральних складових в околі вибраного дискретного значення [79]. Інтегруюча функція на частоті 100Гц зображена на рис.4.15.

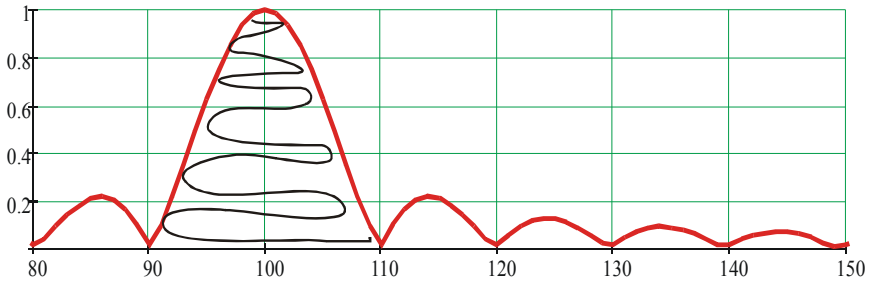


Рисунок 4.15 - Вид функції інтегрування дискретної спектральної складової

Із наведеного графіку видно, що дискретну складову амплітуди значенням 100 буде впливати множина складових окрім тих, що знаходяться на дискретних значеннях кратних 10. В тому числі буде інтегровано спектральні складові від значення 90 до 110. Тобто, вибрана дискретна складова 100 буде мати складові в околі від 90 до 110.

Робота системи синхронізується. Діаграма основних сигналів зображено рис. 4.16.

По основному синхросигналу clk формується допоміжний сигнал clk_ADC, який має частоту в 4 рази меншу. Частота синхроімпульсі 40кГц, таким чином частота clk_ADC становить 10 кГц.

Синхроімпульси кадрів RESET формуються кожні 0.1с синхронно із clk. За час між імпульсами RESET проходить 4000 імпульсів clk і 1000 імпульсів clk_ADC.

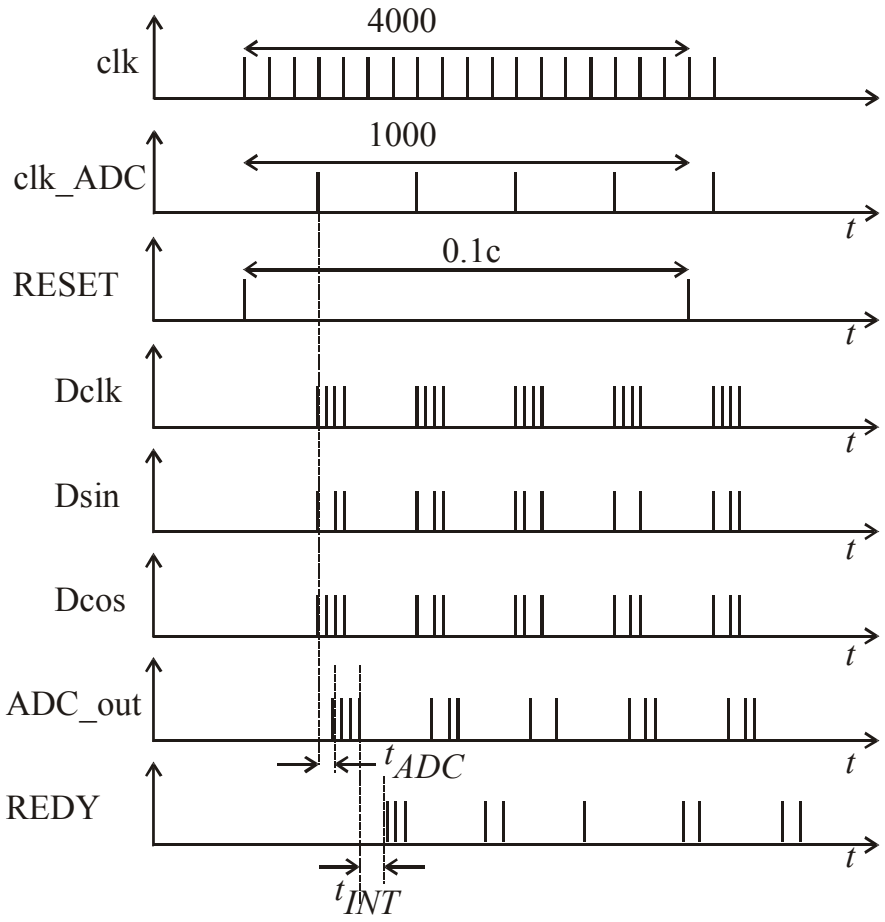


Рисунок 4.16 – Діаграма синхронізації роботи блоку обробки сигналів

Сигнал clk_ADC формує генератор. Разом із цим імпульсом генератор відсилає в послідовному форматі 16-ти бітне поточне значення таблиці для квадратурних складових по лініях Dsin, Dcos. Тактуються послідовні сигнали по лінії Dclk.

Приймальний блок, отримавши сигнал clk_ADC запускає перетворення АЦП, яке триває певний час t_{ADC}. Після закінчення перетворення результат його зчитується по лінії ADC_out (умовна назва).

На цей момент блок AA1 вже отримав поточні квадратурні складові опорного сигналу $DSIN$, $DCOS$ і, для поточного дискретизованого значення i вхідного сигналу з АЦП C_{ADC}, шукаються два добутки впродовж часу t_{int}:

$$DS_i = C_{ADC} \cdot DSIN \quad DC_i = C_{ADC} \cdot DCOS$$

Результат записується в масив із ковзним початком, замінюючи цим найбільш старе значення, записане в масив 1000 циклів перед цим.

В подальшому, синхронно із сигналом RESET, шукається сума елементів масиву DS, DC

$$\mathrm{Re} = \sum_{i=0}^{999} DS_i\,,\ \mathrm{Im} = \sum_{i=0}^{999} DC_i\,. \qquad (4.1)$$

Значення коефіцієнтів доступне для зчитування по лінії READY.

Таким чином, об’єднані блоки генератора A1 і приймача AA1 за час 0.1с визначають комплексну оцінку сигналу на частоті, яка задана блоком генератора G.

Зовнішня підсистема, яка формує сигнали синхронізації зчитує значення $\mathrm{Re}(f_j)$, $\mathrm{Im}(f_j)$ для кожної із частот f_j. При цьому f_j - це значення частоти сигналу збудження для вибраної системи вимірювальних.

Структурна схема блоку визначення координати МВ зображена на рис. 4.17.

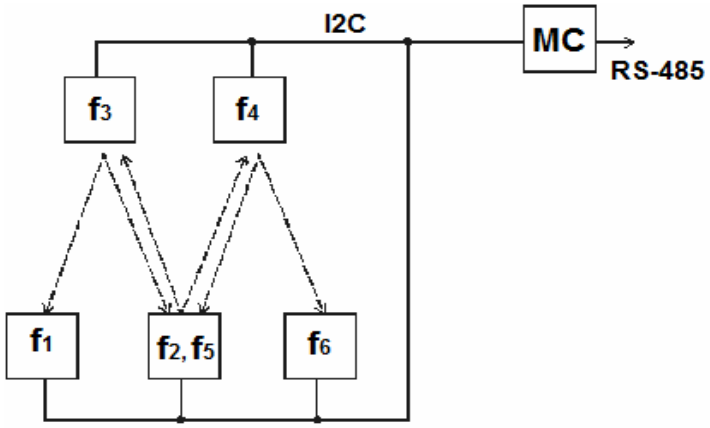


Рисунок 4.17 - Структурна схема блоку визначення координати МВ

Значення комплексних оцінок для кожної із частот збудження системи вимірювальних котушок отримуються блоками f_i і зчитуються головним контролером підсистеми МС.

З отриманого набору комплексних оцінок визначаються параметри векторів кожної із частот R_j, ϕ_j.

$$R_j = \sqrt{\mathrm{Re}(f_j)^2 + \mathrm{Im}(f_j)^2}\ ,\ \phi_i = \arctan\left(\frac{\mathrm{Im}(f_j)}{\mathrm{Re}(f_j)}\right). \qquad (4.2)$$

Ці значення довжини і кута вектора кожної із досліджуваної частоти збудження усереднюються, для знаходження початкового рівня сигналу. Усереднення проходить із використанням авторегресійного фільтра виду

$$y_i = \rho \cdot x_i + (1-\rho)\cdot y_{i-1},$$

де ρ - згладжуюча константа. Значення константи визначається формулою

$$\rho = e^{-\frac{1}{fd\cdot\tau}},$$

де fd - частота поновлення вхідних даних x_i, τ - час усереднення. В розробленій підсистемі частота поновлення вхідних даних становить 10Гц. Тривалість ковзного усереднення становить 10с.

Так само, згладжуються поточні значення $R0.4_{j,i}$, $\phi 0.4_{j,i}$ для усунення випадкових завад із часом усереднення $\tau = 0.4$ с.

За комплексними оцінками усереднених параметрів векторів шукається узагальнений оціночний коефіцієнт згідно формули

$$Ua_{j,i} = \left(R0.4_{j,i} - R10_{j,i}\right) + q\cdot\left|\phi 0.4_{j,i} - \phi 10_{j,i}\right|,$$

де q - узгоджуючий коефіцієнт впливу фази.

В даному випадку, амплітуди і фази сигналу додаються для отримання коефіцієнта, який враховує провідні і магнітні властивості металевого тіла.

При вимірюванні зміни по різних частотах збудження вибирається та, зміна в якій найбільша. Вибравши таку частоту збудження шукається максимальне значення такої зміни. Як тільки наростання значення $Ua_{j,i}$ припиняється чи зменшується, проводиться подальше опрацювання.

Маючи приведене по амплітуді значення $Ua_{j,i}$ для поточного виміру i та для вибраної частоти збудження j шукається коефіцієнт відношення по відповідних частотах збудженнях

$$G_{12,i} = \frac{Ua_{2,i}}{Ua_{1,i}} \tag{4.3}$$

За цим коефіцієнтом визначається положення МВ.

4.4. Розробка цифрового хвилевого фільтру для мікропроцесорної обробки вхідних сигналів

З метою обробки вхідних сигналів було вирішено застосувати цифрові фільтри [80]. Апаратна реалізація таких фільтрів – тривіальна, натомість програмна – має свої особливості, які на сьогодні залишаються не достатньо дослідженими. На відміну від аналогової апаратної обробки даних, цифрова обробка сигналів дозволяє забезпечити часову та температурну стабільність, а також повторюваність результатів. Існує декілька основних підходів в цифровій обробці даних [81]. В першу чергу, це використання алгоритмів швидкого перетворення Фур'є (ШПФ), які дозволяють багатократно прискорити процес обробки сигналів. При цьому бібліотеки ШПФ для досягнення максимальної швидкодії повинні бути апаратно-залежні, тобто оптимізовані під конкретний тип процесора. Такі бібліотеки відомі для процесорів Intel та AMD [82]. Використання теорії *z*-перетворення дозволяє будувати цифрові фільтри за відомими алгоритмами і забезпечувати значну швидкість цифрової обробки сигналів. Іншим можливим методом обробки сигналів є цифрова реалізація аналогових вузлів.

Вона може здійснюватись на основі складання систем диференційних рівнянь і їх розв'язку за допомогою відомих ітераційних числових методів, що забезпечують високу точність розв'язку, однак в деяких випадках вони не гарантують збіжність розрахункового процесу [83].

Одним із способів побудови цифрових фільтрів є реалізація моделі цифрових хвилевих фільтрів (ЦХФ), перевагами яких є можливість прямої реалізації пасивних електронних кіл [84]. Крім того, такі фільтри створюються шаблонним способом з типових елементів – тобто послідовних та паралельних

адаптерів, цифрових еквівалентів *RLC*, тощо [85]. Оскільки кількість ітерацій при розрахунку фільтрованого сигналу для одного елемента хвилевого фільтра не перевищує 2, то суттєвим недоліком такого фільтра є його доволі низька точність, яка може бути підвищена за рахунок підвищення його робочої частоти дискретизації. В той же час, підвищення робочої частоти дискретизації призводить до зростання обчислювального навантаження на процесор. При використанні методу ідентифікації МВ за допомогою рухомого скануючого сигналу, швидкість обробки даних і кількість магнітних котушок вимагає швидкої фільтрації вхідного сигналу. Тому визначення похибки фільтрації методом хвилевих фільтрів є важливим завданням для досліджень.

Для вирішення цього завдання було досліджене пасивне *LRC*-коло другого порядку, яке виконує роль фільтра Чебишева (рис. 4.18) [86].

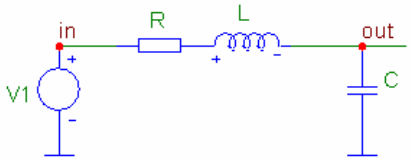


Рисунок 4.18 – Електрична схема фільтра низької частоти другого порядку

Таке коло можна розрахувати аналітично і одержати точний розв’язок вихідного сигналу. За вихідний сигнал може слугувати реакція кола на функцію Хевісайда – його перехідна характеристика. Точний розрахунок може бути здійснений за формулами:

передавальна функція фільтра низької частоти другого порядку:

$$A(p) = \frac{RCp}{1 + RCp + LCp^2}; \tag{4.4}$$

частота зрізу ω:

$$\omega = \frac{1}{LC}. \tag{4.5}$$

Тоді, в результаті підстановки формули (4.4) у формулу (4.5) і прирівнявши знаменник до нуля, обчислюємо дискримінант квадратного рівняння *D*:

$$D = \frac{R^2}{L^2} - \frac{4}{LC}; \tag{4.6}$$

табличні коефіцієнти типового розрахунку аналогового фільтра

$$a = \frac{\frac{-R}{L} - \sqrt{D}}{2}, \quad b = \frac{\frac{-R}{L} + \sqrt{D}}{2}, \tag{4.7}$$

де R, L, C - значення опору, індуктивності та ємності, відповідно.

Тоді перехідна характеристика може бути розрахована наступним чином:

$$h(t) = \frac{\left(\frac{1}{ab} + \frac{e^{at}}{a(a-b)} + \frac{e^{bt}}{b(b-a)}\right)}{LC} k, \tag{4.8}$$

де k - додатково введений коефіцієнт, призначений для нормування перехідної характеристики в обчислювальному полі типового програмного забезпечення; *t*-час.

В термінах ЦХФ наведена вище аналогова схема може бути представлена так (рис.4.19):

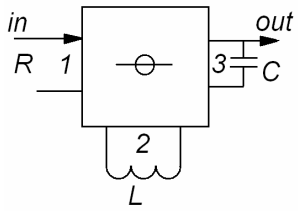


Рисунок 4.19 – Аналогова схема другого порядку в позначеннях ЦХФ

При побудові даного кола використаний послідовний адаптер без вільних відбивань [87]. Як резистор *R* використаний власний хвилевий опір адаптера.

З використанням бібліотеки можна сформувати клас фільтра Чебишева, який буде виглядати так:

```
class Chebyshev
{
public:
    Chebyshev(){};
    cSerAdapt S1;
    cCap C;
    cInd L;
    cRes R;
    void init(double r, double c, double l)
```

```
    {
        C.init(c);
        L.init(l);
        R.Rp=r;
        S1.initAdapt(R.Rp,L.Rp,C.Rp);
    }
    double process(double in)
    {
        S1.do_b123(in,-L.state,C.state);
        L.state = S1.b2;
        C.state = S1.b3;
    }
};
```

Виходячи із способу представлення даних в звукових редакторах, де типовий діапазон складає ±32767 в більшості форматів, введемо множник k=15000 для формули (4.8).

Перехідна характеристика для фільтра низької частоти з характеристикою Чебишева з частотою зрізу 100Гц для частоти дискретизації 44100Гц, одержана з використанням формул (4.6)÷(4.8) виглядає наступним чином (рис. 4.20).

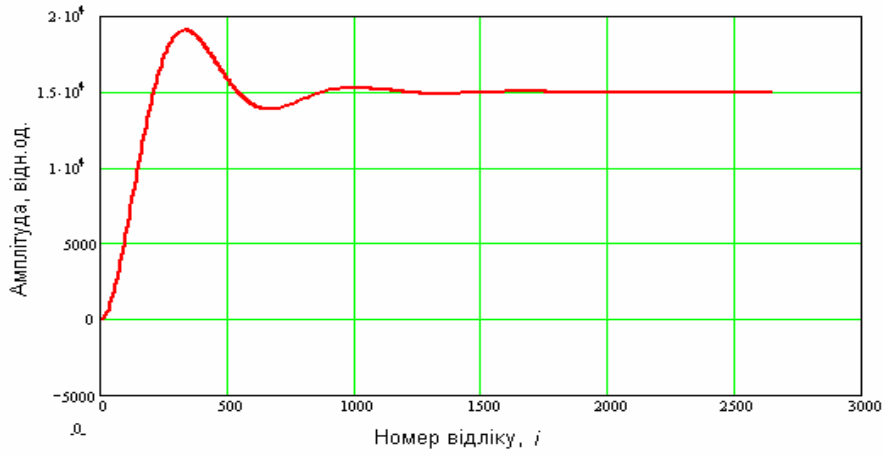


Рисунок 4.20 – Одержана перехідна характеристика фільтра

Оскільки залежність, одержана з використанням ЦХФ моделі візуально повністю співпадає з залежністю, представленою рис.4.20, виведемо різницевий графік для цих залежностей.

З рис. 4.21 видно, що максимальне відхилення складає -46 відн. од., що становить 0,3% від максимального амплітудного значення 15000.

Середнє квадратичне відхилення (СКВ) для сигналу, представленого на рис. 4.21 - S_d=11,553.

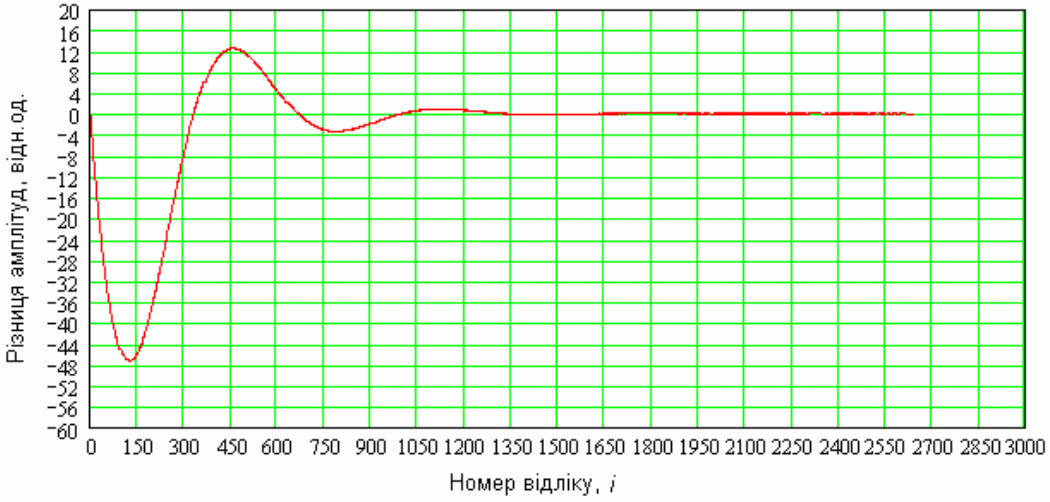


Рисунок 4.21 – Залежність різниці амплітуд між ЦХФ та моделлю фільтра

Для визначення характеру поведінки різницевого сигналу від частоти зрізу фільтра та від частоти дискретизації системи в загальному було проведено ще 14 дослідів, аналогічних до вищеописаного. Залежність СКВ для фільтрів, що налаштовані на частоти 10^2, 10^3, 10^4 Гц від частоти дискретизації наведена на рис. 4.22.

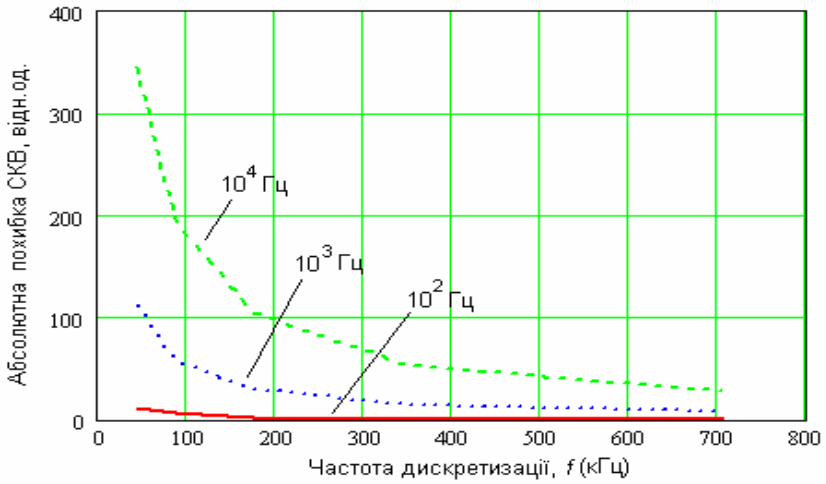


Рисунок 4.22 – Графіки залежності СКВ для фільтрів 10^2, 10^3, 10^4 Гц від частоти дискретизації (*f*)

За допомогою інтерполяції даних кубічним сплайном по двох координатах можна встановити загальну поведінку похибки фільтраційних схем, що реалізують апроксимацію Чебишева.

В тривимірному просторі результати такої апроксимації мають наступний вигляд (рис.4.23).

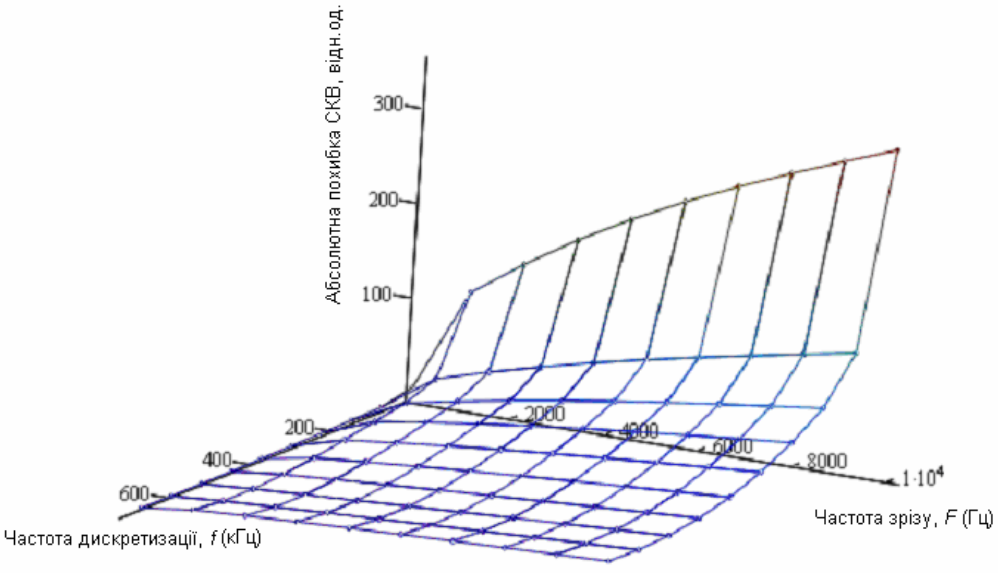


Рисунок 4.23 – Залежність СКВ для фільтрів Чебишева від частоти дискретизації (*f*) та частоти зрізу фільтра (*F*)

З викладеного вище можна зробити наступні висновки: похибка цифрового фільтра обернено пропорційна частоті дискретизації і збільшується із збільшенням частоти зрізу фільтра. Так як у системі ідентифікації МВ пропонується використання низькочастотного сигналу із високою частотою дискретизації, похибка фільтра становить 0,3% від максимального амплітудного значення, що виправдовує його застосування з метою обробки сигналів.

Висновки до розділу 4:

Розроблені функціональні блоки підсистеми ідентифікації МВ, що включають в себе блок генератора цифрових сигналів, блок вимірювання ЕРС приймальної котушки, блок формування сигналу збудження і обробки виміряної ЕРС, наведено їх призначення та опис роботи.

Розроблено складові підсистеми ідентифікації МВ - блок генератора цифрових сигналів та блок обробки сигналу ЕРС приймальної котушки, проведено підбір їх елементів, на основі яких розроблені принципові електричні схеми на наведено опис їх роботи.

Створено алгоритм блоку обробки сигналу ЕРС, що дозволяє здійснити послідовність і синхронізацію операцій вимірювання, обробки і формування сигналів та представлення їх результатів і, тим самим, реалізувати структурну схему блоку визначення координати МВ.

Розроблено цифровий хвильовий фільтр для мікропроцесорної обробки вхідних сигналів приймальної котушки, що дозволяє збільшити якість фільтрації вхідного сигналу та зменшити габарити пристрою на противагу аналоговій фільтрації сигналів.

5 РОЗРОБКА ПІДСИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ І ВИЛУЧЕННЯ МЕТАЛЕВИХ ВКЛЮЧЕНЬ В СКЛАДІ АСК ПІДГОТОВКИ СИРОВИНИ

5.1. Розробка апаратного і комунікаційного комплексу підсистеми ідентифікації та вилучення металевих включень

Розробка і реалізація підсистеми ідентифікації та вилучення МВ включала в себе розробку як апаратного так програмного забезпечення для реалізації необхідних функцій.

Основу блоку управління складає контролер фірми Siemens (Німеччина) серії S7-1200 модель CPU 1214 (Німеччина) [88]. Даний контролер містить 16 портів вводу і 16 портів виводу дискретних сигналів. Окрім цього в ньому передбачено 2 аналогові входи діапазону 0–10 В. Для розширення функціоналу підсистеми, передбачено розширення з допомогою модуля SM1221 (Німеччина) і модуля SM1222. Дані модулі забезпечують додаткову кількість портів вводу-виводу. З метою забезпечення обміну даних між підсистемами ідентифікації і вилучення МВ, передбачено використання протоколу передачі даних ModBus RTU (Modicon, Франція) а також протокол Profibus для управління частотним електоприводом. Для цього контролер укомплектований комунікаційним процесором CP1241 (Німеччина), що підтримує фізичний рівень протоколу ModBus RTU – RS-485 (рис. 5.1).

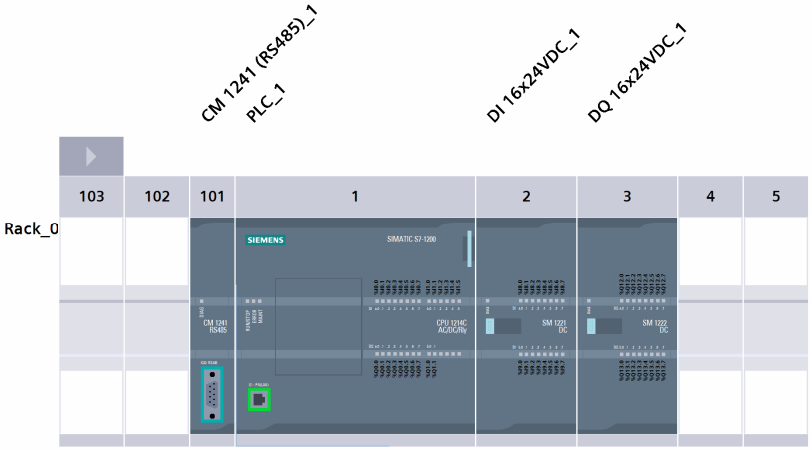


Рисунок 5.1 - Компоновка Rack-рейки основного контролера

З метою оперативного контролю і управління по місцю в підсистемі передбачено панель оператора (ПО), на якій відображається поточна інформація процесу ідентифікації і вилучення МВ, а також розміщені кнопки управління даним процесом.

З цією метою була обрана сенсорна панель марки KTP 700 фірми Siemens (Німеччина) розміром 7 дюймів у діагоналі (рис. 5.2).

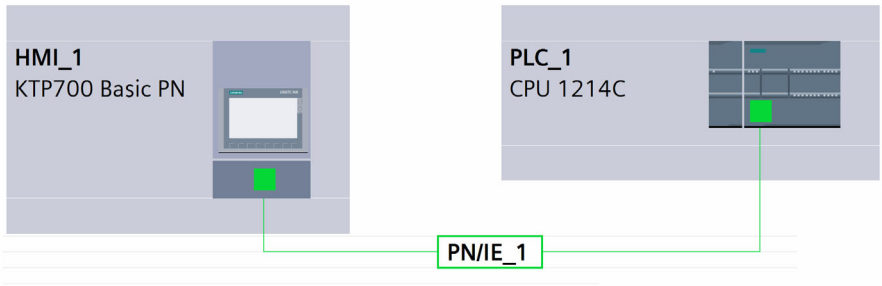


Рисунок 5.2 - Комунікаційне з’єднання між контролером і операторною панеллю

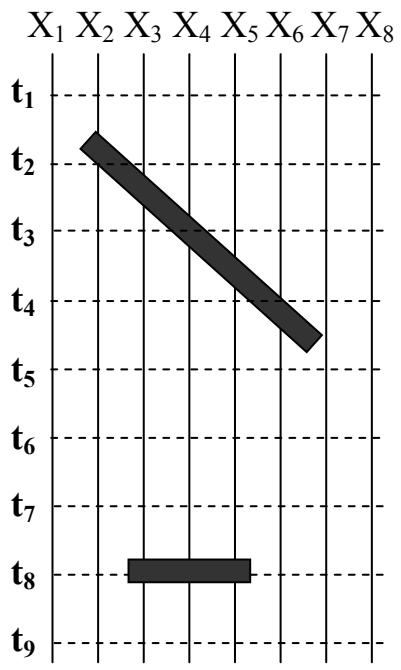
Для реалізації протоколу ModBus було розроблено карту регістрів [89], до яких звертається підсистема вилучення. В регістрах зберігаються дані про наявність і повздовжні геометричні розміри МВ, тип металу, часовий момент ідентифікації, табл. 5.1.

Таблиця 5.1 - Перелік доступних регістрів підсистеми ідентифікації МВ

Код операції	Адрес регістра	Формат даних	Найменування параметру	Діапазон допустимих значень	Значення по замовчува-нню
1	2	3	4	5	6
03	0	uint_16	ідентифікатор приладу	0–9999	0x4073
03	1	uint_16	номер приладу в мережі	0–254	0x01
03/06	2	uint_16	швидкість обміну даними	1–1200 бод 2–2400 бод 3–4800 бод 4–9600 бод 5–19200 бод 6–38400 бод 7–57600 бод 8–76800 бод 9–115200 бод	0x07
03/06	3	uint_16	кількість біт даних	0–7 біт 1–8 біт	1

1	2	3	4	5	6
03/06	4	uint_16	вид паритету	0–вимкнений 1 – парність 2 – непарність	0
03/06	5	uint_16	кількість стопових біт	0–1 стоп біт 1–2 стоп біт	0
03	10	uint_16	факт і тип виявленого металу	0 – відсутній 1 – чорний 2 – кольровий	0
03	11	uint_16	індекс наявності МВ в точці X_1	0–65535	0
03	12	uint_16	індекс наявності МВ в точці X_2	0–65535	0
03	13	uint_16	індекс наявності МВ в точці X_3	0–65535	0
03	14	uint_16	індекс наявності МВ в точці X_4	0–65535	0
03	15	uint_16	індекс наявності МВ в точці X_5	0–65535	0
03	16	uint_16	індекс наявності МВ в точці X_6	0–65535	0
03	17	uint_16	індекс наявності МВ в точці X_7	0–65535	0
03	18	uint_16	індекс наявності МВ в точці X_8	0–65535	0
03	19	uint_16	момент часу виявлення МВ – година	0–23	0
03	20	uint_16	момент часу виявлення МВ – хвилина	0–59	0
03	21	uint_16	момент часу виявлення МВ – секунда	0–59	0
03/06	22	uint_16	поріг встановлення наявності МВ	1–60000	100

Усі регістри пристрою ідентифікації використовують формат даних unsigned integer 16 bit. Використання однотипних даних дозволяє уніфікувати функції читання і запису даних у регістрах. Основними для підсистеми вилучення у регістрах підсистеми ідентифікації МВ є регістри які відповідають за тип металу, що ідентифікується на конвеєрній лінії, а також його інтенсивність прояву у сигналі приймальної котушки відносно повздовжніх координат цієї ж лінії. Приклад кодування наявного металу у регістрах пристрою показано на рис. 5.3.



X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	T
0	80	0	0	0	0	0	0	0
20	290	110	30	5	0	0	0	1
0	10	80	1200	80	0	0	0	1
0	0	0	10	1200	290	10	0	1
0	0	0	0	0	10	8	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	5	5	5	0	0	0	0
0	5	1150	1230	1150	5	0	0	1
0	0	5	5	5	0	0	0	0

Зони для індексованих регістрів	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	Адрес регістрів даних								

Рисунок 5.3 - Приклад вмісту регістрів

В залежності від розміщення МВ, конвеєрна стрічка поперек ділиться умовно на 8 зон, які співвідносяться із регістрами даних підсистеми ідентифікації. При попаданні МВ в поперечну зону котушок підсистеми ідентифікації, підсистема сканує даний переріз формуючи при цьому вісім значень, що відповідають індексам і заносить виміряні значення у відповідні регістри (адрес 11–18).

Величина індексу залежить від розміру МВ, що спричиняє зміну інтенсивності виміряного сигналу підсистемою ідентифікації. Регістр, що

відповідає за факт і тип виявленого МВ (адрес 10) заповнюється відповідним значенням в залежності від типу виявленого МВ.

Так, якщо виявлено МВ вноситься число «1», при виявленні кольорового МВ вноситься число «2». Факт ідентифікації встановлюється, якщо хоча б в одній із зон було виявлено МВ із індексом більше порогу ідентифікації. Даний поріг ідентифікації зберігається в регістрі даних підсистеми ідентифікації (адрес 22). Значення регістру можна змінювати із панелі оператора для налаштування порогу чутливості підсистеми вилучення МВ. Окрім регістрів МВ передбачені регістри фіксації часу t_i для кожного моменту сканування (адрес 19–21) і оновлюються в кожен момент оновлення регістрів наявності МВ. Дана інформація значно полегшує підсистемі вилучення здійснити розрахунок моменту ввімкнення електромагнітів для вилучення виявленого МВ.

Для налаштування передачі даних між підсистемою ідентифікації та вилучення було застосовано програмний пакет Tia-Portal.v14. Блок конфігурації «Modbus_Comm_Load» (рис. 5.4) викликається із сторони ведучого для зв'язку MODBUS.

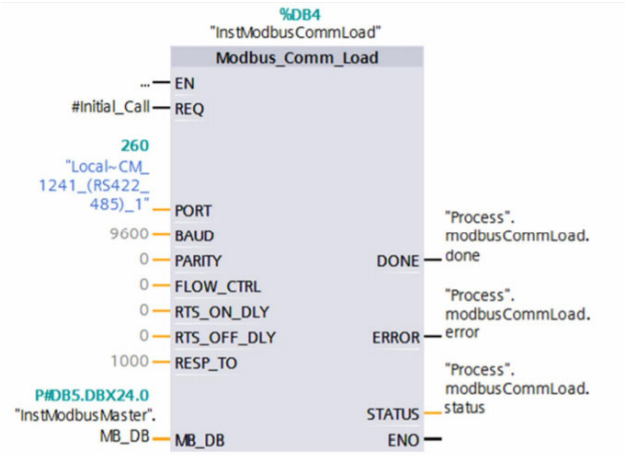


Рисунок 5.4 – Блок «Modbus_Comm_Load»

Блок «Modbus_Comm_Load» використовується для вибору модуля зв'язку, встановлення параметрів зв'язку та параметризації з'єднання з основними або введеними параметрами. Блок «Modbus_Comm_Load» повинен бути викликаний у першому програмному циклі (активуючи «Initial Call» циклічного OB, або як

виклик у Startup OB 100). Параметри зв'язку BAUD (швидкість передачі) і PARITY (парність) однакові для всіх вузлів мережі.

Блок «Modbus_Master» використовується, щоб призначити комунікаційний модуль в якості Master MODBUS (рис. 5.5).

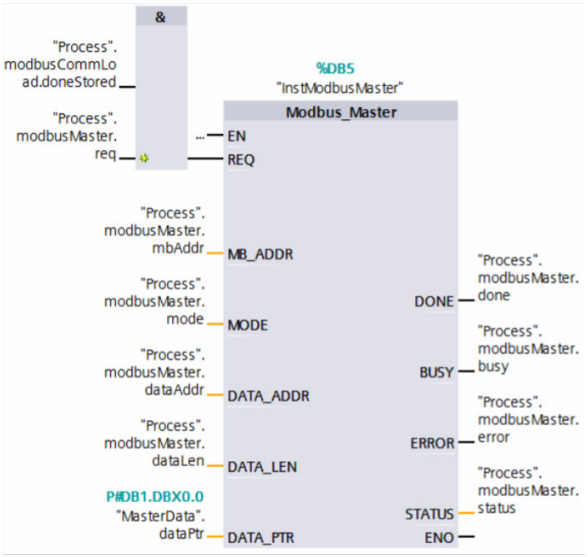


Рисунок 5.5 – Блок «Modbus_Master»

Інтеграція підсистеми ідентифікації та вилучення у АСК виконана з використанням комунікації Ethernet, що значно спростило комунікаційні затрати, рис. 5.6.

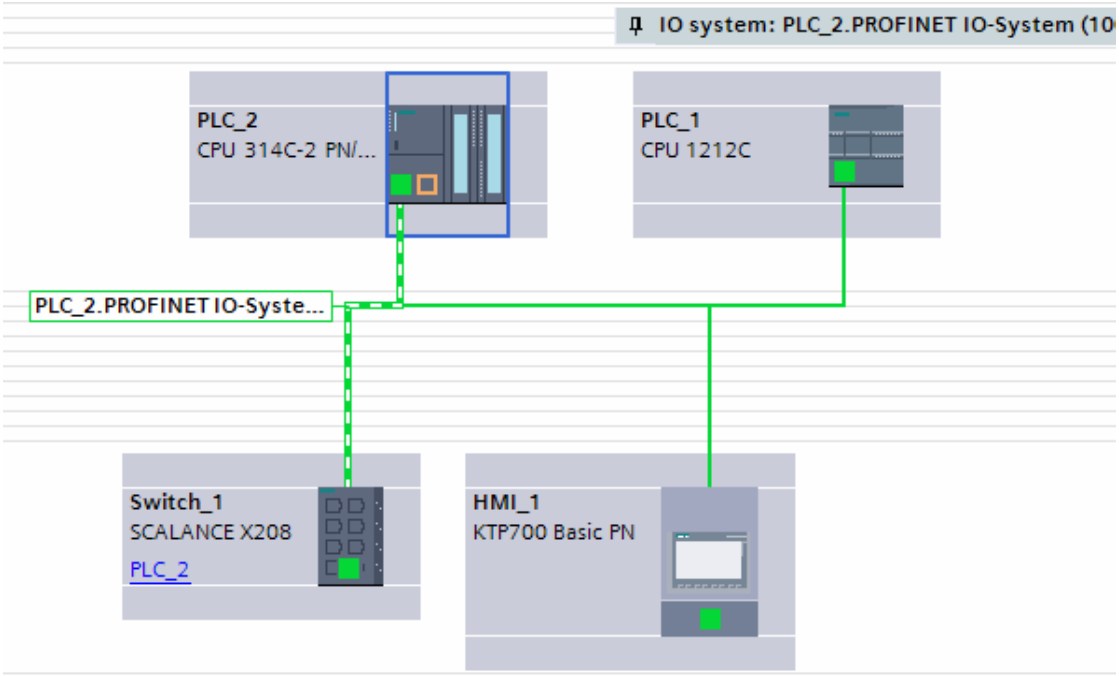


Рисунок 5.6 – Комунікаційна інтеграція підсистем вилучення і виявлення МВ у АСК

5.2. Розробка програмного і алгоритмічного забезпечення підсистеми ідентифікації та вилучення металевих включень

З метою забезпечення оперативного контролю і управління було розроблено SCADA-систему в середовищі TIA-Portal v15 [90] для операторної панелі KTP700 [91]. Вона містить два основні вікна, які відповідають за підсистему ідентифікації МВ і підсистему вилучення МВ. Окрім цього передбачено вікно для налаштування підсистем і операцій [92]. На рис. 5.7 зображено робоче вікно підсистеми ідентифікації МВ. Тут зображено конвеєрну стрічку, а також індуктивні котушки ідентифікації. Окрім цього, передбачено встановлення порогу чутливості для налаштування параметрів підсистеми. На робочому вікні є можливість переходу до вікна архіву ідентифікації, а також до робочого вікна підсистеми вилучення МВ.

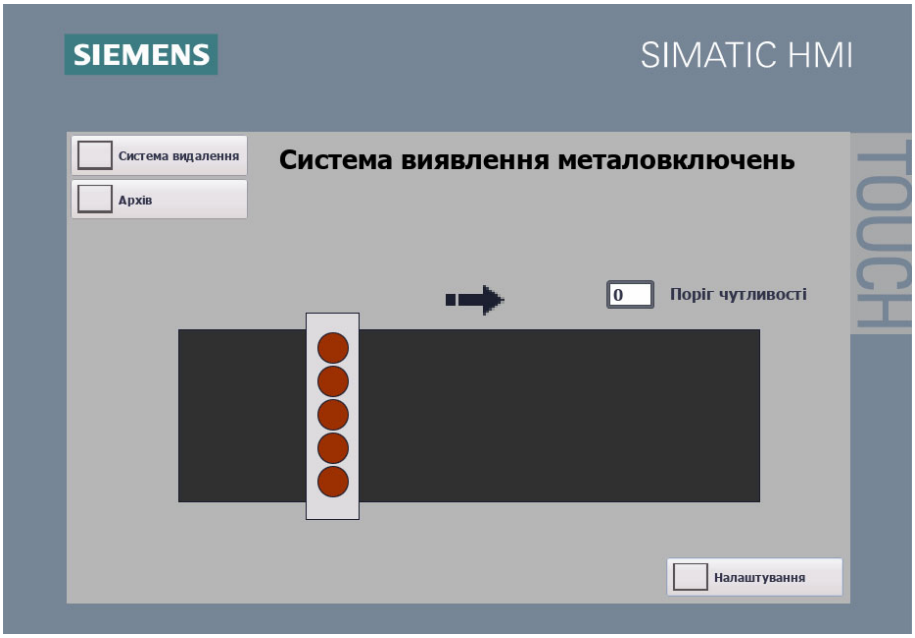


Рисунок 5.7 - Робоче вікно підсистеми ідентифікації МВ

У випадку ідентифікації МВ, на робочому вікні підсистеми проводиться відповідна візуалізація процесу. Діаметр червоного кола, що символізує МВ, вказує на умовний розмір МВ, а його положення відносно перерізу конвеєрної стрічки відповідає реальному положенню на конвеєрній стрічці, рис. 5.8.

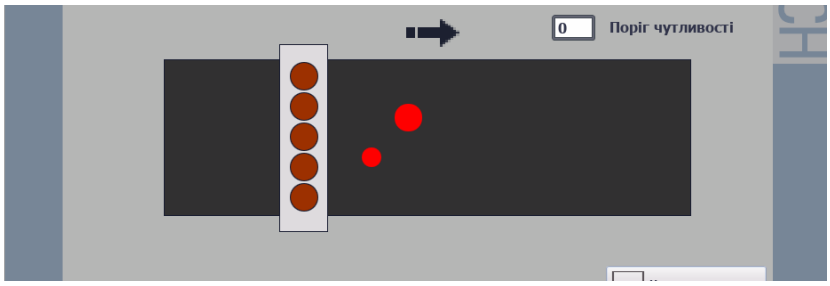


Рисунок 5.8 - Робоче вікно у випадку ідентифікації МВ

На рис. 5.9 зображено робоче вікно підсистеми вилучення МВ. Тут аналогічно зображено конвеєрну стрічку і сам механізм вилучення із електромагнітами і контейнерами для прийому МВ двома способами – вилучення через реверс конвеєрної стрічки, а також за допомогою електромагнітів. У випадку вилучення за допомогою електромагнітів, електромагніти, котрі беруть участь у вилученні, відображаються червоним кольором, що дає змогу відслідковувати процес в анімації. У випадку вилучення через реверс стрічки, проводиться відповідна анімація приводу конвеєрної стрічки.

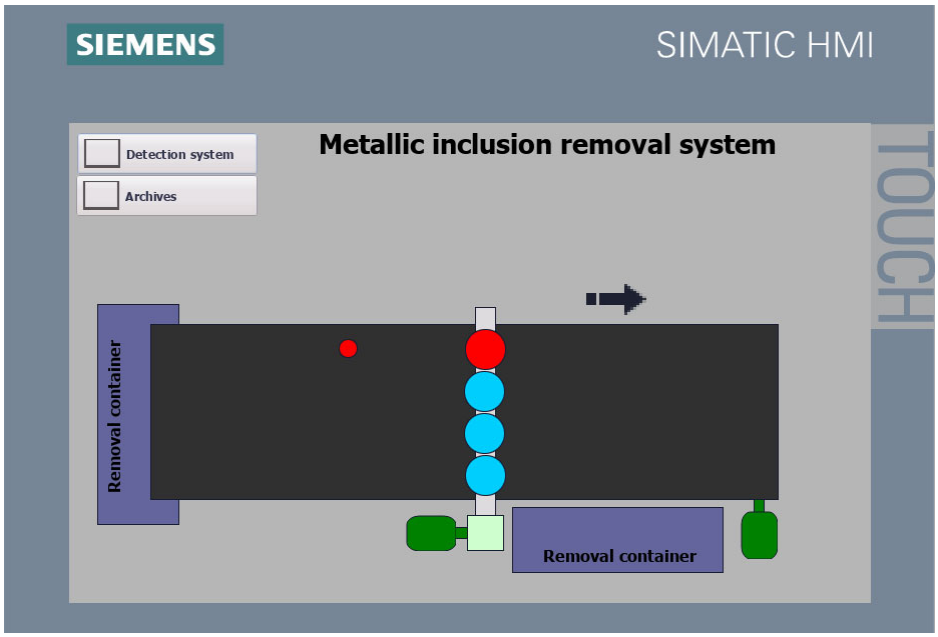


Рисунок 5.9 - Робоче вікно системи вилучення МВ

Усі виявлені і вилучені МВ реєструються у архіві SCADA-системи.

З метою забезпечення функціонування підсистеми вилучення МВ і її основних вузлів було розроблено алгоритмічну блок-схему роботи підсистеми в цілому (рис. 5.10). Першим етапом відбувається зчитування даних із ModBus-

регістрів системи ідентифікації, в яких зберігається уся поточна інформація про виявлені МВ і їх параметрів. У випадку, якщо є підтвердження ідентифікації металу, програма переходить до перевірки встановленого порогу чутливості. Даний поріг, як описувалось вище встановлюється для реагування підсистеми вилучення на МВ, що становлять загрозу для технологічного обладнання.

У випадку відсутності МВ чи його незначної ваги, алгоритм повертається до свого початку.

Наступний кроком алгоритм визначає якого типу метал присутній у сировині – «чорний чи кольоровий». У випадку «кольорового» металу, система не має змоги вилучити МВ за допомогою електромагнітів, тому реалізовано інший спосіб вилучення. Він, згідно алгоритму, полягає в зупинці конвеєрної стрічки № 1 і наступним реверсом стрічки № 2. В результаті сировина, що містить «кольорове» МВ потрапляє у контейнер відбраковування. Після затримки часу відбувається відновлення роботи конвеєрної лінії – вмикається в нормальний напрям стрічка № 2, а за нею і стрічка № 1. Алгоритм повертається знову до свого початку.

У випадку ідентифікації «чорного» металу, алгоритм працює по управлінню електромагнітами. В результаті вмикаються на повну потужність електромагніти для вилучення МВ із сировини. При цьому вмикаються ті електромагніти, які розміщені на шляху руху МВ і відповідають його габаритам, тим самим економиться електроенергія. Після затримки часу, потужність електромагнітів переводиться на режим «утримання». У випадку налаштування підсистеми на повторне сканування наявності МВ, алгоритм повертається до моменту реверсу конвеєрної стрічки для повторного сканування.

Рисунок 5.10 - Блок схема алгоритму вилучення МВ

При відсутності необхідності повторного сканування, алгоритм перевіряє, за інформацією із регістрів, який розмір поточного МВ. У випадку незначної ваги МВ, алгоритм повертається до свого початку. Тобто, вилучене МВ утримується на електромагніті як накопичене. Якщо ж поточне МВ містить значну масу, або міститься на електромагніті уже кілька дрібних МВ підсистема, згідно алгоритму, здійснює розвантаження блоку електромагнітів. Здійснюється включення приводу повороту блоку електромагнітів, до моменту спрацювання давача зони скидання. Наступним кроком вимикається живлення електромагнітів, для скидування МВ у контейнер №2. Згодом, згідно алгоритму, блок електромагнітів повертається у початкове положення «вилучення» до моменту спрацювання давачів відповідного положення. Знову алгоритм повертається на свій початок, що робить його циклічним.

5.3. Розробка електромагнітного блоку вилучення металевих включень

У вилученні МВ із сировини беруть участь 4 електромагніти. Враховуючи, що ширина конвеєрної стрічки становить 715мм, її заповнення сировиною становить не більше 80%. В результаті активна ширина стрічки складає близько 572мм. Тому принявши за основу ширину смуги сировини у 600мм, а також можливість потрапляння МВ вагою 1кг, з метою забезпечення необхідної підіймальної сили, конструктивний діаметр електромагнітів було обрано *Дем*= 150мм. Таким чином, чотири електромагніти, із врахуванням монтажних зазорів між ними, закривають оперативний простір над сировиною, що рухається конвеєрною стрічкою.

Виконуючи умову співвідношення між діаметром електромагніта і діаметром сердечника [93]:

$$d = \frac{D}{2.5}, \tag{5.1}$$

отримуємо діаметр сердечника:

$$d = \frac{D}{2.5} = \frac{150}{2.5} = 60мм$$

Враховуючи монтажний зазор (s) для ізоляції сердечника від котушки, який приймаємо s=2мм, обчислимо глибину виїмки котушки, $a_к$.

$$a_k = \left(\frac{D - d - 2 \cdot s}{2} \right) = 43мм$$

Будова і конструктивні розміри електромагніта зображено на рис.5.11.

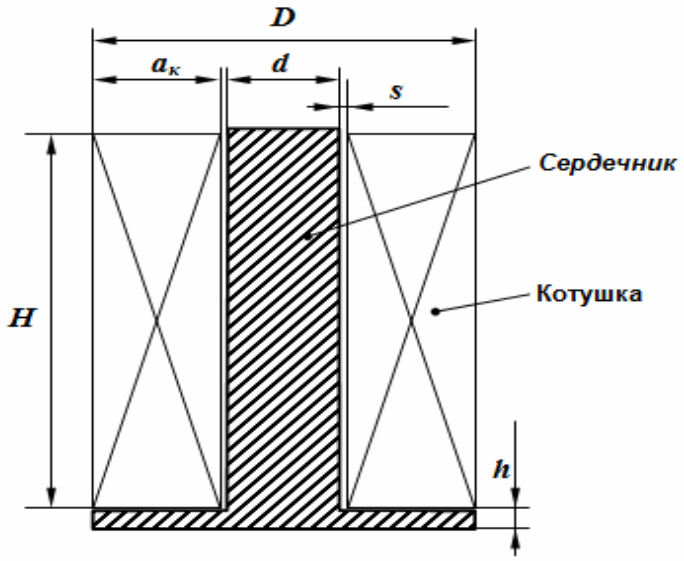


Рисунок 5.11 - Будова і конструктивні розміри електромагніта

Для роботи котушки електромагніта було обрано обмоточний провід марки ПЭТВ-2.5. Даний провід характеризується високою термостійкістю (до 130^0С) за рахунок обробки високоміцним натрієво стійким лаком ПЭ-939 на основі поліефірів. Провід характеризується наступними технічними даними, таблиця 5.2.

Таблиця 5.2 – Технічні характеристики провідника марки ПЭТВ-2.5

Параметр	Позначення	Одиниці вимірювання	Значення
Діаметр жили	-	мм	2.5
Площа поперечного перерізу	S	мм^2	4.91
Діаметр повний	$d_{пр}$	мм	2.62
Опір на 1м	-	Ом	0.0035
Допустимий струм	I	А	19.6
Питомий опір	ρ	Ом·м	$1.7 \cdot 10^{-8}$

Для живлення електромагнітів обрано постійну напругу величиною 36В. Це зумовлено необхідністю формування достатньої потужності електромагніта, розповсюдженістю даної величини напруги і можливістю роботи, за потреби, у вибухонебезпечних зонах, а також низькою генерацією перешкод [94].

Обчислимо повний опір котушки електромагніту.

$$R_{\Sigma} = \frac{U}{I} = 1.8 Ом$$

Враховуючи питомий опір міді і площу поперечного перерізу, обчислимо довжину провідника:

$$l = \frac{R_{\Sigma} \cdot S}{\rho} = 519 м .$$

Обчислимо кількість шарів у котушці, виходячи із діаметру провідника і глибину виїмки:

$$n_{ш} = \frac{a_{к}}{d_{пр}} = 16.4 .$$

Приймаємо ціле значення, 16 шарів. Обчислимо мінімальний радіус намотки:

$$r_{\min} = \frac{d}{2} + s + d_{пр} = 34.6 мм .$$

Аналогічно обчислимо максимальний радіус намотки:

$$r_{\max} = d_{пр}(m_{ш} - 1) = 73.9 мм .$$

В результаті середній радіус намотки становить:

$$r_{сер} = \frac{r_{\min} + r_{\max}}{2} = 54.25 мм .$$

Середня довжина одного витка становить:

$$l_{сер} = 2 \cdot \pi \cdot r_{сер} = 0.34 м .$$

Обчислимо повну кількість витків:

$$\omega = \frac{l}{l_{сер}} = 1526 \ витків .$$

Виходячи із діаметру провідника і кількості шарів обчислимо висоту котушки електромагніту:

$$H = d_{пр} \cdot \frac{\omega}{n_ш} = 243мм$$

Визначимо споживану потужність котушки електромагніту при напрузі живлення 36В:

$$P = U \cdot I = 705.6Вт$$

Напруженість магнітного поля в середині котушки електромагніту становить:

$$H_0 = \omega \cdot I = 29909 \ \ Ампер \cdot витків$$

Для утримання МВ на електромагніті схемою передбачено зменшення потужності до 30%, що становить близько 210Вт. Це дає достатню можливість утримання вилучених МВ на сердечнику електромагніту і, в результаті, значну економію електроенергії і ресурсу електромагнітів.

З метою забезпечення захисту котушки електромагніту від механічного впливу і ударів вилучених МВ, сердечник електромагніта має юбку товщиною 10мм, яка становить з сердечником одне ціле.

Для дослідження основних характеристик розробленого електромагніту було застосовано програмне забезпечення Finite Element Method Magnetics (FEMM 4.2), яке розроблене американським вченим Devidom Meeker. З цією метою у робочому вікні програми було відтворено конструкцію електромагніту із розмірами, що були розраховані вище, рис. 5.12.

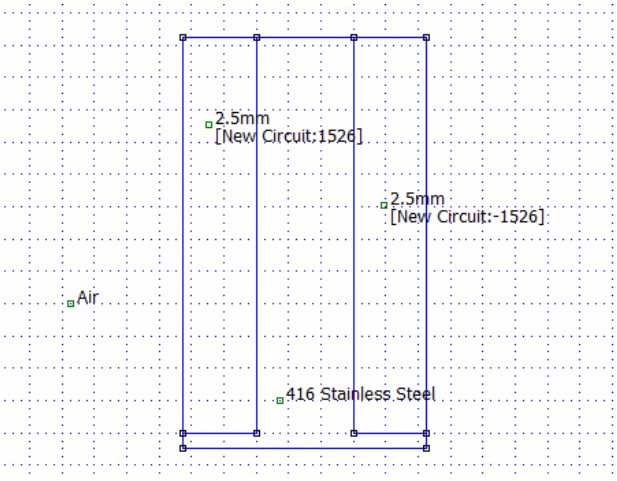


Рисунок 5.12 - Конструкція електромагніта у програмному середовищі FEMM 4.2

При налаштуванні параметрів електромагніту, було обрано матеріал сердечника – сталь 416 і встановлено інші основні матеріали (матеріал обмотки, повітря). На рис.5.13,як результат, зображено розподіл магнітної індукції.

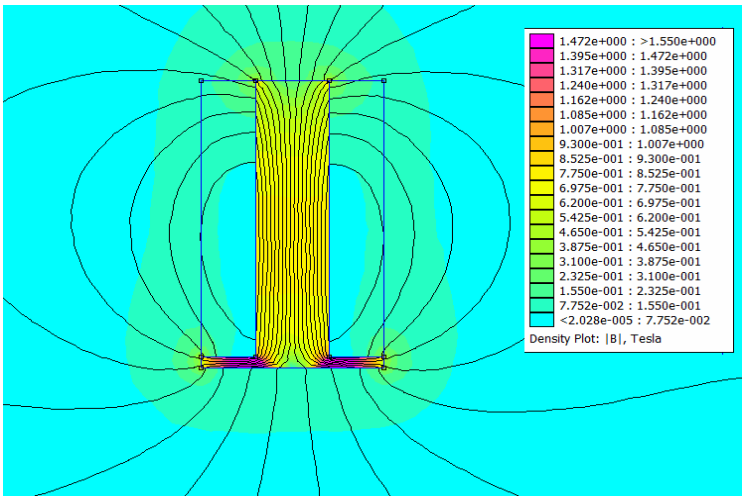


Рисунок 5.13 - Розподіл магнітної індукції

Так як даний графік не дає достатньої інформації про основні параметри роботи електромагнітів, було здійснено моделювання із застосуванням зразка МВ (сталь 416) у формі диска діаметром 250 мм і товщиною 50мм. Це дасть змогу оцінити підйомну силу електромагніту і робочі параметри котушки. З цією метою цей зразок було віддалено на відстань 200мм, що відповідає максимальній відстані МВ на конвеєрній лінії, для оцінки підіймальної сили одним електромагнітом (рис.5.14).

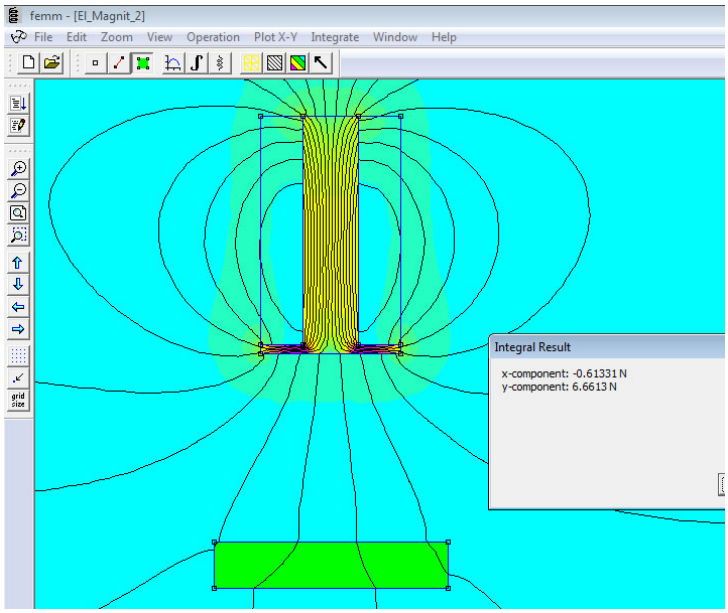


Рисунок 5.14 - Оцінка підіймальної сили електромагніту на відстані 200мм

Як результат, підіймальна сила електромагніту на відстані 200мм становить 6.66 Ньютон. Із врахуванням максимальної ваги МВ у 1кг, а також можливістю включення чотирьох таких котушок, їх підіймальної сили цілком достатньо для вилучення МВ із сировини. Аналогічно було проведено моделювання ситуації, коли зразок МВ знаходяться на площині сердечника електромагніту, тобто при мінімальній відстані між ними. У даному випадку для коректної роботи програми, ця відстань становить 1мм, рис.5.15.

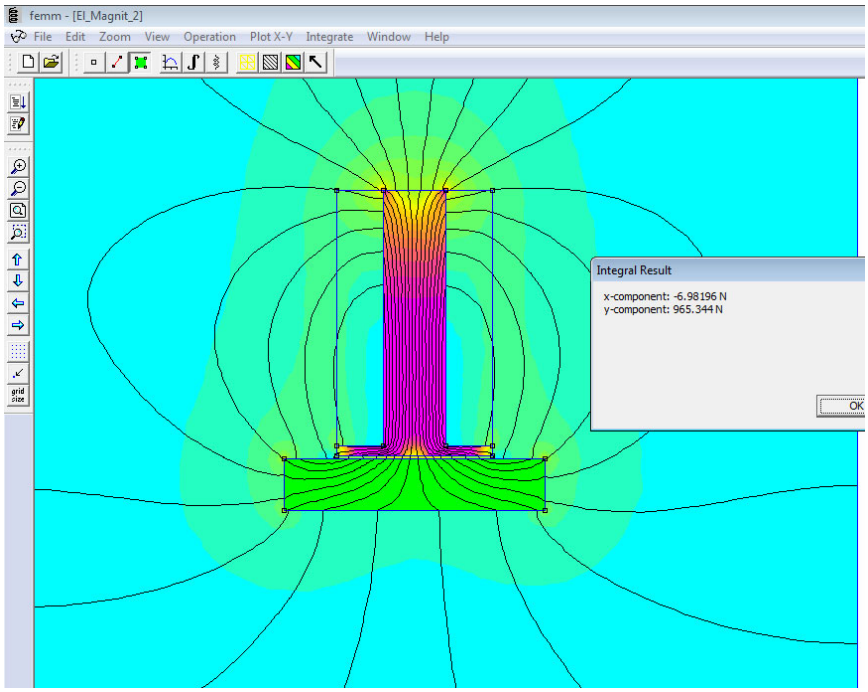


Рисунок 5.15 - Оцінка підіймальної сили електромагніту на відстані 1мм

У таблиці 5.3 проведено оцінку підіймальної сили відносно відстані до МВ.

Таблиця 5.3 – Підіймальна сила електромагніту

Відстань	Мм	200	180	160	140	120	100	80	60	40	20	1
Підіймальна сила	Н	6.7	8.9	12.0	16.7	23.6	34.9	53.2	86.4	152.7	321.9	965.3

В результаті проведеного моделювання можна стверджувати, що розрахований електромагніт і його робочі параметри цілком відповідають поставленим задачам як по підйому МВ так і по їх утриманні на сердечнику.

5.4. Розробка вузла частотного електроприводу конвеєрної стрічки АСК технологічної лінії підготовки сировини

З метою забезпечення якісного і функціонального управління електроприводом конвеєрної стрічки №2 було застосовано частотний елктропривід, що інтегрується у АСК [112, 113]. Така інтеграція у порівнянні із дискретним управлінням дозволяє:

- плавний пуск конвеєрної стрічки;
- плавну зупинку конвеєрної стрічки;
- безконтактний реверс конвеєрної стрічки;
- сповільнений рух конвеєрної стрічки;
- моніторинг основних енергопараметрів електроприводу конвеєрної стрічки.

З метою реалізації поставленої задачі було обрано частотний елктропривід Sinamics G120, зважаючи на потужність електроприводу конвеєрної стрічки.

Асинхронний електропривід керується блоком управління «Control Unit CU 240S DP». Модуль управління, в свою чергу, з'єднаний з модулем живлення «Sinamics G120 Power Module», який живиться трифазною напругою з мережі через мережевий дросель (рис. 5.16). Крім того, система може використовувати тормозний резистор, що в умовах конвеєрної стрічки дозволяє більш динамічно здійснювати зупинку конвеєрної стрічки. Модуль «Control Unit 240S DP» з'єднаний через шину Profibus з процесором Simatic S7-1200 [88].

Управління електродвигуном виконується засобами контролера S7-300. Конфігурація частотного перетворювача проводилась засобами IBM PC користувачем, через спеціалізоване програмне забезпечення (Drive ES 5.4, STEP 7, SIZER). При конфігуруванні, IBM PC звертається через шину Profibus до модуля процесорної станції, яка обробляє дану інформацію, після чого відповідним чином передається в модуль управління. Модуль управління подає інформацію на двигун для відпрацювання програми. Інформація про стан електродвигуна постійно оновлюється і відображається на робочій станції.

Блок керування керує і контролює силовим модулем та підключеним електродвигуном у різних режимах. Блок керування забезпечує функції керування перетворювачем по замкнутому циклу. Додатково до функцій керування блок керування також виконує інші завдання, які можуть бути адаптовані до відповідного завдання шляхом параметризації.

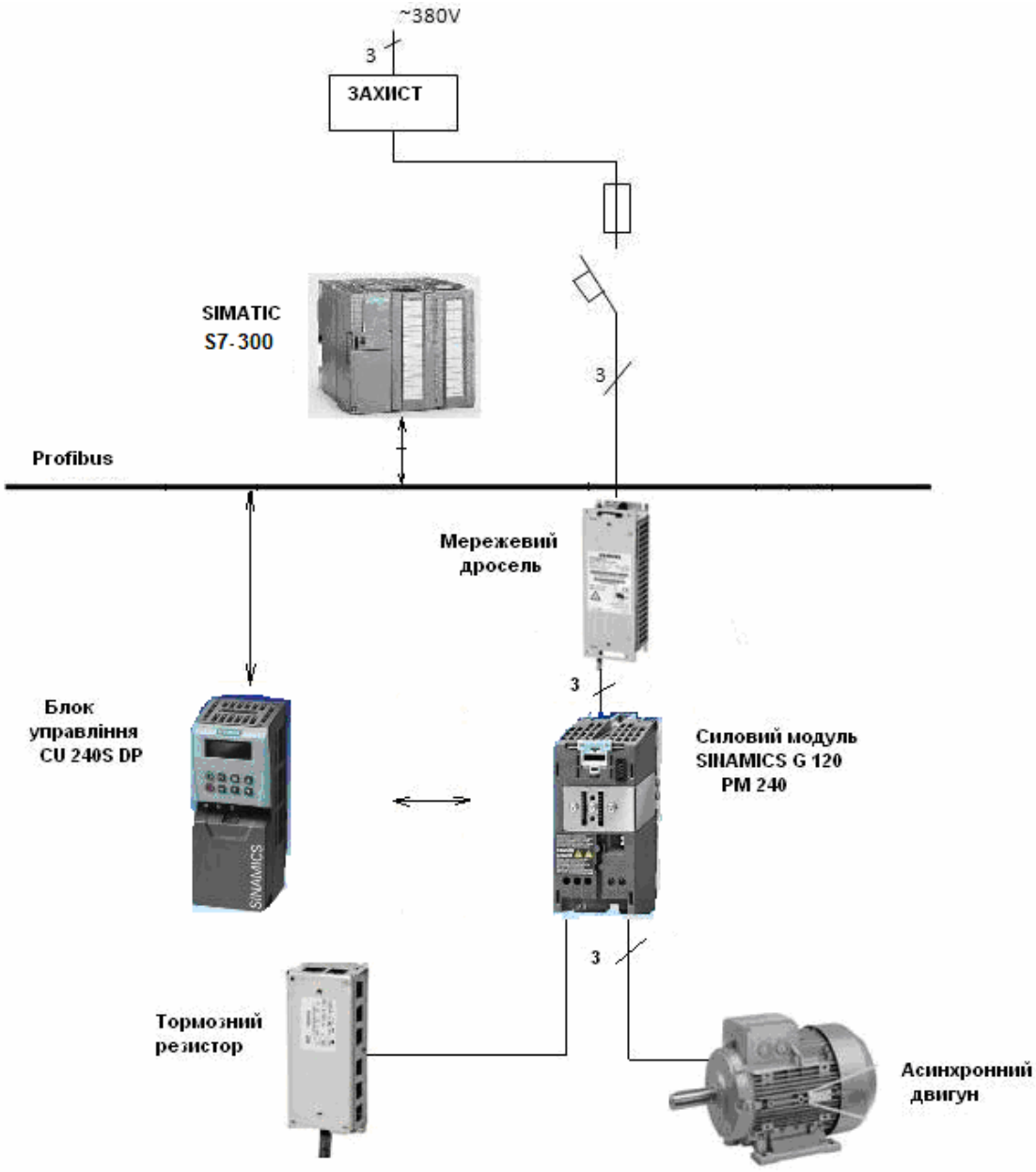


Рисунок 5.16 – Функціональна схема частотного управління електроприводу

Модульність забезпечує гнучкість розширеної концепції електропривода. Програма конфігурації STARTER забезпечує широкі можливості по налаштуванні частотного електроприводу під різні умови роботи, рис. 5.17.

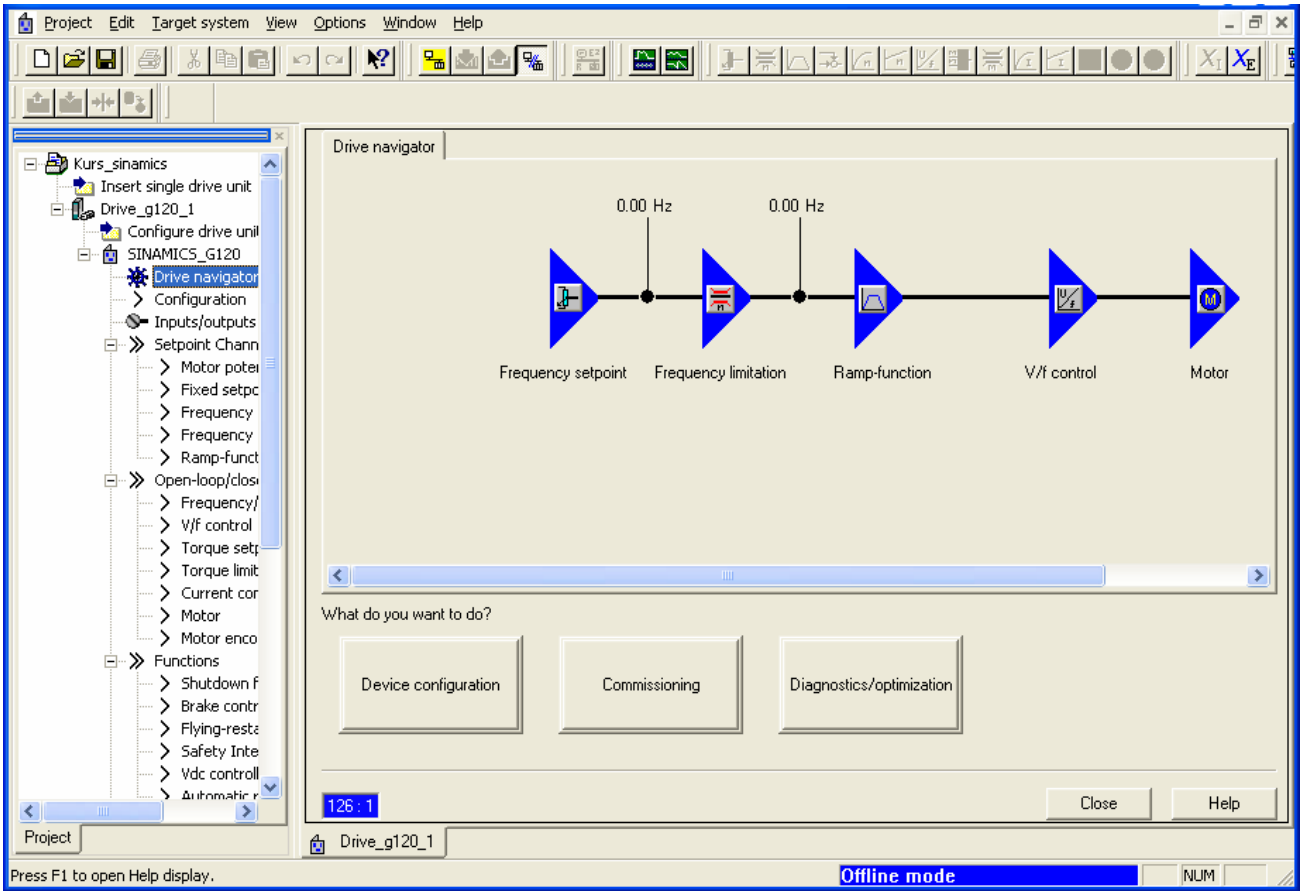


Рисунок 5.17 – Вікно конфігурації в програмному середовищі STARTER

Для забезпечення оптимальних режимів роботи і збільшення ресурсу основних вузлів лінії підготовки сировини, було проведено налаштування параметрів розгону і зупинки електроприводу, рис. 5.18. Так, як для розгону так і для зупинки було встановлено час у 2 сек., що достаньо зважаючи на інрційність конвеєрної стрічки. Дані параметри були підтверджені в ході подальших випробувань.

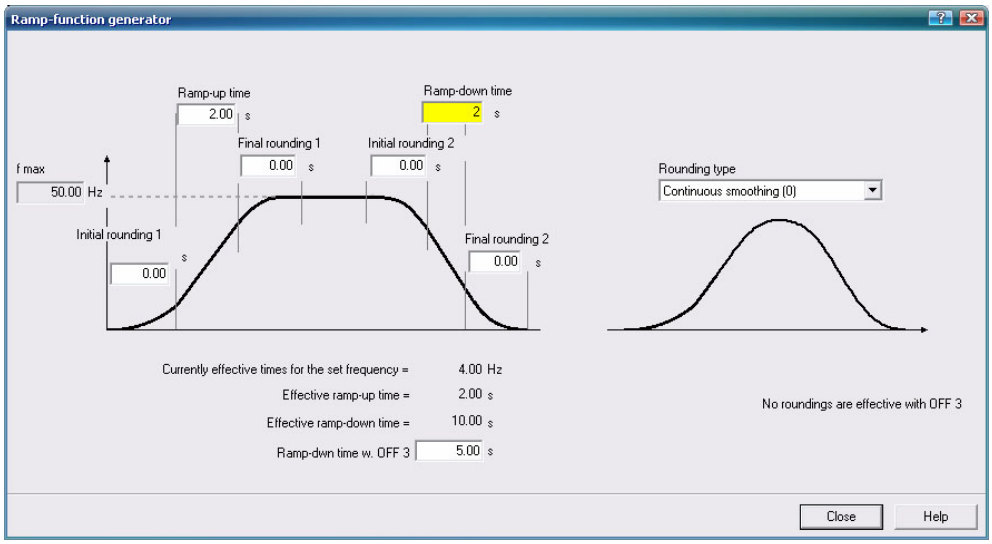


Рисунок 5.18 – Задання режимів розгону і сповільнення електроприводу

Для інтеграції в АСК вилучення МВ, було розроблено алгоритм управління частотним електроприводом. Підключення до контролера здійснюється через шину ProfiBus, рис. 5.19-5.20.

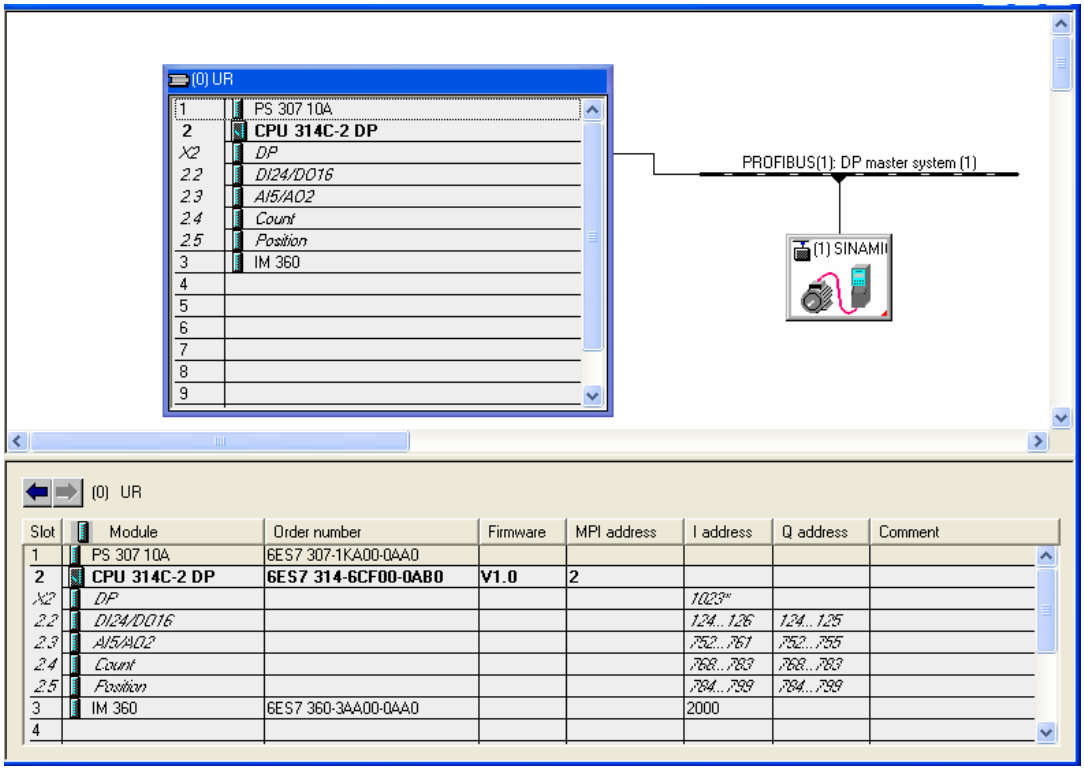


Рисунок 5.19 – Підключення частотного електроприводу G120

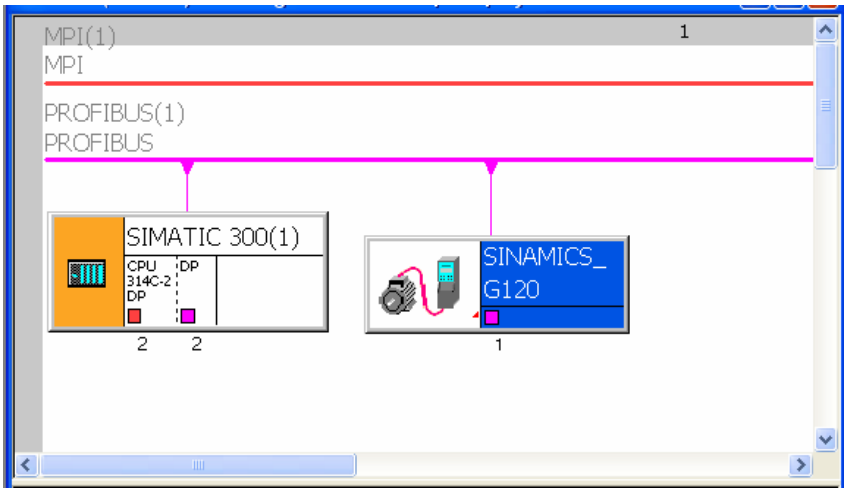


Рисунок 5.20 – Відображення комунікаційної мережі в підпрограмі «NetPro»

В результаті застосування і інтеграція частотного електроприводу дозволили зменшити енергоспоживання електроприводу, збільшити ресурс електроприводу конвеєрної стрічки, забезпечити функціональні режими роботи конвеєрної стрічки для роботи підсистеми ідентифікації і вилучення МВ.

5.5 Визначення показників надійності вузлів технологічної лінії підготовки сировини

Аналіз надійності будь-яких систем, об′єктів і механізмів, в тому числі технологічної лінії підготовки сировини, можна проводити лише у випадку наявності вірогідних вихідних даних, відповідним чином систематизованих за окремими вузлами лінії, тобто з врахуванням ієрархічного рівня вузлів технологічної лінії підготовки сировини [98, 99].

Система збору інформації про надійність вузлів технологічної лінії підготовки сировини повинна забезпечити:

– отримання співставимих і об'єктивних даних про надійність її вузлів;

– виявлення джерел і причин виникнення відмов;

– виявлення впливу умов і режимів експлуатації технологічної лінії підготовки сировини на її надійність.

У ряді галузей народного господарства, наприклад, в електронній, автомобільній і ін. надійність виробів після виготовлення оцінюється шляхом проведення їх випробувань у лабораторних умовах.

Для технологічної лінії підготовки сировини інформацію про відмови і втрату працездатності її основних вузлів – млин дрібного помолу, формовочний прес-вакуум, автомат порізки отримували безпосередньо в процесі експлуатації технологічної лінії.

Це дозволяє отримати більш вірогідну оцінку пристосованості вузлів технологічної лінії підготовки сировини до умов експлуатації і визначити показники її надійності.

Збір інформації про надійність вузлів технологічної лінії підготовки сировини дозволить отримати статистичні дані, необхідні для визначення кількісних значень показників надійності; встановлення статистичних залежностей потоків відмов; визначення законів розподілу випадкових значень часу безвідмовної роботи, відновлення ресурсів до капітального ремонту; виявлення елементів, відмови яких мають значний вплив на рівень надійності технолоічнї лінії підготовки сировини [97, 98].

На першому етапі досліджень інформація про технічний стан вузлів технологічної лінії, які знаходяться в експлуатації, причини і види їх відмов була отримана в процесі аналізу актів аварійних пошкоджень, актів пусконаладки, а також ремонтно-технічної документації, яка знаходиться у відділі ППР.

Результати збору статистичних даних з відмов вузлів технологічної лінії, аналіз умов і причин виникнення відмов з врахуванням технологічних особливостей, зумовлених виконанням їх заданих функцій, дозволили в першому наближенні, без статистичної обробки вихідних даних, виявити ті “слабкі вузли”, які призводять до її поломки.

Первинна обробка експериментальних даних полягає у: впорядкуванні вибіркових спостережень і, при необхідності, в групуванні їх за інтервалами; визначенні відносних частот для кожного інтервалу напрацювання; визначенні

числових характеристик статистичного розподілу і графічному представленні результатів у вигляді гістограм і емпіричних функцій розподілу.

Надійність технологічної лінії будемо оцінювати наступними показниками, які характеризують її властивості – безвідмовність, ремонтопридатність та довговічність, узагальненими показниками надійності: коефіцієнтом готовності, коефіцієнтом використання.

За зібраними статистичними даними про роботу технологічної лінії протягом двох років з наступною їх обробкою були одержані залежності параметра потоку відмов її вузлів, які підлягали дослідженню від часу їх експлуатації. Встановлено, що ця залежність апроксимується законом Вейбулла–Гнеденка і описується виразом:

$$w(t)=1.8\cdot 8.5\cdot 10^{-5}\cdot t^{0.8}.$$

Крива залежності параметра потоку відмов дослідженої технологічної ліній підготовки сировини наведена на рис.5.21.

З метою аналізу розподілу часу відновлення (ремонту) технологічної лінії підготовки сировини $t_в$ були складені відповідні вибірки часу її ремонту [99].

Степінь співпадання теоретичної залежності з експериментальними даними параметра потоку відмов від терміну експлуатації проводили з використанням методу середньоквадратичного відхилення. Наприклад, найбільше значення суми квадратів різниць склало 0,328.

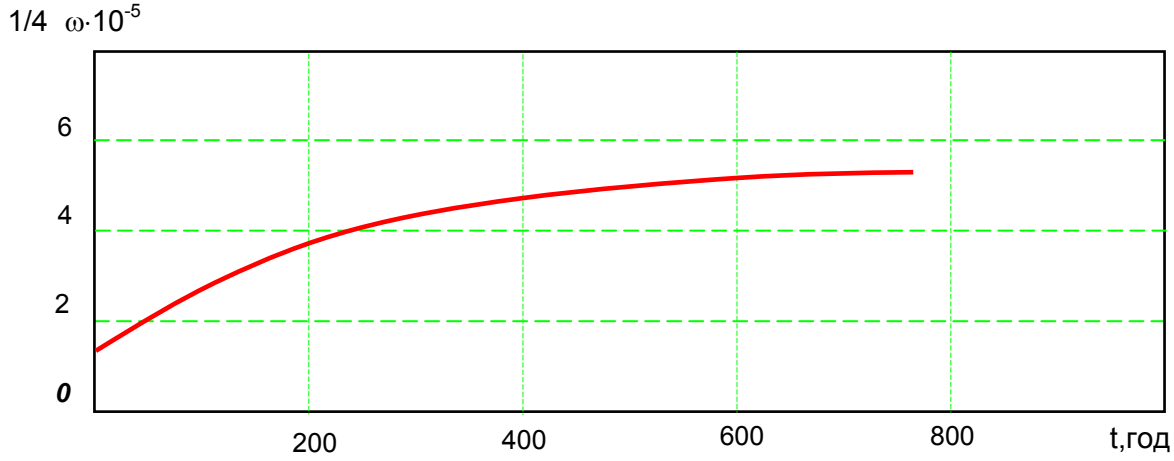


Рисунок 5.21 - Закономірність зміни параметра потоку відмов ω технологічної лінії підготовки сировини від часу експлуатації t

На рис. 5.22 наведена гістограма експериментального і теоретичного розподілу ймовірності циклів безвідмовної роботи технологічної лінії підготовки сировини.

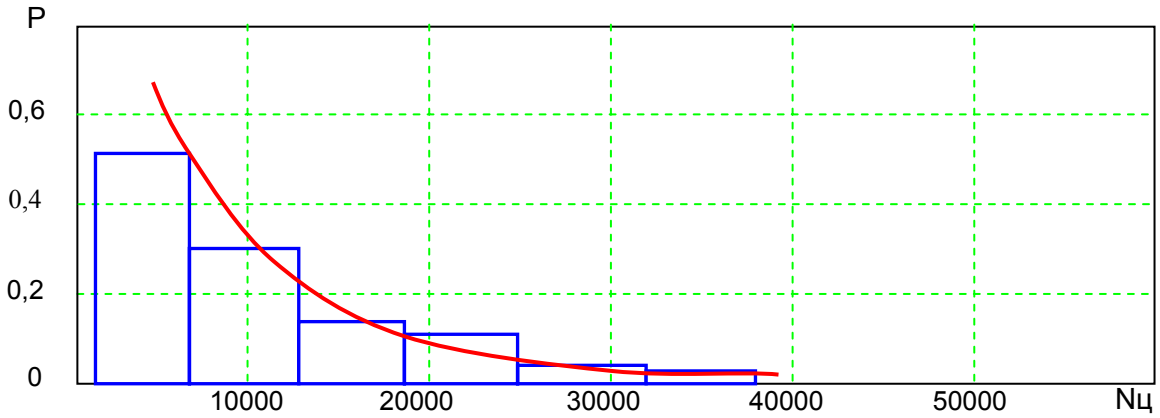


Рисунок 5.22 - Залежність зміни імовірності безвідмовної роботи P технологочної лінії підготовки сировини від кількості циклів Nц

Використовуючи критерій Пірсона χ^2, була проведена перевірка на адекватність теоретичного і експериментального розподілу часу відновлення лінії. Встановлено, що при апроксимації розподілу часу відновлення лінії Гама-розподілом з густиною

$$f(\tau) = a^{в} / \Gamma(в) \cdot \tau^{в-1} \cdot exp(-a \cdot \tau), \qquad (5.2)$$

де *а,в*— параметри форми і масштабу;

Г(в) — гамма-функція,

мінімальна довірча імовірність дорівнює 0,9.

Таким чином, гіпотеза про відповідність емпіричного і теоретичного розподілу часу відновлення повністю підтверджується. Виходячи з чисто фізичних уявлень, можна припустити, що щільність розподілу часу ремонту технологічної лінії підготовки сировини $f(t_в)$ повинна збільшуватись від нуля, мати максимум, а далі наближатись до нуля, що характерно для Гама-розподілу.

Математичне очікування випадкової величини, в нашому випадку, часу ремонту лінії, визначається за формулою

$$t_{в.сер} = \frac{в}{a}. \qquad (5.3)$$

При довірчій імовірності 0,95 середній час відновлення лінії дорівнює 1.87 ±0.281 годин.

Таким чином, залежність параметра потоку відмов від терміну експлуатації технологічної лінії підготовки сировини з достатньою для практичних цілей точністю може бути апроксимована розподілом Вейбула-Гнеденка, а час відновлення її працездатності при ремонті в умовах технологічного процесу підготовки сировини добре узгоджується з Гама-розподілом.

Стосовно технологічної лінії підготовки сировини, яка містить усі технологічні операції, були визначені окремі показники її надійності. За даними узагальнюючих відомостей окремо складалась часова діаграма потоку відмов вузлів у залежності від їх напрацювання. Отримані розрахункові дані та їх перевірка за критеріями χ^2 і Колмогорова показали, що напрацювання на відмову всіх вузлів лінії розподіляються за законом Вейбула-Гнеденка

$$P(t)=exp(-\lambda t^k), \qquad (5.4)$$

де λ — параметр, який визначає масштаб;

k— параметр форми розподілу, а час відновлення – за гама-розподілом.

Розрахункові значення показників надійності вузлів технологічної лінії підготовки сировини наведені в табл. 5.4 і використані при графічній побудові ймовірності безвідмовної роботи вузлів даної технологічної лінії.

Надійність технологічної лінії підготовки сировини характеризується здатністю виконувати робочі функції з мінімальними затратами на технічне обслуговування і ремонт. З цією метою розраховуються коефіцієнт готовності Кг як ймовірність того, що в кожен довільно взятий момент часу лінія буде працездатною [100]. Аналогічно визначалися коефіцієнти Тсер і Тв.сер згідно наведених формул [100].

Таблиця 5.4 - Розрахункові значення показників надійності вузлів технологічної лінії підготовки сировини

Показники надійності	Вузли технологічної лінії підготовки сировини	Значення
Середнє напрацювання до відмови, Тсер, год.	млин дрібного помолу	82
	формовочний вакуум-прес	124
	автомат порізки	41
Середній час відновлення, Тв.сер, год.	млин дрібного помолу	2,3
	формовочний вакуум-прес	0,67
	автомат порізки	1,7
Коефіцієнт готовності, Кг	млин дрібного помолу	0,892
	формовочний вакуум-прес	0,982
	автомат порізки	0,982

На рис. 5.23 наведені гістограми теоретичного розподілу ймовірності P(t) безвідмовної роботи вузлів технологічної лінії підготовки сировини.

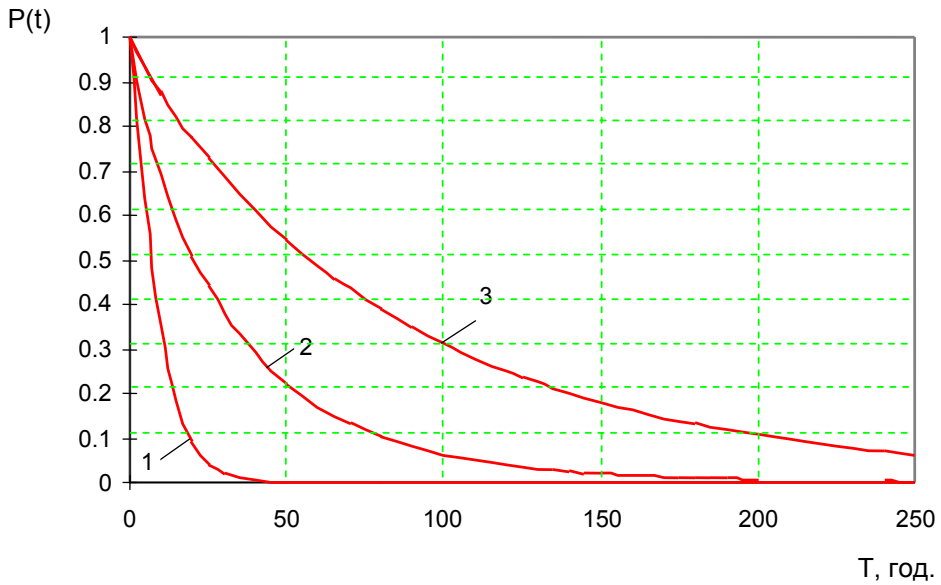


Рисунок 5.23 - Графіки ймовірності безвідмовної роботи вузлів технологічної лінії підготовки сировини

1 - млин дрібного помолу, 2 - формовочний вакуум-прес, 3 - автомат порізки

Аналізуючи типові аварійні ситуації, які мали місце на технологічному обладнанні в умовах ТОВ «Голд Кераміка», можна встановити середню кількість аварійних зупинок протягом місяця, через потрапляння МВ. В середньому протягом кожного місяця протягом одного року спостереження відбувається 11 аварійних зупинок через потрапляння МВ у сировину. Такі аварійні зупинки призводили до простою технологічної лінії підготовки сировини на 14.7 год протягом календарного місяця.

В результаті такі значні втрати оперативного часу призводять до значних техніко-економічних затрат. Впровадження підсистеми ідентифікації та вилучення і її інтеграції в АСК, дозволяє значно підняти надійність як самої АСК так і вузлів технологічного процесу підготовки сировини шляхом зменшення кількості МВ у сировині і в результаті зменшення кількості відмов. В результаті середній час простою технологічної лінії підготовки сировини склав 5.8 год протягом календарного місяця, що у свою чергу зменшило час простою на 8.9 год на протязі місяця. При цьому середнє напрацювання на відмову вузлів технологічної лінії підготовки сировини зросло на 19.7%.

5.6 Апробація підсистеми ідентифікації та вилучення металевих включень

З метою проведення лабораторних досліджень було розроблено лабораторну установку конвеєрної стрічки із розмірами наближеними до заводської [101-103]. В результаті було розроблено натурний взірець, на якому були виміряні основні параметри роботи підсистеми, рис. 5.24. Конструкція конвеєрної стрічки обладнана електричним приводом, що дозволяє імітувати рух стрічки вздовж системи котушок [104] а також імітувати роботи автоматизованої системи управління конвеєрною стрічкою [105].

Для дослідження і відпрацювання методу ідентифікації МВ у сипучій сировині було роблено плату генератора цифрових сигналів і обробки сигналів ЕРС приймальної котушки (рис. 5.25).

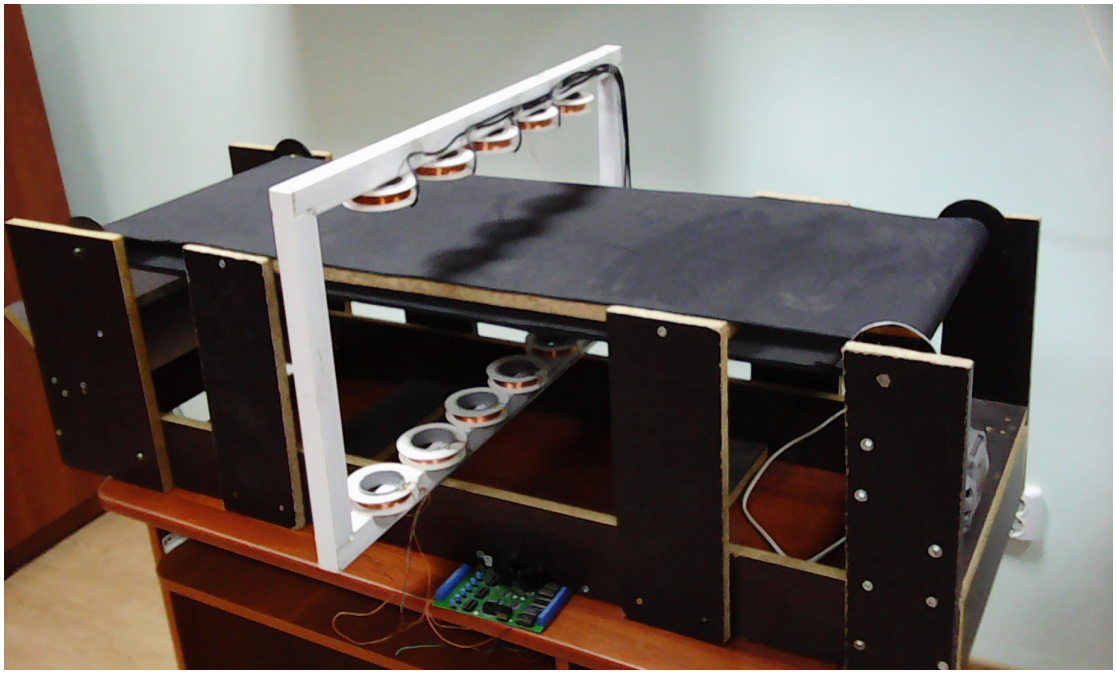


Рисунок 5.24 – Фото лабораторної установки

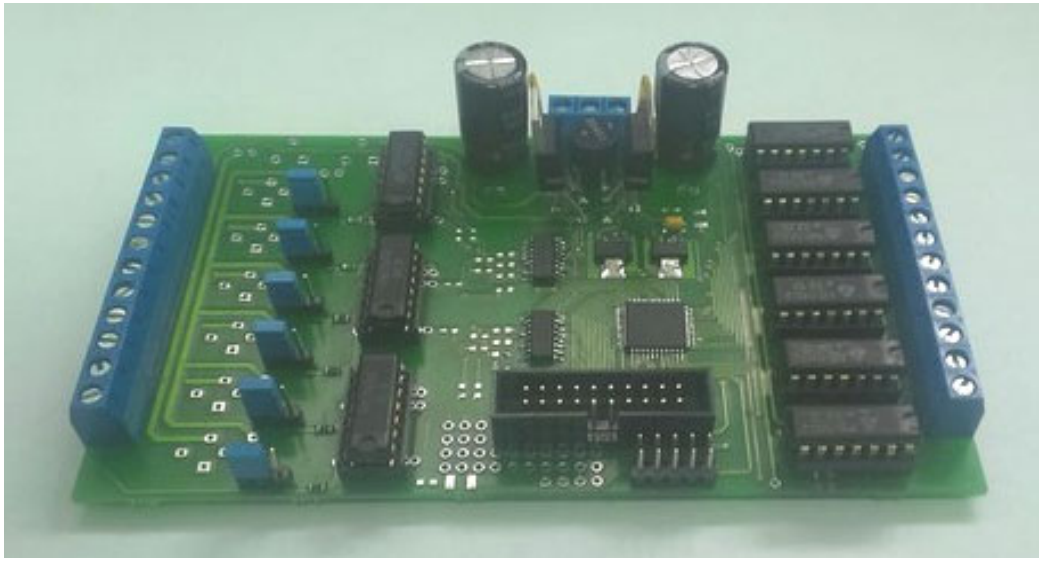


Рисунок 5.25 – Фото плати генератора цифрових сигналів і обробки сигналів ЕРС приймальної котушки

З метою формування зв’язку між підсистемою ідентифікації і вилучення МВ було розроблено пристрій управління вимірювальної системи котушок (рис. 5.26) [106], який містить перетворювач протоколу RS-232 - RS-485 [107-109], для реалізації протоколу ModBus [110].

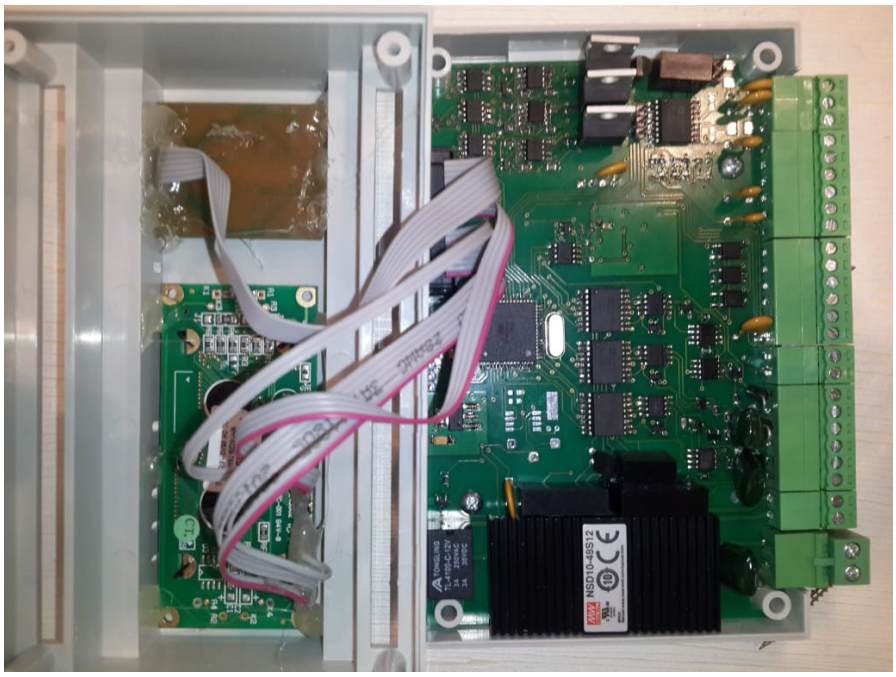


Рисунок 5.26 – Внутрішній вигляд пристрою управління вимірювальної системи котушок

Для реалізації методу ідентифікації МВ із застосуванням котушок збудження, блок котушок був модернізований, в результаті котушка збудження і котушка приймальна розміщені в одному корпусі, рис.5.27

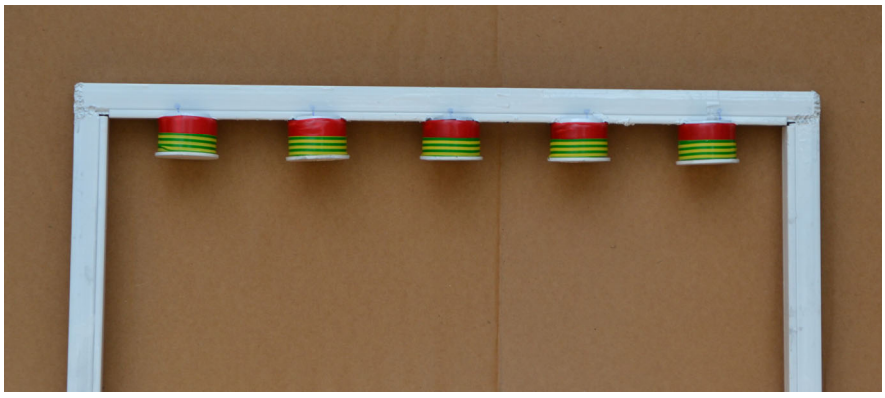


Рисунок 5.27 – Блок котушок із суміщеними котушками збудження і приймальними котушками

З метою реалізації автоматизованої підсистеми вилучення було розроблено і реалізовано електромеханічну частину даної системи, рис.5.28, що включає електропивід, редуктор, кінцеві вимикачі, блок електромагнітів [111,112].

Рисунок 5.28 – Фото електромеханічну вузла підсистеми вилучення

Для управління даною підсистемою вилучення, було розроблено щит вузлів управління на базі контролерf S7-1200, рис.5.29. Компоненти підсистеми були змонтовані у шафі з використанням сучасної елементної бази.

а) б)

Рисунок 5.29 – Фото блоку управління підсистеми вилучення МВ (зовнішній вид)

а – зовнішній, б – внутрішній вигляд.

Для зв’язку із АСК технологічним процесом підготовки сировини (рис.5.27) використано Ethernet-комунікацію [113], що дозволило інтегрувати її в АСК технологічним процесом підготовки сировини, а також забезпечити управління конвеєрною лінією [114,115] (рис.5.28).

Рисунок 5.27 – Шафа управління АСК лінії підготовки сировини [103]

Рисунок 5.28 – SCADA-система АСК технологічним процесом підготовки сировини

Підсистема дозволяє здійснювати окрім локального управління, також і забезпечувати web-доступ для моніторингу поточних і архівних даних [116, 117].

Внаслідок проведених лабораторних досліджень було отримано результат ідентифікації МВ у 89.8%. Це, у свою чергу, дозволяє уникнути значної кількості аварійних ситуацій, а також виходу з ладу технологічного обладнання.

Висновки до розділу 5:

Здійснено розробку апаратного комплексу підсистеми ідентифікації і вилучення МВ на базі контролера S7-1200 моделі CPU 1214 і модулів SM1221, SM1222, а також комунікаційного комплексу на базі процесора CP1241 для організації зв'язку із підсистемами по протоколу передачі даних ModBus RTU та протоколу Profibus для управління частотним електроприводом. Для інтеграції підсистеми ідентифікації та вилучення в АСК використано комунікацію Ethernet, що значно спростило комунікаційні затрати.

Проведена розробка програмного забезпечення підсистеми ідентифікації та вилучення МВ, що включає алгоритм функціонування підсистеми вилучення, робочі вікна SCADA-системи підсистеми ідентифікації і вилучення та їх основні елементи управління і контролю.

Розроблено електромагнітний блок вилучення МВ на основі електромагнітів постійного струму і проведено їх моделювання в програмному середовищі FEMM 4.2, що підтвердило розрахункові параметри електромагнітів.

Здійснено розробку вузла частотного електроприводу конвеєрної стрічки з підбором силового модуля, модуля контролю та здійснено налаштування режимів розгону і сповільнення частотного електроприводу.

Встановлені закономірності зміни параметра потоку відмов технологічної лінії підготовки сировини від часу експлуатації та зміни імовірності безвідмовної її роботи від кількості циклів та проведено розрахунок показників надійності вузлів технологічної лінії (середнього напрацювання на відмову,

середнього часу відновлення та що включало побудову залежності ймовірності безвідмовної роботи технологічної лінії та коефіцієнта готовності). Показано, що впровадження розроблених підсистем дозволить зменшити час простою технологічної лінії на 8.9 год. на протязі місяця.

Проведена апробація підсистем ідентифікації та вилучення МВ на спеціально розробленому лабораторному стенді з електроприводом, що моделює конвеєрну лінію, дозволила виявити 89,8% МВ від їх загальної кількості, а проведена апробація підсистем на лінії №1 СВП «Завод ПРОКЕРАМ» ТОВ «Голд Кераміка» також продемонструвала їх ефективність, що підтверджується актом апробації

ВИСНОВКИ

У дисертації подано нове рішення науково-технічної задачі в галузі автоматизації технологічних процесів виготовлення керамічних виробів, яке полягає в розробці підсистеми ідентифікації МВ в сировині з автоматичним визначенням їх координат на конвеєрній стрічці і підсистеми вилучення МВ з подальшою інтеграції цих підсистем в АСК процесом підготовки сировини для виготовлення керамічних виробів, що сприяє забезпеченню надійності і ефективності функціонування АСК. При цьому отримано наступні основні результати:

– проаналізовано АСК технологічним процесом підготовки сировини для виготовлення керамічних виробів, методи і засоби ідентифікації МВ у сировині на конвеєрній стрічці та обгрунтовано перспективність використання АСК, оснащених підсистемами ідентифікації і вилучення МВ, що вимагає теоретичного обґрунтування методу ідентифікація МВ та розробки підсистеми для його реалізації;

– проведено дослідження взаємозв’язків елементів технологічного процесу підготовки сировини, а також розроблено структурну і функціональну схеми підсистеми ідентифікації та вилучення МВ. Розглянуто принцип роботи підсистем та вимоги до їх основних блоків. Розроблено структурну схему інтеграції підсистеми ідентифікації і вилучення МВ в АСК процесом підготовки сировини для виготовлення керамічних виробів;

– розроблено теоретичні передумови методу ідентифікації МВ в сировині на конвеєрній стрічці на базі електромагнітного методу та фізичну модель взаємодії електромагнітного поля з МВ, розташованими в діелектричному середовищі, на основі якої було розроблено дослідну установку і проведено дослідження впливу МВ із різними габаритними розмірами, магнітними та електричними властивостями. За результатами досліджень встановлена

залежність відносної зміни амплітуди ЕРС в приймальній котушці від положення МВ між котушками збудження (діагностична ознака);

– розроблено підсистему ідентифікації МВ в сировині на конвеєрній стрічці з автоматичним визначенням їх координат, як функціональної складової АСК процесом підготовки сировини. Побудовані структурні і принципові схеми блоків для формування і синхронного вимірювання амплітуди електромагнітного поля на різних частотах одночасно множиною систем котушок, що дало можливість визначити положення МВ відносно осі конвеєрної стрічки.

Розроблено підсистему вилучення МВ з сировини, її алгоритмічне і програмне забезпечення на основі контролера Simatic S7-1200;

– проведено інтеграцію підсистеми ідентифікації МВ в сировині і підсистеми вилучення МВ в АСК технологічним процесом підготовки сировини шляхом розробки апаратного, комунікаційного і алгоритмічного забезпечення. Інтеграція підсистем ідентифікації і вилучення в структуру АСК виконана з використанням комунікації Ethernet і передбачає підключення частотного електроприводу для конвеєрної стрічки, а також внесення змін в програмне і алгоритмічне забезпечення АСК з метою реалізації функцій вказаних підсистем та керування частотним електроприводом.

Випробування підсистеми ідентифікації МВ на лабораторній установці у вигляді ділянки конвеєрної лінії з електроприводом дозволило виявити 89,8% МВ від їх загальної кількості, а проведена апробація підсистеми ідентифікації МВ на лінії №1 СВП «Завод ПРОКЕРАМ» ТОВ «Голд Кераміка» підтвердила її ефективність. Її впровадження дозволить зменшити час простою технологічного обладнання внаслідок потрапляння МВ в середньому на 8.9 год протягом календарного місяця.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Воробйов В.А. Строительные материалы. Москва: Издательство Стройиздат, 1971. 496 с.

2. Горянов К.Э., Дубецкий К.Н., Васильков С.Г. Попов Л.Н. Технология минеральных теплоизоляционных материалов и легких бетонов. Москва: Издательство Стройиздат, 1976. 536 с.

3. Григорович М.Б. Минерально-сырьевая база промышлености строительных материалов. Москва: Издательство «Недра», 1972. 133 с.

4. Заміховський Л.М., Левицький І.Т. Аналіз джерел металовключень в глині та структура системи для їх пошуку. *Неруйнівний контроль та технічна діагностика:* матеріали 7-ої Націон. наук.-техн. конф. і виставки. Київ, 20-23 лист. 2012 р. Київ: УТНКТД, 2012. С. 348-350.5.

5. Системы Автоматизации и Автоматика. URL: https://www.saa.su (дата звернення: 15.06.2021).

6. Модернизация кирпичного завода BESSER. URL: https://owen.ru/project/modernization_brick_factory_besser. (дата звернення: 16.06.2021).

7. Техникон – Автоматизація производств. URL: https://technikon.by/ (дата звернення: 16.06.2021).

8. Електронні автоматизовані системи – рішення для цегельних заводів URL: http://elas.com.ua/uk/rishennya/tsegelni-zavodi.html. (дата звернення: 17.06.2021).

9. Еліус-М. URL: http://elius.com.ua/ua/portfolio/ (дата звернення: 18.06.2021).

10. Левицький І.Т. Сучасний стан контролю складу сировини (глини) для керамічної промисловості. *Наукові вісті Галицької академії.* №2(12). Івано-Франківськ, 2007. – С. 101-104.

11. Г.Н. Щербаков, М.А. Анцелевич, Д.Н. Удинцев. Выбор электромагнитного метода зондирования для поиска объектов в толще укрывающих сред. *Журнал «Специальная техника»*. 2005. №1. С. 1 - 9.

12. Головач В.И., Белецкий М.И. Особенности обнаружения металлических включений в древесных материалах в зоне пропила, *Forestry and Wood Technology No 71*. Warsaw, 2010. P.194.

13. Кудинов, Д.С., Шайдуров Р.Г. О возможности реализации экспериментального комплекса поиска мин и минных полей на основе радиолокационного параметрического метода. *Состояние и перспективы развития системы противовоздушной обороны государств-участников СНГ:* Сборник материалов ВНК Военной академии ВКО., Т.1. секция 7.2. ВА ВКО. Тверь, 2016. С. 159-167.

14. Замиховский Л.М., Левицький И.Т. Разработка структуры и формулирование требований для импульсного спектрометра спинового ЭХА. *Методы и средства технической диагностики. Сборник научных статей.* Йошкар-Ола, 2008. С. 144- 148.

15. НИИАчермет «Научно-исследовательский и опытно-конструкторский институт автоматизации черной металлургии». URL: http://automation.dp.ua/production.php-id=21.htm. (дата звернення: 14.06.2021).

16. Компанія «Славутич» URL: http://www.ntp-slavutich.com/ua/. (дата звернення :10.06.2021).

17. Каталог продукції фірми Металлодетекторы. URL: http://www.detektormetalla.ru/#. (дата звернення: 10.05.2021).

18. ООО ТД «Промкаучук». URL: http://belt174.com/metalloiskatel/. (дата звернення: 10.06.2021).

19. ПромТЭК. Каталог продукції. URL: http://promtekmsk.ru/promyshlennye-konveyernye-metallois. (дата звернення: 2.05.2021).

20. Каталог продукції MetalFind Inc. URL: https://metalfind.net/promyshlennye-metallodetektory/bastion-km/ (дата звернення 2.04.2021).

21. Каталог продукції фірми ERIEZ MAGNETICS. URL: https://eriez.com/Documents/Literature/IOMs/Metal-Detection/MM-246-Eriez-MA3500-Metal-Detector-IOM.pdf. (дата звернення: 3.06.2021).

22. Кондратенко В.А., Пешков В.Н., Следнев Д.В. Проблемы кирпичного производства и способы их решения. *Журнал Строительные материалы*. 2002. №3. С.43-45.

23. Шупов В.П., Моня Г.М., Ободан В.Я Обобщение опыта защиты дробилок при помощи конвейерных металлоискателей. *Металлургия и горнорудая промышленостсть*. 2006. № 4. С. 97-100.

24. Левицький І.Т. Аналіз вибірки металовключень у сипучій сировині в умовах ВАТ "Керамікбудсервіс". *Сучасні тенденції розвитку інформаційних технологій в науці, освіті та економіці:* VI Всеукр. наук.-практ. конференції . (31 травня – 1 червня 2012р.). Луганськ, ЛНУ ім. Т.Шевченка, 2012. С. 57-59.

25. Хан Г., Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах. Москва: Издательство Мир, 1969. 388 с.

26. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. Москва: Издательство Наука, 1971. 192 с.

27. Пустыльник Е.Н. Статистические методы анализа и обработки наблюдений. Москва: Издательство Наука, 1968. 283 с.

28. Заміховський Л.М. Заміховський Л.М., Левицький І.Т. Розробка структури і формування вимог до системи пошуку металевих включень у сировині для виготовлення керамічних виробів. *Наукові вісті Галицької академії*. №17(1). Івано-Франківськ, 2010. С. 38-42.

29. Roy, S. Recovery improvement of fine magnetic particles by floc magnetic separation. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review.* Aditya Birla Science and Technology Company Ltd., Taloja, Navi Mumbai 410 208, India. Volume 33, Issue 3, 2012, Pages 170-179.

30. Shulei Song, Guilin Zhang, Zhenfu Luo & Bo Lv. Development of a Fluidized Dry Magnetic Separator and Its Separation Performance Tests. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review.* Volume 40, 2019 - Issue 5. Pages 307-313.

31. Shvedchykova, I., Melkonova, I.,Romanchenko, J.. Research of magnetic field distribution in the working area of disk separator, taking into account an influence of materials of permanent magnets. *EUREKA, Physics and Engineering:* Department of Energy management and Applied Electronics Kyiv National University of Technologies and Design. Volume 2020, Issue 1, 2020, Pages 87-95.

32. Magnetic Systems. Magnetix Sp.zo.o. Product Catalog. Magnetic Separators, 2020. URL: https://metal-separators.com/files/files/Katalog%202020EN /Magnetix %20-%20folder.pdf (дата звернення: 12.05.2021).

33. Liu, J.-J., Lu, D.-F., Wang, Y.-H., Zheng, X.-Y., Li, X.-D., Cheng, Z.-Y. Effect of dry magnetic separator on pre-selection of magnetite under wind power. *Chinese Journal of Nonferrous Metals.* School of Minerals Processing and Bioengineering, Central South University, Changsha, 410083, China. Zhongguo Youse Jinshu Xuebao. Volume 30, Issue 10, October 2020, Pages 2482-2491.

34. Gómez-Pastora, J., Xue, X., Karampelas, I.H., Bringas, E., Furlani, E.P.,Ortiz, I. Analysis of separators for magnetic beads recovery: From large systems to multifunctional microdevices. *Separation and Purification Technology.* Dept. of Chemical and Biomolecular Engineering, ETSIIT, University of Cantabria, Avda. Los Castros s/n, Santander, 39005, Spain.. Volume 172, 1 January 2017, Pages 16-31.

35. Goudsmit Magnetic Systems. Magnetic Separators for Recycling. Product Catalog. Overbelt Magnets, 2020.- 6 p.

36. Andreeva, E.G., Semina, I.A., Shantarenko, S.G. (2017). The research of the magnetic field power characteristics of a hybrid magnetic system with various concentrators. *Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines:* 11th International IEEE Scientific and Technical Conference, Dynamics 2017; Omsk State Technical UniversityOmsk; Russian Federation; 14 November 2017 through 16 November 2017; Category number FP17RAB-PRT; Code 133702.

37. Osipova, N.V. (2020). Model for optimal control of a magnetic separator based on the bellman dynamic programming method. National University of Science and Technology “MISiS”, Novotroitsk affiliate, Novotroitsk, Russian Federation. Chernye Metally. Volume 2020, Issue 7. p. 9-13.

38. Сю Ф., Мейер А. Современная теория управления и ее применение. Москва.Издательство: Машиностроение, 1972. 121 с.

39. Спосіб локалізації та ідентифікації металовключень у сировині на стрічковому конвеєрі та система для його реалізації: пат. 106959 Україна, МПК B07B15/00; № a201315542. заявл. 30.12.13 ; опубл. 27.10.14, Бюл. № 20. Заміховський Л. М., Євчук О. В., Левицький І. Т.

40. Зорохович, В.Е., Щукуров Э.Д., Зорохович В.Е. Производство кирнича. Комплексная механизация и автоматизация. Ленинград: Издательство Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1988. 232 с.

41. Заміховський Л.М., Левицький І. Т. Система керування механізмом видалення металевих включень в умовах виробництва керамічної цегли. *Summer InfoCom 2017:* Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 1-2 червня 2017р. Київ. Вид-во ТОВ «Інжиніринг», 2017. С. 71-72.

42. Заміховський Л.М., Левицький І.Т. Розробка апаратного забезпечення системи контролю металовключень в сировині для виготовлення керамічних виробів. *Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах:* II-а Міжнародна наукова конференція. Вінниця. 29-31 жовтня 2013 р. С. 275-277.

43. MODBUS over Serial Line Specification & Implementation guide V1.0. URL: https://modbus.org/docs/Modbus_over_serial_line_V1.pdf. (дата звернення: 12.05.2021).

44. Искрицкий Д.Е. Строительная механика елементов машин. Ленинград: Издательство Судостроение, 1970. 448 с.

45. Gallager R. Principles of Digital Communication. Cambridge University Press. 2016. 368 p.

46. Заміховський Л.М., Левицький І.Т. Розробка структури і формування вимог до системи пошуку металевих включень у сировині для виготовлення

керамічних виробів. *Наукові вісті Галицької академії*. №17(1). Івано-Франківськ, 2010. С. 38-42.

47. Коростелев В.Ф. Автоматизация технологических процессов и производств. Учебное пособие . Владимирский гос. ун-т. Владимир: Ред.-изд. комплекс ВлГУ, 2005. 149 с.

48. Герасимов В. Г., Покровский А. Д., Сухоруков В. В. Неразрушаюший контроль. Книга 3. Электромагнитный контроль. Москва: Издательство Высшая школа, 1992. 312 с.

49. Гордиенко В.И., Убогий В.П., Ярошевский Е.В. Електромагнитное обнаружение инженерних комму-никаций и локальних аномалій. Київ, Видавництво Наукова думка. 1981, 227 с.

50. Брунов Б.Я., Гольденберг Л.М., Кляцкин И.Г., Цейтлин Л.А.. Теория електромагнитного поля. Москва, Издательство Госенергноиздат. 1962. 512с.

51. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. Учебник для вузов. 4-е издание, переработанное и дополненное. Москва, Издательство Радио и связь, 1986. 512 с.

52. Амелина М.А., Амелин С.А. Программа схемотехнического моделирования Micro-Cap 8. Москва: Горячая линия-Телеком, 2007. 464 с.

53. Building a low-cost white-noise generator. Application note 3469. URL: https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/3469 (дата звернення: 4.06.2021).

54. Амплитудно-фазовый сособ обнаружения металлосодержащих объектов и радиочастотный (или СВЧ) металло-детектор для его осуществления: пат. №2276391. Легкий В.П., Беланов Б.Е., Плешакова Е.В., Шебалкова Л.В. Онубл. Бюл. - 2006. - №13.

55. Phase-Locked Loop Design Fundamentals/ Document Number: AN535, Rev. 1.0, 02/2006. Freescale Semiconductor, Inc. URL: https://www.nxp.com/docs/en/application-note/AN535.pdf (дата звернення: 3.05.2021).

56. Lauterbach M. Oscilloscope active probe/ EDN network. August 01, 2001 URL: https://www.edn.com/design/other/4383070/Oscilloscope-active-probe. (дата зверенення: 4.06.2021).

57. Левицький І.Т. Система контролю металевих включень у сипучій сировині. *Сучасна інформаційна Україна: інформатика, економіка, філософія:* VI Міжнародна науково-практична конференція молодих учених, аспірантів, студентів. Донецьк, 26 квітня 2012р. С. 208-212.

58. Кириллов В.В., Моисеев В.С. Аналоговое моделирование динамических систем. Ленінград: Издательство Машиностроение, 1977. 288 с.

59. Скородумов С. А., Обошиев Ю. П. Помехоустойчивая магнето-измерительная аппаратура. Ленинград: Издательство Энергоиздат, 1981. 186 с.

60. Zamikhovskiy L.M., Levitsky I.T. Computer modeling of the scanning signal to detect metallic inclusions in raw materials. *The second joint international conference STED2017 and IIS 2017*, which will take place in Banja Luka on 02 - 03 November 2017, Bosnia and Herzegovina.

61. Заміховський Л.М., Левицький І.Т. Розробка апаратної частини системи контролю металовключень у сипучій сировині методом скануючого сигналу. *Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання:* VIII Міжнародна наукова-технічна конференція, Івано-Франківськ, 25-28 листопада 2014. С. 305-307.

62. Джон Г. Мэтьюз, Куртис Д. Финк. Численные методы. Использование MATLAB. 3-е издание. Москва: Издательство Вильямс, 2001. 720 с.

63. Алексеев Е.Р., Чеснокова О.В.. Решение задач вычислительной математики в пакетах Mathcad 12, MATLAB 7, Maple 9. Серия: Самоучитель. Издательство: НТ Пресс, 2006. 496 с.

64. Zamikhovskyi L., Levitskyi I., Nykolaychuk M., Striletskyi Yu. Mathematical fundamentals of the method of identification of metal inclusions in raw materials with automatic determination of their coordinates. *Scientific Journal of TNTU.* 2021 (Tern.), vol 103, no 3, pp. 23–32.

65. Еліяшів О.М., Левицький І.Т. Дослідження процесу взаємодії феромагнітного об’єкту з електромагнітним полем випромінюючої котушки в програмному пакеті FEMM 4.2. *Збірник тез доповідей «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості»:* IV Всеукраїнська наукова-практична конференція молодих учених і студентів. Івано-Франківськ, 2019. С. 125-128.

66. Замиховский Л.М., Левицький І.Т. Метод локализации и идентификации посторонних металлических предметов в сырье на ленточном конвейере. *Научный журнал «Молодой ученый».* 2014. №8(67). С. 173-178.

67. Zamihovskyi L., Levytskyi I., Gromaszekb K., Smailovac S., Akhmetovad A., Sagymbekovab A.. Development of control system of metallic inclusions in granular materials based on the method of scanning signal. *Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*. 2016, 100310H (28 September 2016); doi: 10.1117/12.2249200.

68. Гутников В. С. Фильтрация измерительных сигналов. Ленинград: Издательство Энергоатомиздат, 1990. 192 с.

69. Євчук О.В., Ровінський В.А., Стрілецький Ю.Й. Використання технології CUDA в задачах спектрального та частотно-часового аналізу сигналів. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*. №10(81). 2012. С. 81-86.

70. Євчук О.В., Ровінський В.А., Стрілецький Ю.Й. Реалізація аналогових активних елементів керованих напругою в системах цифрової обробки сигналів. *Вісник хмельницького національного університету. Технічні науки.* №4. 2012. С..96-101.

71. Ноткин Л. Функциональние генератори и их применение. Москва: Издательство Радио и свіязь, 1983. 184с.

72. Манассевич В. Синтезатори частоти. Теория и проектирование. Москва: Издательство Связь, 1979. 384 с.

73. STM32F100 Value Line. URL: https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f100-value-line.html (дата звернення: 3.05.2021).

74. Application Note 775 Specifications and Architectures of Sample-and-Hold Amplifiers. URL: https://www.ti.com/lit/an/snoa223/snoa223.pdf?ts=1633842976896 (дата звернення: 1.06.2021).

75. ADS1256. DataSheet. Very Low Noise, 24-Bit Analog-to-Digital Converter. URL: https://www.ti.com/lit/ds/sbas288k/sbas288k.pdf?ts=1633827236916&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F (дата звернення 5.05.2021).

76. Замиховский Л.М., Левицкий И.Т. Разработка аппаратной части системы контроля металических включений в сыпучем сырье на базе метода сканируещого сигнала. *Научный журнал «ScienceRise».* 2015. №3/2(8). С. 78-81.

77. Storm E., Ottosson T., Svensson A.. An introduction to spread spectrum systems. *Technical report no.R016/2002*. Department of Signals and Systems Chalmers University of Technology SE-41296 Goteborg. Sweden, 2002. 29 p.

78. Бэрк Г.Ю. Справочное пособие по магнитным явлениям. Пер с англ. Москва: Издательство Энергоатомиздат, 1991. 384 с.

79. Левицький І.Т. Завадостійкість системи контролю металовключень до природних і індустріальних завад. *Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання:* VI Міжнародна наукова-технічна конференція і виставка. Івано-Франківськ, 29 листопада – 2 грудня 2011р. С. 147-150.

80. Заміховський Л.М., Левицький І.Т. *Метод контролю металевих включень і сировині для виготовлення керамічних виробів. Методи та прилади контролю якості*. 2012. № 2(29). С. 113-118.

81. Antoniou A. Digital Signal Processing. Signals, Systems and Filters. McGraw-Hill, 2006. 991 pp.

82. Malhotra M. The Performance Evaluation of Window Functions and Application to FIR Filter Design. *Internatio nal Jo urnal o f Sc ientific & Engineering Research*. Vol.2, Issue 12, December. 2011. P. 1-7.

83. Understanding FFTs and Windowing. URL: http://download.ni.com/evaluation/pxi/ Understanding FFTs and Windowing.pdf. (дата звернення: 3.05.2021).

84. Ровінський В.А., Євчук О.В., Стрілецький Ю.Й. Особливості реалізації нелінійних опорів в системах цифрової обробки сигналів. *Методи та прилади контролю якості.* 2011. №27. С. 91-95.

85. Ровінський В.А., Євчук О.В., Стрілецький Ю.Й. Використання цифрових хвильових фільтрів у задачах технічної вібродіагностики. *Метрологія та прилади*. 2011. №6(32). С. 67-70

86. Титце У., Шенк К.. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с.нем. Москва: Издательство Мир, 1982. 512 с.

87. Ровінський В.А. Фуфалько О.Ю., Стрілецький Ю.Й., Євчук О.В. Інформаційна технологія моделювання біполярних транзисторів хвилевими цифровими фільтрами. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. №5., 2013 с.81-84

88. Siemens. Simatic. Программируемый контроллер S7-1200. Системное руководство. URL: https://www.siemens-pro.ru/docs/simatic/s7-1200/s71200_system_manual_r.pdf (дата звернення: 3.05.2021).

89. Zamikhovskiy L.M., Levitsky I.T., Nykolaychuk M.Y.. Designing a system that removes metallic inclusions from bulk raw materials on the belt conveyor. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. ISSN 1729-3774. 2021. № 3/2(111). p. 79 -87.

90. Siemens. Simatic. WinCC (TIA Portal) V15 GMP Engineering Manual. Configuration Manual. URL: https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:1a53fe6d-4101-4166-9c87-b8dd4301bb4f/gmp-simatic-wincc-v15-en.pdf (дата звернення: 3.05.2021).

91. Siemens. SIMATIC HMI HMI devices Basic Panels 2nd Generation. Operating Instructions. URL: https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/90114350/hmi_basic_panels_2nd_gen_operating_instructions_enUS_en-S.pdf?download=true

(дата звернення: 4.05.2021).

92. Заміховський Л.М., Николайчук М.Я. Віртуалізація компонентів систем керування технологічними об'єктами. *Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості:* Збірник тез доповідей IV Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів (10-11 жовтня 2019 року) – Івано-Франківсь, 2019р. С. 121-122.

93. Сливинская А.Г. Электромагниты и постоянные магниты. Учебное пособие. Москва: Издательство Энергия, 1972. с. 248.

94. Харкевич А.А. Борьба с помехами. Москва: Издательство Наука. 1965. 275с.

95. Волчкевич Л.Н. Надежность автоматических линий. - М.: Машиностроение, 1969.- 309с.

96. Надежность и диагностика технологического оборудования / Под. ред. Фролова К.В., Нахапетяна Е.Г. - М.: Наука, 1987.- 239с.

97. Коротеев В.В., Исследование надежности работы комплексного автоматизированного оборудования для производства изделий грубой керамики *Тематический сборник научных трудов «Исследование и создание нового оборудования для промышленности строительных материалов».* Гатчина: изд. ВНИИСтроммаша, 1982. 112 с.

98. Коротеев В.В., Методика расчета изнашивающихся рабочих органов шнековых прессов на долговечность. Тематический сборник научных трудов «Исследование и создание нового оборудования для промышленности строительных материалов». Гатчина: изд. ВНИИСтроммаша, 1986. С. 45-48.

99. Коротеев В.В. Оценка надежности и производительности технологических линий для производства керамических стеновых материалов. *Тематический сборник научных трудов «Исследование и создание нового оборудования для промышленности строительных материалов».* Гатчина.: изд. ВНИИСтроммаша, 1987. 107с.

100. Заміховський Л.М. Основи теорії надійності і технічної діагностики систем [Текст]: [навч. посіб.] / Л.М. Заміховський, В.П. Калявін – Івано-Франківськ: Полум'я», 2004. Гриф МОН України. – 360 с. – ISBN 966-7327-26-4.

101. В.С Кочетов, В.И. Кубанцев, А.А. Ларченко и др.; под ред. В.С. Кочетова. Автоматизация производственных процессов в промышленности строительных материалов. Изд. 3-е, перераб. И доп. Ленінград: Издательство Строиздат. Ленинградское отд-ние, 1986. 392 с.

102. Богданов, В.С., Борщевский А.А. и др.; под общ. Ред. А.С. Ильина. Технологические комплексы и линии для производства строительных материалов и изделий. Москва: изд-во АСВ; Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2000. 199 с.

103. Горбунов А. И., Улыпин В. А. Анализ технологических процессов производства керамического кирпича как объектов автоматизации. *Вісник СНУ іМ. В. Даля.* 2008. №. 5. С. 123.

104. Braid I. C, Lang C. A. Computer-aided design of mechanical components with volume building bricks. *Automatica*. 1974. Т. 10. №. 6. p. 635-642.

105. Чаудхари Р.Р., Остроух А.В, Суркова Н.Е., Чаудхари Р.Р. Автоматизация технологических процес сов кирпично-черепичного производства. *Цивилизация знаний: проблемы и перспективы социальных коммуникаций*: труды Тринадцатой Международной научной конференции, Москва, 20-21 апреля 2012 г. Росноу, 2012. С. 67-71.

106. Левицький І.Т. Аналіз вибірки металовключень у сипучій сировині в умовах ВАТ "Керамікбудсервіс". *Науковий журнал «Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля».* Луганськ, 2012. №8(179) ч.2. С. 91-95.

107. Заміховський Л.М., Левицький І.Т. Розробка безпровідної системи зв'язку для системи контролю металовключень у сипучій сировині. *«ТАК»: телекомунікації, автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології:* зб. доповідей Всеукр. наук.-практ. конф. молодих вчених, 29-30 листопада 2016 р. Покровськ: ДВНЗ «Дон-НТУ», 2016. С. 67-69 с.

108. Заміховський Л.М., Левицький І.Т. Система для безконтактного контролю металевих включень у сипучій сировині в умовах стрічкового конвеєру. *Інтелект. продукт вчених і винахід. Прикарпаття 2015: Щорічний каталог найвагом. винах., корисн. моделей, пром. зразків і рац. пропозицій Галицьких кмітливців*. Івано-Франківськ, 2015. С. 68-71.

109. Кузьминов А.Ю. Интерфейс RS232. Связь между компьютером и микроконтроллером. Москва: Издательство Радио и связь, 2004. 168 с.

110. Заміховський Л.М., Левицький І.Т. Розробка MODBUS-модуля підсистеми контролю металовключень для інтеграції в систему управління технологічним процесом виготовлення керамічних виробів. *Інтелект. продукт вчених і винахід. Прикарпаття: Щорічний каталог найвагом. винах., корисн. моделей, пром. зразків і рац. пропозицій Галицьких кмітливців*. Івано-Франківськ, 2018. С. 41-43.

111. Терехов В.А. Комплексный подход к созданию нового и модернизации действующего производства керамических стеновых материалов. *Строительные материалы*. 2003. №2. С. 8-12.

112. Остроух А.В., Тянь Ю.. Современные методы и подходы к построению систем управления производственно-технологической деятельностью промышленных предприятий. *Автоматизация и управление в технических системах.* 2013. № 1(3).

113. Заміховський Л.М., Николайчук М.Я., Левицький І.Т. Організація і тестування TCP-сервера системи збору і обробки технологічних параметрів. *Прикладні науково-технічні дослідження:* Матеріали III Міжнародної науково-практичної (3-5 квітня 2019 року). Івано-Франківськ, 2019р. С. 48.

114. Левицький І.Т. Розробка skada-системи для управління процесом діагностування, виявлення і видалення металовключень у сипучій сировині. *Методи і засоби діагностики в техніці і соціумі МіЗД ТС-2018*: матеріали VI(XXX) Міжн. міжвуз. - школи-семінару, 17-18 груд. 2018 р. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2018. С. 93-98.

115. Заміховський Л.М., Николайчук М.Я., Скрипюк Р.Б., Левицький І.Т.

Керування процесами реального часу. Модуль 3. Навчальні матеріали для курсу «Промислові мережі». TEMPUS-1-2013-DE- TEMPUS-JPHES. Тренінги по автоматизованим Технологіям України (ТАТУ), м. Одеса, 2017. 77с.

116. Белей А.Я., Левицький І.Т., Скрип'юк Р.Б., Щерб'юк А.Ю. Розробка апаратного Web-сервера збору та обробки даних для організації віддаленого доступу та управління об'єктами. *Сучасні інформаційні технології в дистанційній освіті:* ІІ-ий Всеукр. наук.-практ. семінар. Збірник тез доповідей (25-26 червня 2013р.). Івано-Франківськ, 2013. С. 59-61.

117. Левицький І.Т. Аспекти розробки віддаленої web-системи контролю металовключень у сипучій сировині. *Методи і засоби діагностики в техніці та соціумі (МіЗД ТС-2015)*. V (XXIX) Міжнародна міжвузівська школа семінар, (16-19 листопада 2015 року) Збірник матеріалів. Івано-Франківськ. Видавництво «Факел» ІФНТУНГ. 2015. С. 120-122 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Технічні параметри металодетектора МД-3

- габаритні розміри базового електронного блоку - 250*150*80 мм;
- вага близько 3 кг;
- габаритні розміри давача товщина 60 мм, довжина 550 мм, ширина залежить від ширини стрічки, вага близько 40кг.
- довжина з'єднувального кабелю до 15 м;
- споживана потужність - 5 Вт.
- максимальна чутливість спрацювання на сталеву кульку масою 100 гр. на відстані 400 мм від поверхні;
- діапазон температур -40 ÷ +60 ^{0}C;

Загальний вигляд металодектора зображено на рис. 1.

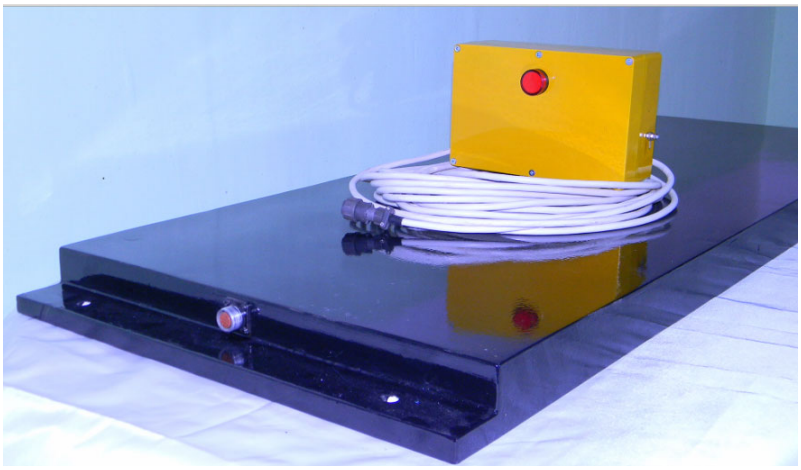


Рисунок 1 – Загальний вигляд системи МД-3

Додаток Б

УКРАЇНА

ПАТЕНТ

НА ВИНАХІД
№ 106959

СПОСІБ ЛОКАЛІЗАЦІЇ ТА ІДЕНТИФІКАЦІЇ МЕТАЛОВКЛЮЧЕНЬ У СИРОВИНІ НА СТРІЧКОВОМУ КОНВЕЄРІ ТА СИСТЕМА ДЛЯ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на винаходи **27.10.2014.**

Заступник Голови Державної служби інтелектуальної власності України Л.В. Висоцька

Державна служба інтелектуальної власності України
Ідентифікаційний код 37552556
№1

Додаток В

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор виробництва СВП
«Завод ПРОКЕРАМ» ТОВ
«Голд Кераміка»
Малярчук Я.І.
«08» червня 2021 р.

АКТ

Ми, що нижче підписались, представники СВП «Завод ПРОКЕРАМ» ТОВ «Голд Кераміка» головний енергетик Бойко І.В., головний технолог Сидоренко Т.Ю., начальник виробництва Невзоров В.В., та представники кафедри інформаційно-телекомунікаційних технологій і систем (ІТТС) Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ) завідувач кафедри ІТТС, д.т.н, професор Заміховський Л.М., к.т.н., доцент Николайчук М.Я. та асистент Левицький І.Т. склали цей акт в тому, що розроблена на кафедрі ІТТС підсистема ідентифікації і вилучення металевих включень, яка є складовою автоматизованої системи контролю за процесом підготовки сировини (глини), що базується на патенті України № 106959 (спосіб локалізації та ідентифікації металовключень у сировині на стрічковому конвеєрі та система для його реалізації) і дозволяє виявляти наявність металевих включень в сировині з автоматичним визначення їх координат на конвеєрній стрічці, пройшла промислову апробацію в період з лютого по червень 2021 року на лінії №1 і, на вимогу керівництва СВП «Завод ПРОКЕРАМ», може бути передана для подальшого впровадження.

Від **«Завод ПРОКЕРАМ»**
ТОВ «Голд Кераміка»

Головний енергетик
_____ Бойко І.В.
Головний технолог
_____ Сидоренко Т.Ю.
Начальник виробництва
_____ Невзоров В.В.

Від **ІФНТУНГ**

Зав. кафедри ІТТС, д.т.н., проф.
_____ Заміховський Л.М.
Доцент кафедри ІТТС, к.т.н.
_____ Николайчук М.Я.
Асистент кафедри ІТТС, асистент
_____ Левицький І.Т.

Додаток Г

ЗАТВЕРДЖУЮ
перший проректор ІФНТУНГ,
д.т.н., професор
Мандрик О.М.
«17» квітня 2021 р.

АКТ

впровадження матеріалів дисертації «Автоматизована система керування процесом підготовки сировини для виготовлення керамічних виробів із підсистемою ідентифікації та вилучення металевих включень» здобувача кафедри інформаційно-телекомунікаційних технологій і систем
Левицького І.Т. в навчальний процес

Ми, що нижче підписалися, директор інституту інформаційних технологій (ІІТ), д.т.н., проф. І.З. Лютак, завідувач кафедри Інформаційно-телекомунікаційних технологій і систем (ІТТС), д.т.н., проф. Л.М.Заміховський та здобувач кафедри ІТТС І.Т. Левицький, склали цей акт в тому, що матеріали дисертаційної роботи «Автоматизована система керування процесом підготовки сировини для виготовлення керамічних виробів із підсистемою ідентифікації та вилучення металевих включень» впроваджені в навчальний процес при вивченні дисциплін «Промислові системи автоматики» та «Проектування систем діагностування» освітньо-професійних програм «Комп'ютеризовані системи управління та автоматика» першого та другого рівнів вищої освіти за спеціальністю 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

Директор ІІТ, д.т.н., проф. І.З. Лютак
Завідувач кафедри ІТТС, д.т.н., проф. Л.М. Заміховський
Здобувач І.Т. Левицький

Додаток Д

Лістинг програми мікроконтролера для генератора сигналів
Файл main.cpp

```
/**
  ******************************************************************************
  * @file    DAC/DualModeDMA_SineWave/main.c
  ******************************************************************************
  */


/* Includes ------------------------------------------------------------------*/
#include "main.h"
#include "stm32f10x.h"
#include "usart.h"
#include <stdio.h>

/* Private typedef -----------------------------------------------------------*/
typedef enum { FAILED = 0, PASSED = !FAILED} TestStatus;
/* FILE struct is used from __FILE */
/* Private define ------------------------------------------------------------*/
#define DAC_DHR12RD_Address      0x40007420

/* Init Structure definition */
DAC_InitTypeDef            DAC_InitStructure;
DMA_InitTypeDef            DMA_InitStructure;
TIM_TimeBaseInitTypeDef    TIM_TimeBaseStructure;
TIM_OCInitTypeDef          TIM_OCInitStructure;
USART_InitTypeDef          USART_InitStructure;
NVIC_InitTypeDef           NVIC_InitStructure;
uint32_t Idx = 0;
uint16_t delay1ms;
char ch[30],chbn;

/* Private macro -------------------------------------------------------------*/
/* Private variables ---------------------------------------------------------*/
const uint16_t Sine12bit[32] = {
                    2047, 2447, 2831, 3185, 3498, 3750, 3939, 4056, 4095, 4056,
                    3939, 3750, 3495, 3185, 2831, 2447, 2047, 1647, 1263, 909,
                    599, 344, 155, 38, 0, 38, 155, 344, 599, 909, 1263, 1647};

uint32_t DualSine12bit[32];
/* Private function prototypes -----------------------------------------------*/

void RCC_Configuration(void);
void GPIO_Configuration(void);
void Delay(__IO uint32_t nCount);
void DMA_DAC_TIM2_Init(void);
void TIM3_1ms_Init(void);
void SET_DAC_Freq(uint32_t freq, uint32_t freq2);
void my_printf(char *buf);
char my_spi(char ch);
```

продовження Додатку Д

```
/* Private functions ---------------------------------------------------------*/
int main(void)
{

  /*!< At this stage the microcontroller clock setting is already configured,
       this is done through SystemInit() function which is called from startup
       file (startup_stm32f10x_xx.s) before to branch to application main.
       To reconfigure the default setting of SystemInit() function, refer to
       system_stm32f10x.c file
     */

  RCC_Configuration();         //частота кварца HSE=16МГц, AHB=(HSE / 2) * 6
                               //отже частота шини 48МГц

  GPIO_Configuration();
  DMA_DAC_TIM2_Init();
  Usart1Init(48000000,14400);
  TIM3_1ms_Init();
  SET_DAC_Freq(48000000,1000);
  my_spi(0x04);
  sprintf(ch,"Restart");
  my_printf(ch);

//  TIM_TimeBaseStructInit(&TIM_TimeBaseStructure);
  //частота тактування таймера
  TIM_TimeBaseStructure.TIM_Period = 2;
  TIM_TimeBaseStructure.TIM_Prescaler = 0;
  TIM_TimeBaseStructure.TIM_ClockDivision = 0;
  TIM_TimeBaseStructure.TIM_CounterMode = TIM_CounterMode_Up;
  TIM_TimeBaseInit(TIM4, &TIM_TimeBaseStructure);
  /* Output Compare Toggle Mode configuration: Channel1 */
  TIM_OCInitStructure.TIM_OCMode = TIM_OCMode_Toggle;
  TIM_OCInitStructure.TIM_OutputState = TIM_OutputState_Enable;
  TIM_OCInitStructure.TIM_Pulse = 2;
  TIM_OCInitStructure.TIM_OCPolarity = TIM_OCPolarity_Low;
  TIM_OC4Init(TIM4, &TIM_OCInitStructure);
  TIM_OC4PreloadConfig(TIM4, TIM_OCPreload_Disable);
  /* TIM enable counter */
  TIM_Cmd(TIM4, ENABLE);

  while (1)
  {
    GPIOB->BSRR=GPIO_BSRR_BR8;
    //delay1ms=10;while(delay1ms);
    //printf("\r\n USART1 Test \r\n");
    if (BufferIsEmpty(U1Rx)==ERROR)
    { chbn=Usart1Get();
      switch (chbn)
      {
      case 0x10:
        sprintf(ch,"Sample %d/n",32);
```

продовження Додатку Д

```
        my_printf(ch);
        break;
      case 0x20:
         SET_DAC_Freq(48000000,2000);
         break;
      case 0x30:
          SET_DAC_Freq(48000000,((uint16_t)Usart1Get()<<8) | Usart1Get());
         break;
      case 0x40:
         my_spi(Usart1Get());
         break;
      default:
        Usart1Put(chbn);
      }

    }
    GPIOB->BSRR=GPIO_BRR_BR8;
    delay1ms=1;while(delay1ms);


  }
}

void RCC_Configuration(void){
  /* Enable peripheral clocks ------------------------------------------------*/
  /* DMA1 clock enable */
  RCC_AHBPeriphClockCmd(RCC_AHBPeriph_DMA1, ENABLE);
  /* GPIOA Periph clock enable */
  RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2Periph_GPIOA, ENABLE);
  RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2Periph_GPIOB, ENABLE);
  /* DAC Periph clock enable */
  RCC_APB1PeriphClockCmd(RCC_APB1Periph_DAC, ENABLE);
  /* TIM2 Periph clock enable */
  RCC_APB1PeriphClockCmd(RCC_APB1Periph_TIM2, ENABLE);
  RCC_APB1PeriphClockCmd(RCC_APB1Periph_TIM3, ENABLE);
  RCC_APB1PeriphClockCmd(RCC_APB1Periph_TIM4, ENABLE);
}
void GPIO_Configuration(void){
  GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStructure;

  /* Once the DAC channel is enabled, the corresponding GPIO pin is automatically
     connected to the DAC converter. In order to avoid parasitic consumption,
     the GPIO pin should be configured in analog */
  GPIOB->CRL=0x11111111;       //
  GPIOB->CRH=0x11111111;       //
  GPIOA->CRL=0x11111111;
  GPIOA->CRH=0x11111111;

  //настроїти 2 контакти ЦАП
  GPIO_InitStructure.GPIO_Pin =  GPIO_Pin_4 | GPIO_Pin_5;
  GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AIN;
```

продовження Додатку Д

```
GPIO_Init(GPIOA, &GPIO_InitStructure);

  //настроїти 3 контакти spi на вихід
  GPIO_InitStructure.GPIO_Pin =  MISO | SCLK | LATCH;
  GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_Out_PP;
  GPIO_InitStructure.GPIO_Speed= GPIO_Speed_10MHz;
  GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStructure);


  //настроїти 1 контакт spi на вхід
  GPIO_InitStructure.GPIO_Pin =  MOSI;
  GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_IPU;
  GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStructure);

  //такти АЦП  ADC_CLK
  GPIO_InitStructure.GPIO_Pin =  GPIO_Pin_9;
  GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AF_PP;
  //GPIO_InitStructure.GPIO_Speed= GPIO_Speed_10MHz;
  GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStructure);


  GPIO_InitStructure.GPIO_Pin =  GPIO_Pin_8;
  GPIO_InitStructure.GPIO_Mode = GPIO_Mode_Out_PP;
  GPIO_InitStructure.GPIO_Speed= GPIO_Speed_10MHz;
  GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStructure);
}
void DMA_DAC_TIM2_Init(void){
  /* TIM2 Configuration */
  /* Time base configuration */
  TIM_TimeBaseStructInit(&TIM_TimeBaseStructure);
  TIM_TimeBaseStructure.TIM_Period = 0x3a98; //0x19;
  TIM_TimeBaseStructure.TIM_Prescaler = 0x0;
  TIM_TimeBaseStructure.TIM_ClockDivision = 0x0;
  TIM_TimeBaseStructure.TIM_CounterMode = TIM_CounterMode_Up;
  TIM_TimeBaseInit(TIM2, &TIM_TimeBaseStructure);
  /* TIM2 TRGO selection */
  TIM_SelectOutputTrigger(TIM2, TIM_TRGOSource_Update);

  /* DAC channel1 Configuration */
  DAC_InitStructure.DAC_Trigger = DAC_Trigger_T2_TRGO;
  DAC_InitStructure.DAC_WaveGeneration = DAC_WaveGeneration_None;
  DAC_InitStructure.DAC_OutputBuffer = DAC_OutputBuffer_Disable;
  DAC_Init(DAC_Channel_1, &DAC_InitStructure);
  /* DAC channel2 Configuration */
  DAC_Init(DAC_Channel_2, &DAC_InitStructure);
  /* Fill Sine32bit table */
  for (Idx = 0; Idx < 32; Idx++)
  {
    DualSine12bit[Idx] = (Sine12bit[Idx]);
    if (Idx==0) DualSine12bit[Idx] += 4000<<16;
    if (Idx==8) DualSine12bit[Idx] += 4000<<16;
```

продовження Додатку Д

```
if (Idx==16) DualSine12bit[Idx] += 4000<<16;
    if (Idx==24) DualSine12bit[Idx] += 4000<<16;
  }

    /* DMA1 channel4 configuration */
  DMA_DeInit(DMA1_Channel4);
  DMA_InitStructure.DMA_PeripheralBaseAddr = DAC_DHR12RD_Address;
  DMA_InitStructure.DMA_MemoryBaseAddr = (uint32_t)&DualSine12bit;
  DMA_InitStructure.DMA_DIR = DMA_DIR_PeripheralDST;
  DMA_InitStructure.DMA_BufferSize = 32;
  DMA_InitStructure.DMA_PeripheralInc = DMA_PeripheralInc_Disable;
  DMA_InitStructure.DMA_MemoryInc = DMA_MemoryInc_Enable;
  DMA_InitStructure.DMA_PeripheralDataSize = DMA_PeripheralDataSize_Word;
  DMA_InitStructure.DMA_MemoryDataSize = DMA_MemoryDataSize_Word;
  DMA_InitStructure.DMA_Mode = DMA_Mode_Circular;
  DMA_InitStructure.DMA_Priority = DMA_Priority_High;
  DMA_InitStructure.DMA_M2M = DMA_M2M_Disable;

  DMA_Init(DMA1_Channel4, &DMA_InitStructure);/* Enable DMA1 Channel4 */
    DMA_Cmd(DMA1_Channel4, ENABLE);
  /* Enable DAC Channel1: Once the DAC channel1 is enabled, PA.04 is
     automatically connected to the DAC converter. */
  DAC_Cmd(DAC_Channel_1, ENABLE);
  /* Enable DAC Channel2: Once the DAC channel2 is enabled, PA.05 is
     automatically connected to the DAC converter. */
  DAC_Cmd(DAC_Channel_2, ENABLE);
  DAC_DMACmd(DAC_Channel_2, ENABLE);/* Enable DMA for DAC Channel2 */

  /* TIM2 enable counter */
  TIM_Cmd(TIM2, ENABLE);
};
void Delay(__IO uint32_t nCount){
  for(; nCount != 0; nCount--);
}
void TIM3_1ms_Init(void){
  TIM_TimeBaseStructInit(&TIM_TimeBaseStructure);
  TIM_TimeBaseStructure.TIM_Period = 0xbb80; //при freq=48МГц має бути 1мс
  TIM_TimeBaseStructure.TIM_Prescaler = 0x0;
  TIM_TimeBaseStructure.TIM_ClockDivision = 0x0;
  TIM_TimeBaseStructure.TIM_CounterMode = TIM_CounterMode_Up;
  TIM_TimeBaseInit(TIM3, &TIM_TimeBaseStructure);

  NVIC_InitTypeDef NVIC_InitStructure;//configure NVIC
  NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannel = TIM3_IRQn;//select NVIC channel to configure
  NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelPreemptionPriority = 0x0F;//set priority to lowest
  NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelSubPriority = 0x0F;//set subpriority to lowest
  NVIC_InitStructure.NVIC_IRQChannelCmd = ENABLE;//enable IRQ channel
  NVIC_Init(&NVIC_InitStructure);//update NVIC registers

  TIM_Cmd(TIM3, ENABLE);
```

продовження Додатку Д

```
TIM_ITConfig(TIM3,TIM_IT_Update,ENABLE);
 };
void SET_DAC_Freq(uint32_t freq,uint32_t freq2){
  //задати частоту коливань
  //частота таймера ділиться на Period і на 32
  TIM_TimeBaseStructInit(&TIM_TimeBaseStructure);
  TIM_TimeBaseStructure.TIM_Period = freq/32/freq2; //0x19;
  TIM_TimeBaseStructure.TIM_Prescaler = 0x0;
  TIM_TimeBaseStructure.TIM_ClockDivision = 0x0;
  TIM_TimeBaseStructure.TIM_CounterMode = TIM_CounterMode_Up;
  TIM_TimeBaseInit(TIM2, &TIM_TimeBaseStructure);
};
void my_printf(char *buf){
  uint8_t i=0;
  while (buf[i])
    Usart1Put(buf[i++]);
};
#ifdef  USE_FULL_ASSERT
void assert_failed(uint8_t* file, uint32_t line)
{
  /* User can add his own implementation to report the file name and line number,
     ex: printf("Wrong parameters value: file %s on line %d\r\n", file, line) */
  while (1)  {}
}
#endif
char my_spi(char ch){   //виствити дані в SPI
  char i,tmp=0;
  for(i=0;i<8;i++)
  {
    if (GPIO_ReadInputDataBit (GPIOB,MOSI)) tmp=tmp | (1<<i);
    if (ch & (0x80>>i)) GPIO_WriteBit(GPIOB,MISO,Bit_SET); else
GPIO_WriteBit(GPIOB,MISO,Bit_RESET);
    GPIO_WriteBit(GPIOB,SCLK,Bit_SET);GPIO_WriteBit(GPIOB,SCLK,Bit_RESET);
  }
  GPIO_WriteBit(GPIOB,LATCH,Bit_SET);GPIO_WriteBit(GPIOB,LATCH,Bit_RESET);
  GPIO_WriteBit(GPIOB,MISO,Bit_RESET);
  return tmp;
}
```

продовження Додатку Д

Файл main.h

```
#define TxBufferSize1   8
#define RxBufferSize1   8
#define cpu_clock 48000000
#define BUFFERED

#define MOSI  GPIO_Pin_15   //PB15     input spi
#define MISO  GPIO_Pin_14   //PB14     output spi
#define SCLK  GPIO_Pin_12   //PB12     output spi
#define LATCH GPIO_Pin_13   //PB13     output spi
```

Файл system_stm32f10x.c

```
/**
  ******************************************************************************
  * @file    DAC/DualModeDMA_SineWave/system_stm32f10x.c
  * @author  MCD Application Team
  * @version V3.5.0
  * @date    08-April-2011
  * @brief   CMSIS Cortex-M3 Device Peripheral Access Layer System Source File.
  *
  * 1.  This file provides two functions and one global variable to be called from
  *     user application:
  *      - SystemInit(): Setups the system clock (System clock source, PLL Multiplier
  *                      factors, AHB/APBx prescalers and Flash settings).
  *                      This function is called at startup just after reset and
  *                      before branch to main program. This call is made inside
  *                      the "startup_stm32f10x_xx.s" file.
  *
  *      - SystemCoreClock variable: Contains the core clock (HCLK), it can be used
  *                           by the user application to setup the SysTick
  *                           timer or configure other parameters.
  *
  *      - SystemCoreClockUpdate(): Updates the variable SystemCoreClock and must
  *                           be called whenever the core clock is changed
  *                           during program execution.
  *
  * 2. After each device reset the HSI (8 MHz) is used as system clock source.
  *    Then SystemInit() function is called, in "startup_stm32f10x_xx.s" file, to
  *    configure the system clock before to branch to main program.
  *
  * 3. If the system clock source selected by user fails to startup, the SystemInit()
  *    function will do nothing and HSI still used as system clock source. User can
  *    add some code to deal with this issue inside the SetSysClock() function.
  *
  * 4. The default value of HSE crystal is set to 8 MHz (or 25 MHz, depedning on
  *    the product used), refer to "HSE_VALUE" define in "stm32f10x.h" file.
  *    When HSE is used as system clock source, directly or through PLL, and you
  *    are using different crystal you have to adapt the HSE value to your own
```

продовження Додатку Д

```
  *    configuration.
  *
  ******************************************************************************
  * @attention
  *
  * THE PRESENT FIRMWARE WHICH IS FOR GUIDANCE ONLY AIMS AT PROVIDING
CUSTOMERS
  * WITH CODING INFORMATION REGARDING THEIR PRODUCTS IN ORDER FOR
THEM TO SAVE
  * TIME. AS A RESULT, STMICROELECTRONICS SHALL NOT BE HELD LIABLE FOR
ANY
  * DIRECT, INDIRECT OR CONSEQUENTIAL DAMAGES WITH RESPECT TO ANY
CLAIMS ARISING
  * FROM THE CONTENT OF SUCH FIRMWARE AND/OR THE USE MADE BY
CUSTOMERS OF THE
  * CODING INFORMATION CONTAINED HEREIN IN CONNECTION WITH THEIR
PRODUCTS.
  *
  * <h2><center>&copy; COPYRIGHT 2011 STMicroelectronics</center></h2>
  ******************************************************************************
  */

/** @addtogroup CMSIS
  * @{
  */

/** @addtogroup stm32f10x_system
  * @{
  */

/** @addtogroup STM32F10x_System_Private_Includes
  * @{
  */

#include "stm32f10x.h"

/**
  * @}
  */

/** @addtogroup STM32F10x_System_Private_TypesDefinitions
  * @{
  */

/**
  * @}
  */

/** @addtogroup STM32F10x_System_Private_Defines
  * @{
```

продовження Додатку Д

```
  */

/*!< Uncomment the line corresponding to the desired System clock (SYSCLK)
   frequency (after reset the HSI is used as SYSCLK source)

   IMPORTANT NOTE:
   ==============
   1. After each device reset the HSI is used as System clock source.

   2. Please make sure that the selected System clock doesn't exceed your device's
      maximum frequency.

   3. If none of the define below is enabled, the HSI is used as System clock
    source.

   4. The System clock configuration functions provided within this file assume that:
       - For Low, Medium and High density Value line devices an external 8MHz
         crystal is used to drive the System clock.
       - For Low, Medium and High density devices an external 8MHz crystal is
         used to drive the System clock.
       - For Connectivity line devices an external 25MHz crystal is used to drive
         the System clock.
    If you are using different crystal you have to adapt those functions accordingly.
   */

#if defined (STM32F10X_LD_VL) || (defined STM32F10X_MD_VL) || (defined
STM32F10X_HD_VL)
/* #define SYSCLK_FREQ_HSE    HSE_VALUE */
 #define SYSCLK_FREQ_24MHz  24000000
#else
/* #define SYSCLK_FREQ_HSE    HSE_VALUE */
/* #define SYSCLK_FREQ_24MHz  24000000 */
/* #define SYSCLK_FREQ_36MHz  36000000 */
/* #define SYSCLK_FREQ_48MHz  48000000 */
/* #define SYSCLK_FREQ_56MHz  56000000 */
#define SYSCLK_FREQ_72MHz  72000000
#endif

/*!< Uncomment the following line if you need to use external SRAM mounted
     on STM3210E-EVAL board (STM32 High density and XL-density devices) or on
     STM32100E-EVAL board (STM32 High-density value line devices) as data memory */
#if defined (STM32F10X_HD) || (defined STM32F10X_XL) || (defined STM32F10X_HD_VL)
/* #define DATA_IN_ExtSRAM */
#endif

/*!< Uncomment the following line if you need to relocate your vector Table in
     Internal SRAM. */
/* #define VECT_TAB_SRAM */
```

продовження Додатку Д

```
#define VECT_TAB_OFFSET  0x0 /*!< Vector Table base offset field.
                              This value must be a multiple of 0x200. */


/**
  * @}
  */

/** @addtogroup STM32F10x_System_Private_Macros
  * @{
  */

/**
  * @}
  */

/** @addtogroup STM32F10x_System_Private_Variables
  * @{
  */

/*******************************************************************************
*  Clock Definitions
*******************************************************************************/
#ifdef SYSCLK_FREQ_HSE
  uint32_t SystemCoreClock         = SYSCLK_FREQ_HSE;       /*!< System Clock
Frequency (Core Clock) */
#elif defined SYSCLK_FREQ_24MHz
  uint32_t SystemCoreClock         = SYSCLK_FREQ_24MHz;       /*!< System Clock
Frequency (Core Clock) */
#elif defined SYSCLK_FREQ_36MHz
  uint32_t SystemCoreClock         = SYSCLK_FREQ_36MHz;       /*!< System Clock
Frequency (Core Clock) */
#elif defined SYSCLK_FREQ_48MHz
  uint32_t SystemCoreClock         = SYSCLK_FREQ_48MHz;       /*!< System Clock
Frequency (Core Clock) */
#elif defined SYSCLK_FREQ_56MHz
  uint32_t SystemCoreClock         = SYSCLK_FREQ_56MHz;       /*!< System Clock
Frequency (Core Clock) */
#elif defined SYSCLK_FREQ_72MHz
  uint32_t SystemCoreClock         = SYSCLK_FREQ_72MHz;       /*!< System Clock
Frequency (Core Clock) */
#else /*!< HSI Selected as System Clock source */
  uint32_t SystemCoreClock         = HSI_VALUE;       /*!< System Clock Frequency (Core
Clock) */
#endif

__I uint8_t AHBPrescTable[16] = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9};
/**
  * @}
  */
```

продовження Додатку Д

```
/** @addtogroup STM32F10x_System_Private_FunctionPrototypes
  * @{
  */

static void SetSysClock(void);

#ifdef SYSCLK_FREQ_HSE
  static void SetSysClockToHSE(void);
#elif defined SYSCLK_FREQ_24MHz
  static void SetSysClockTo24(void);
#elif defined SYSCLK_FREQ_36MHz
  static void SetSysClockTo36(void);
#elif defined SYSCLK_FREQ_48MHz
  static void SetSysClockTo48(void);
#elif defined SYSCLK_FREQ_56MHz
  static void SetSysClockTo56(void);
#elif defined SYSCLK_FREQ_72MHz
  static void SetSysClockTo72(void);
#endif

#ifdef DATA_IN_ExtSRAM
  static void SystemInit_ExtMemCtl(void);
#endif /* DATA_IN_ExtSRAM */

/**
  * @}
  */

/** @addtogroup STM32F10x_System_Private_Functions
  * @{
  */

/**
  * @brief  Setup the microcontroller system
  *         Initialize the Embedded Flash Interface, the PLL and update the
  *         SystemCoreClock variable.
  * @note   This function should be used only after reset.
  * @param  None
  * @retval None
  */
void SystemInit (void)
{
  /* Reset the RCC clock configuration to the default reset state(for debug purpose) */
  /* Set HSION bit */
  RCC->CR |= (uint32_t)0x00000001;

  /* Reset SW, HPRE, PPRE1, PPRE2, ADCPRE and MCO bits */
#ifndef STM32F10X_CL
  RCC->CFGR &= (uint32_t)0xF8FF0000;
```

продовження Додатку Д

```
#else
  RCC->CFGR &= (uint32_t)0xF0FF0000;
#endif /* STM32F10X_CL */

  /* Reset HSEON, CSSON and PLLON bits */
  RCC->CR &= (uint32_t)0xFEF6FFFF;

  /* Reset HSEBYP bit */
  RCC->CR &= (uint32_t)0xFFFBFFFF;

  /* Reset PLLSRC, PLLXTPRE, PLLMUL and USBPRE/OTGFSPRE bits */
  RCC->CFGR &= (uint32_t)0xFF80FFFF;

#ifdef STM32F10X_CL
  /* Reset PLL2ON and PLL3ON bits */
  RCC->CR &= (uint32_t)0xEBFFFFFF;

  /* Disable all interrupts and clear pending bits  */
  RCC->CIR = 0x00FF0000;

  /* Reset CFGR2 register */
  RCC->CFGR2 = 0x00000000;
#elif defined (STM32F10X_LD_VL) || defined (STM32F10X_MD_VL) || (defined
STM32F10X_HD_VL)
  /* Disable all interrupts and clear pending bits  */
  RCC->CIR = 0x009F0000;

  /* Reset CFGR2 register */
  RCC->CFGR2 = 0x00000000;
#else
  /* Disable all interrupts and clear pending bits  */
  RCC->CIR = 0x009F0000;
#endif /* STM32F10X_CL */

#if defined (STM32F10X_HD) || (defined STM32F10X_XL) || (defined STM32F10X_HD_VL)
  #ifdef DATA_IN_ExtSRAM
    SystemInit_ExtMemCtl();
  #endif /* DATA_IN_ExtSRAM */
#endif

  /* Configure the System clock frequency, HCLK, PCLK2 and PCLK1 prescalers */
  /* Configure the Flash Latency cycles and enable prefetch buffer */
  SetSysClock();

#ifdef VECT_TAB_SRAM
  SCB->VTOR = SRAM_BASE | VECT_TAB_OFFSET; /* Vector Table Relocation in
Internal SRAM. */
#else
```

продовження Додатку Д

```
  SCB->VTOR = FLASH_BASE | VECT_TAB_OFFSET; /* Vector Table Relocation in
Internal FLASH. */
#endif
}

/**
  * @brief  Update SystemCoreClock variable according to Clock Register Values.
  *         The SystemCoreClock variable contains the core clock (HCLK), it can
  *         be used by the user application to setup the SysTick timer or configure
  *         other parameters.
  *
  * @note   Each time the core clock (HCLK) changes, this function must be called
  *         to update SystemCoreClock variable value. Otherwise, any configuration
  *         based on this variable will be incorrect.
  *
  * @note   - The system frequency computed by this function is not the real
  *           frequency in the chip. It is calculated based on the predefined
  *           constant and the selected clock source:
  *
  *           - If SYSCLK source is HSI, SystemCoreClock will contain the HSI_VALUE(*)
  *
  *           - If SYSCLK source is HSE, SystemCoreClock will contain the HSE_VALUE(**)
  *
  *           - If SYSCLK source is PLL, SystemCoreClock will contain the HSE_VALUE(**)
  *             or HSI_VALUE(*) multiplied by the PLL factors.
  *
  *         (*) HSI_VALUE is a constant defined in stm32f1xx.h file (default value
  *             8 MHz) but the real value may vary depending on the variations
  *             in voltage and temperature.
  *
  *         (**) HSE_VALUE is a constant defined in stm32f1xx.h file (default value
  *              8 MHz or 25 MHz, depedning on the product used), user has to ensure
  *              that HSE_VALUE is same as the real frequency of the crystal used.
  *              Otherwise, this function may have wrong result.
  *
  *         - The result of this function could be not correct when using fractional
  *           value for HSE crystal.
  * @param  None
  * @retval None
  */
void SystemCoreClockUpdate (void)
{
  uint32_t tmp = 0, pllmull = 0, pllsource = 0;

#ifdef  STM32F10X_CL
  uint32_t prediv1source = 0, prediv1factor = 0, prediv2factor = 0, pll2mull = 0;
#endif /* STM32F10X_CL */
```

продовження Додатку Д

```
#if defined (STM32F10X_LD_VL) || defined (STM32F10X_MD_VL) || (defined
STM32F10X_HD_VL)
  uint32_t prediv1factor = 0;
#endif /* STM32F10X_LD_VL or STM32F10X_MD_VL or STM32F10X_HD_VL */

  /* Get SYSCLK source -------------------------------------------------------*/
  tmp = RCC->CFGR & RCC_CFGR_SWS;

  switch (tmp)
  {
    case 0x00:  /* HSI used as system clock */
      SystemCoreClock = HSI_VALUE;
      break;
    case 0x04:  /* HSE used as system clock */
      SystemCoreClock = HSE_VALUE;
      break;
    case 0x08:  /* PLL used as system clock */

      /* Get PLL clock source and multiplication factor ----------------------*/
      pllmull = RCC->CFGR & RCC_CFGR_PLLMULL;
      pllsource = RCC->CFGR & RCC_CFGR_PLLSRC;

#ifndef STM32F10X_CL
      pllmull = ( pllmull >> 18) + 2;

      if (pllsource == 0x00)
      {
        /* HSI oscillator clock divided by 2 selected as PLL clock entry */
        SystemCoreClock = (HSI_VALUE >> 1) * pllmull;
      }
      else
      {
 #if defined (STM32F10X_LD_VL) || defined (STM32F10X_MD_VL) || (defined
STM32F10X_HD_VL)
       prediv1factor = (RCC->CFGR2 & RCC_CFGR2_PREDIV1) + 1;
       /* HSE oscillator clock selected as PREDIV1 clock entry */
       SystemCoreClock = (HSE_VALUE / prediv1factor) * pllmull;
 #else
        /* HSE selected as PLL clock entry */
        if ((RCC->CFGR & RCC_CFGR_PLLXTPRE) != (uint32_t)RESET)
        {/* HSE oscillator clock divided by 2 */
          SystemCoreClock = (HSE_VALUE >> 1) * pllmull;
        }
        else
        {
          SystemCoreClock = HSE_VALUE * pllmull;
        }
 #endif
      }
#else
```

продовження Додатку Д

```
    pllmull = pllmull >> 18;

    if (pllmull != 0x0D)
    {
       pllmull += 2;
    }
    else
    { /* PLL multiplication factor = PLL input clock * 6.5 */
      pllmull = 13 / 2;
    }

    if (pllsource == 0x00)
    {
      /* HSI oscillator clock divided by 2 selected as PLL clock entry */
      SystemCoreClock = (HSI_VALUE >> 1) * pllmull;
    }
    else
    {/* PREDIV1 selected as PLL clock entry */

      /* Get PREDIV1 clock source and division factor */
      prediv1source = RCC->CFGR2 & RCC_CFGR2_PREDIV1SRC;
      prediv1factor = (RCC->CFGR2 & RCC_CFGR2_PREDIV1) + 1;

      if (prediv1source == 0)
      {
        /* HSE oscillator clock selected as PREDIV1 clock entry */
        SystemCoreClock = (HSE_VALUE / prediv1factor) * pllmull;
      }
      else
      {/* PLL2 clock selected as PREDIV1 clock entry */

        /* Get PREDIV2 division factor and PLL2 multiplication factor */
        prediv2factor = ((RCC->CFGR2 & RCC_CFGR2_PREDIV2) >> 4) + 1;
        pll2mull = ((RCC->CFGR2 & RCC_CFGR2_PLL2MUL) >> 8 ) + 2;
        SystemCoreClock = (((HSE_VALUE / prediv2factor) * pll2mull) / prediv1factor) *
pllmull;
       }
    }
#endif /* STM32F10X_CL */
    break;

   default:
    SystemCoreClock = HSI_VALUE;
    break;
 }

 /* Compute HCLK clock frequency ----------------*/
 /* Get HCLK prescaler */
 tmp = AHBPrescTable[((RCC->CFGR & RCC_CFGR_HPRE) >> 4)];
 /* HCLK clock frequency */
```

продовження Додатку Д

```
  SystemCoreClock >>= tmp;
}

/**
  * @brief  Configures the System clock frequency, HCLK, PCLK2 and PCLK1 prescalers.
  * @param  None
  * @retval None
  */
static void SetSysClock(void)
{
#ifdef SYSCLK_FREQ_HSE
  SetSysClockToHSE();
#elif defined SYSCLK_FREQ_24MHz
  SetSysClockTo24();
#elif defined SYSCLK_FREQ_36MHz
  SetSysClockTo36();
#elif defined SYSCLK_FREQ_48MHz
  SetSysClockTo48();
#elif defined SYSCLK_FREQ_56MHz
  SetSysClockTo56();
#elif defined SYSCLK_FREQ_72MHz
  SetSysClockTo72();
#endif

 /* If none of the define above is enabled, the HSI is used as System clock
    source (default after reset) */
}

/**
  * @brief  Setup the external memory controller. Called in startup_stm32f10x.s
  *          before jump to __main
  * @param  None
  * @retval None
  */
#ifdef DATA_IN_ExtSRAM
/**
  * @brief  Setup the external memory controller.
  *         Called in startup_stm32f10x_xx.s/.c before jump to main.
  *             This function configures the external SRAM mounted on STM3210E-EVAL
  *         board (STM32 High density devices). This SRAM will be used as program
  *         data memory (including heap and stack).
  * @param  None
  * @retval None
  */
void SystemInit_ExtMemCtl(void)
{
/*!< FSMC Bank1 NOR/SRAM3 is used for the STM3210E-EVAL, if another Bank is
  required, then adjust the Register Addresses */
```

продовження Додатку Д

```
  /* Enable FSMC clock */
  RCC->AHBENR = 0x00000114;

  /* Enable GPIOD, GPIOE, GPIOF and GPIOG clocks */
  RCC->APB2ENR = 0x000001E0;

/* ----------------  SRAM Data lines, NOE and NWE configuration ----------------*/
/*----------------  SRAM Address lines configuration -------------------------*/
/*----------------  NOE and NWE configuration --------------------------------*/
/*----------------  NE3 configuration ----------------------------------------*/
/*----------------  NBL0, NBL1 configuration ---------------------------------*/

  GPIOD->CRL = 0x44BB44BB;
  GPIOD->CRH = 0xBBBBBBBB;

  GPIOE->CRL = 0xB44444BB;
  GPIOE->CRH = 0xBBBBBBBB;

  GPIOF->CRL = 0x44BBBBBB;
  GPIOF->CRH = 0xBBBB4444;

  GPIOG->CRL = 0x44BBBBBB;
  GPIOG->CRH = 0x44444B44;

/*----------------  FSMC Configuration ----------------------------------------*/
/*----------------  Enable FSMC Bank1_SRAM Bank -------------------------------*/

  FSMC_Bank1->BTCR[4] = 0x00001011;
  FSMC_Bank1->BTCR[5] = 0x00000200;
}
#endif /* DATA_IN_ExtSRAM */

#ifdef SYSCLK_FREQ_HSE
/**
  * @brief  Selects HSE as System clock source and configure HCLK, PCLK2
  *         and PCLK1 prescalers.
  * @note   This function should be used only after reset.
  * @param  None
  * @retval None
  */
static void SetSysClockToHSE(void)
{
  __IO uint32_t StartUpCounter = 0, HSEStatus = 0;

  /* SYSCLK, HCLK, PCLK2 and PCLK1 configuration ---------------------------*/
  /* Enable HSE */
  RCC->CR |= ((uint32_t)RCC_CR_HSEON);

  /* Wait till HSE is ready and if Time out is reached exit */
  Do
```

продовження Додатку Д

```
  {
    HSEStatus = RCC->CR & RCC_CR_HSERDY;
    StartUpCounter++;
  } while((HSEStatus == 0) && (StartUpCounter != HSE_STARTUP_TIMEOUT));

  if ((RCC->CR & RCC_CR_HSERDY) != RESET)
  {
    HSEStatus = (uint32_t)0x01;
  }
  else
  {
    HSEStatus = (uint32_t)0x00;
  }

  if (HSEStatus == (uint32_t)0x01)
  {

#if !defined STM32F10X_LD_VL && !defined STM32F10X_MD_VL && !defined
STM32F10X_HD_VL
    /* Enable Prefetch Buffer */
    FLASH->ACR |= FLASH_ACR_PRFTBE;

    /* Flash 0 wait state */
    FLASH->ACR &= (uint32_t)((uint32_t)~FLASH_ACR_LATENCY);

#ifndef STM32F10X_CL
    FLASH->ACR |= (uint32_t)FLASH_ACR_LATENCY_0;
#else
    if (HSE_VALUE <= 24000000)
        {
      FLASH->ACR |= (uint32_t)FLASH_ACR_LATENCY_0;
        }
        else
        {
      FLASH->ACR |= (uint32_t)FLASH_ACR_LATENCY_1;
        }
#endif /* STM32F10X_CL */
#endif

    /* HCLK = SYSCLK */
    RCC->CFGR |= (uint32_t)RCC_CFGR_HPRE_DIV1;

    /* PCLK2 = HCLK */
    RCC->CFGR |= (uint32_t)RCC_CFGR_PPRE2_DIV1;

    /* PCLK1 = HCLK */
    RCC->CFGR |= (uint32_t)RCC_CFGR_PPRE1_DIV1;

    /* Select HSE as system clock source */
    RCC->CFGR &= (uint32_t)((uint32_t)~(RCC_CFGR_SW));
```

продовження Додатку Д

```
    RCC->CFGR |= (uint32_t)RCC_CFGR_SW_HSE;

    /* Wait till HSE is used as system clock source */
    while ((RCC->CFGR & (uint32_t)RCC_CFGR_SWS) != (uint32_t)0x04)
    {
    }
  }
  else
  { /* If HSE fails to start-up, the application will have wrong clock
         configuration. User can add here some code to deal with this error */
  }
}
#elif defined SYSCLK_FREQ_24MHz
/**
  * @brief  Sets System clock frequency to 24MHz and configure HCLK, PCLK2
  *         and PCLK1 prescalers.
  * @note   This function should be used only after reset.
  * @param  None
  * @retval None
  */
static void SetSysClockTo24(void)
{
  __IO uint32_t StartUpCounter = 0, HSEStatus = 0;

  /* SYSCLK, HCLK, PCLK2 and PCLK1 configuration ---------------------------*/
  /* Enable HSE */
  RCC->CR |= ((uint32_t)RCC_CR_HSEON);

  /* Wait till HSE is ready and if Time out is reached exit */
  do
  {
    HSEStatus = RCC->CR & RCC_CR_HSERDY;
    StartUpCounter++;
  } while((HSEStatus == 0) && (StartUpCounter != HSE_STARTUP_TIMEOUT));

  if ((RCC->CR & RCC_CR_HSERDY) != RESET)
  {
    HSEStatus = (uint32_t)0x01;
  }
  else
  {
    HSEStatus = (uint32_t)0x00;
  }

  if (HSEStatus == (uint32_t)0x01)
  {
#if !defined STM32F10X_LD_VL && !defined STM32F10X_MD_VL && !defined
STM32F10X_HD_VL
    /* Enable Prefetch Buffer */
    FLASH->ACR |= FLASH_ACR_PRFTBE;
```

продовження Додатку Д

```
  /* Flash 0 wait state */
  FLASH->ACR &= (uint32_t)((uint32_t)~FLASH_ACR_LATENCY);
  FLASH->ACR |= (uint32_t)FLASH_ACR_LATENCY_0;
#endif

  /* HCLK = SYSCLK */
  RCC->CFGR |= (uint32_t)RCC_CFGR_HPRE_DIV1;

  /* PCLK2 = HCLK */
  RCC->CFGR |= (uint32_t)RCC_CFGR_PPRE2_DIV1;

  /* PCLK1 = HCLK */
  RCC->CFGR |= (uint32_t)RCC_CFGR_PPRE1_DIV1;

#ifdef STM32F10X_CL
  /* Configure PLLs ------------------------------------------------------*/
  /* PLL configuration: PLLCLK = PREDIV1 * 6 = 24 MHz */
  RCC->CFGR &= (uint32_t)~(RCC_CFGR_PLLXTPRE | RCC_CFGR_PLLSRC |
RCC_CFGR_PLLMULL);
  RCC->CFGR |= (uint32_t)(RCC_CFGR_PLLXTPRE_PREDIV1 |
RCC_CFGR_PLLSRC_PREDIV1 |
                        RCC_CFGR_PLLMULL6);

  /* PLL2 configuration: PLL2CLK = (HSE / 5) * 8 = 40 MHz */
  /* PREDIV1 configuration: PREDIV1CLK = PLL2 / 10 = 4 MHz */
  RCC->CFGR2 &= (uint32_t)~(RCC_CFGR2_PREDIV2 | RCC_CFGR2_PLL2MUL |
                          RCC_CFGR2_PREDIV1 | RCC_CFGR2_PREDIV1SRC);
  RCC->CFGR2 |= (uint32_t)(RCC_CFGR2_PREDIV2_DIV5 | RCC_CFGR2_PLL2MUL8 |
                        RCC_CFGR2_PREDIV1SRC_PLL2 | RCC_CFGR2_PREDIV1_DIV10);

  /* Enable PLL2 */
  RCC->CR |= RCC_CR_PLL2ON;
  /* Wait till PLL2 is ready */
  while((RCC->CR & RCC_CR_PLL2RDY) == 0)
  {
  }
#elif defined (STM32F10X_LD_VL) || defined (STM32F10X_MD_VL) || defined
(STM32F10X_HD_VL)
  /*  PLL configuration:  = (HSE / 2) * 6 = 24 MHz */
  RCC->CFGR &= (uint32_t)((uint32_t)~(RCC_CFGR_PLLSRC | RCC_CFGR_PLLXTPRE
| RCC_CFGR_PLLMULL));
  RCC->CFGR |= (uint32_t)(RCC_CFGR_PLLSRC_PREDIV1 |
RCC_CFGR_PLLXTPRE_PREDIV1_Div2 | RCC_CFGR_PLLMULL6);
#else
  /*  PLL configuration:  = (HSE / 2) * 6 = 24 MHz */
  RCC->CFGR &= (uint32_t)((uint32_t)~(RCC_CFGR_PLLSRC | RCC_CFGR_PLLXTPRE
| RCC_CFGR_PLLMULL));
```

продовження Додатку Д

```
    RCC->CFGR |= (uint32_t)(RCC_CFGR_PLLSRC_HSE |
RCC_CFGR_PLLXTPRE_HSE_Div2 | RCC_CFGR_PLLMULL6);
#endif /* STM32F10X_CL */
    /* Enable PLL */
    RCC->CR |= RCC_CR_PLLON;

    /* Wait till PLL is ready */
    while((RCC->CR & RCC_CR_PLLRDY) == 0)
    {
    }

    /* Select PLL as system clock source */
    RCC->CFGR &= (uint32_t)((uint32_t)~(RCC_CFGR_SW));
    RCC->CFGR |= (uint32_t)RCC_CFGR_SW_PLL;

    /* Wait till PLL is used as system clock source */
    while ((RCC->CFGR & (uint32_t)RCC_CFGR_SWS) != (uint32_t)0x08)
    {
    }
  }
  else
  { /* If HSE fails to start-up, the application will have wrong clock
       configuration. User can add here some code to deal with this error */
  }
}
#elif defined SYSCLK_FREQ_36MHz
/**
  * @brief  Sets System clock frequency to 36MHz and configure HCLK, PCLK2
  *         and PCLK1 prescalers.
  * @note   This function should be used only after reset.
  * @param  None
  * @retval None
  */
static void SetSysClockTo36(void)
{
  __IO uint32_t StartUpCounter = 0, HSEStatus = 0;

  /* SYSCLK, HCLK, PCLK2 and PCLK1 configuration ----------------------------*/
  /* Enable HSE */
  RCC->CR |= ((uint32_t)RCC_CR_HSEON);

  /* Wait till HSE is ready and if Time out is reached exit */
  do
  {
    HSEStatus = RCC->CR & RCC_CR_HSERDY;
    StartUpCounter++;
  } while((HSEStatus == 0) && (StartUpCounter != HSE_STARTUP_TIMEOUT));

  if ((RCC->CR & RCC_CR_HSERDY) != RESET)
  {
    HSEStatus = (uint32_t)0x01 }
```

продовження Додатку Д

```
  else
  {
    HSEStatus = (uint32_t)0x00;
  }

  if (HSEStatus == (uint32_t)0x01)
  {
    /* Enable Prefetch Buffer */
    FLASH->ACR |= FLASH_ACR_PRFTBE;

    /* Flash 1 wait state */
    FLASH->ACR &= (uint32_t)((uint32_t)~FLASH_ACR_LATENCY);
    FLASH->ACR |= (uint32_t)FLASH_ACR_LATENCY_1;

    /* HCLK = SYSCLK */
    RCC->CFGR |= (uint32_t)RCC_CFGR_HPRE_DIV1;

    /* PCLK2 = HCLK */
    RCC->CFGR |= (uint32_t)RCC_CFGR_PPRE2_DIV1;

    /* PCLK1 = HCLK */
    RCC->CFGR |= (uint32_t)RCC_CFGR_PPRE1_DIV1;

#ifdef STM32F10X_CL
    /* Configure PLLs ------------------------------------------------------*/

    /* PLL configuration: PLLCLK = PREDIV1 * 9 = 36 MHz */
    RCC->CFGR &= (uint32_t)~(RCC_CFGR_PLLXTPRE | RCC_CFGR_PLLSRC |
RCC_CFGR_PLLMULL);
    RCC->CFGR |= (uint32_t)(RCC_CFGR_PLLXTPRE_PREDIV1 |
RCC_CFGR_PLLSRC_PREDIV1 |
                            RCC_CFGR_PLLMULL9);

         /*!< PLL2 configuration: PLL2CLK = (HSE / 5) * 8 = 40 MHz */
    /* PREDIV1 configuration: PREDIV1CLK = PLL2 / 10 = 4 MHz */

    RCC->CFGR2 &= (uint32_t)~(RCC_CFGR2_PREDIV2 | RCC_CFGR2_PLL2MUL |
                              RCC_CFGR2_PREDIV1 | RCC_CFGR2_PREDIV1SRC);
    RCC->CFGR2 |= (uint32_t)(RCC_CFGR2_PREDIV2_DIV5 | RCC_CFGR2_PLL2MUL8 |
                             RCC_CFGR2_PREDIV1SRC_PLL2 | RCC_CFGR2_PREDIV1_DIV10);

    /* Enable PLL2 */
    RCC->CR |= RCC_CR_PLL2ON;
    /* Wait till PLL2 is ready */
    while((RCC->CR & RCC_CR_PLL2RDY) == 0)

    {
    }

#else
    /*  PLL configuration: PLLCLK = (HSE / 2) * 9 = 36 MHz */
```

продовження Додатку Д

```
RCC->CFGR &= (uint32_t)((uint32_t)~(RCC_CFGR_PLLSRC | RCC_CFGR_PLLXTPRE |
RCC_CFGR_PLLMULL));
   RCC->CFGR |= (uint32_t)(RCC_CFGR_PLLSRC_HSE |
RCC_CFGR_PLLXTPRE_HSE_Div2 | RCC_CFGR_PLLMULL9);
#endif /* STM32F10X_CL */

   /* Enable PLL */
   RCC->CR |= RCC_CR_PLLON;

   /* Wait till PLL is ready */
   while((RCC->CR & RCC_CR_PLLRDY) == 0)
   {
   }

   /* Select PLL as system clock source */
   RCC->CFGR &= (uint32_t)((uint32_t)~(RCC_CFGR_SW));
   RCC->CFGR |= (uint32_t)RCC_CFGR_SW_PLL;

   /* Wait till PLL is used as system clock source */
   while ((RCC->CFGR & (uint32_t)RCC_CFGR_SWS) != (uint32_t)0x08)
   {
   }
  }
  else
  { /* If HSE fails to start-up, the application will have wrong clock
       configuration. User can add here some code to deal with this error */
  }
}
#elif defined SYSCLK_FREQ_48MHz
/**
  * @brief  Sets System clock frequency to 48MHz and configure HCLK, PCLK2
  *         and PCLK1 prescalers.
  * @note   This function should be used only after reset.
  * @param  None
  * @retval None
  */
static void SetSysClockTo48(void)
{
  __IO uint32_t StartUpCounter = 0, HSEStatus = 0;
   /* SYSCLK, HCLK, PCLK2 and PCLK1 configuration ----------------------------*/
  /* Enable HSE */
  RCC->CR |= ((uint32_t)RCC_CR_HSEON);

  /* Wait till HSE is ready and if Time out is reached exit */
  do
  {
   HSEStatus = RCC->CR & RCC_CR_HSERDY;
   StartUpCounter++;
  } while((HSEStatus == 0) && (StartUpCounter != HSE_STARTUP_TIMEOUT));
  if ((RCC->CR & RCC_CR_HSERDY) != RESET)
```

продовження Додатку Д

```
  {
    HSEStatus = (uint32_t)0x01;
  }
  else
  {
    HSEStatus = (uint32_t)0x00;
  }

  if (HSEStatus == (uint32_t)0x01)
  {
    /* Enable Prefetch Buffer */
    FLASH->ACR |= FLASH_ACR_PRFTBE;

    /* Flash 1 wait state */
    FLASH->ACR &= (uint32_t)((uint32_t)~FLASH_ACR_LATENCY);
    FLASH->ACR |= (uint32_t)FLASH_ACR_LATENCY_1;

    /* HCLK = SYSCLK */
    RCC->CFGR |= (uint32_t)RCC_CFGR_HPRE_DIV1;

    /* PCLK2 = HCLK */
    RCC->CFGR |= (uint32_t)RCC_CFGR_PPRE2_DIV1;

    /* PCLK1 = HCLK */
    RCC->CFGR |= (uint32_t)RCC_CFGR_PPRE1_DIV2;

#ifdef STM32F10X_CL
    /* Configure PLLs ------------------------------------------------------*/
    /* PLL2 configuration: PLL2CLK = (HSE / 5) * 8 = 40 MHz */
    /* PREDIV1 configuration: PREDIV1CLK = PLL2 / 5 = 8 MHz */

    RCC->CFGR2 &= (uint32_t)~(RCC_CFGR2_PREDIV2 | RCC_CFGR2_PLL2MUL |
                              RCC_CFGR2_PREDIV1 | RCC_CFGR2_PREDIV1SRC);
    RCC->CFGR2 |= (uint32_t)(RCC_CFGR2_PREDIV2_DIV5 | RCC_CFGR2_PLL2MUL8 |
                             RCC_CFGR2_PREDIV1SRC_PLL2 | RCC_CFGR2_PREDIV1_DIV5);

    /* Enable PLL2 */
    RCC->CR |= RCC_CR_PLL2ON;
    /* Wait till PLL2 is ready */
    while((RCC->CR & RCC_CR_PLL2RDY) == 0)
    {

    }

    /* PLL configuration: PLLCLK = PREDIV1 * 6 = 48 MHz */
    RCC->CFGR &= (uint32_t)~(RCC_CFGR_PLLXTPRE | RCC_CFGR_PLLSRC |
RCC_CFGR_PLLMULL);
    RCC->CFGR |= (uint32_t)(RCC_CFGR_PLLXTPRE_PREDIV1 |
RCC_CFGR_PLLSRC_PREDIV1 |
                            RCC_CFGR_PLLMULL6);
```

продовження Додатку Д

```
#else
    /*  PLL configuration: PLLCLK = HSE * 6 = 48 MHz */
    RCC->CFGR &= (uint32_t)((uint32_t)~(RCC_CFGR_PLLSRC | RCC_CFGR_PLLXTPRE
| RCC_CFGR_PLLMULL));
    RCC->CFGR |= (uint32_t)(RCC_CFGR_PLLSRC_HSE | RCC_CFGR_PLLMULL6);
#endif /* STM32F10X_CL */

    /* Enable PLL */
    RCC->CR |= RCC_CR_PLLON;

    /* Wait till PLL is ready */
    while((RCC->CR & RCC_CR_PLLRDY) == 0)
    {
    }

    /* Select PLL as system clock source */
    RCC->CFGR &= (uint32_t)((uint32_t)~(RCC_CFGR_SW));
    RCC->CFGR |= (uint32_t)RCC_CFGR_SW_PLL;

    /* Wait till PLL is used as system clock source */
    while ((RCC->CFGR & (uint32_t)RCC_CFGR_SWS) != (uint32_t)0x08)
    {
    }
  }
  else
  { /* If HSE fails to start-up, the application will have wrong clock
         configuration. User can add here some code to deal with this error */
  }
}

#elif defined SYSCLK_FREQ_56MHz
/**
  * @brief  Sets System clock frequency to 56MHz and configure HCLK, PCLK2
  *          and PCLK1 prescalers.
  * @note   This function should be used only after reset.
  * @param  None
  * @retval None
  */
static void SetSysClockTo56(void)
{
  __IO uint32_t StartUpCounter = 0, HSEStatus = 0;
  /* SYSCLK, HCLK, PCLK2 and PCLK1 configuration ---------------------------*/
  /* Enable HSE */
  RCC->CR |= ((uint32_t)RCC_CR_HSEON);

  /* Wait till HSE is ready and if Time out is reached exit */
  do
  {
    HSEStatus = RCC->CR & RCC_CR_HSERDY;
    StartUpCounter++;
```

продовження Додатку Д

```
  } while((HSEStatus == 0) && (StartUpCounter != HSE_STARTUP_TIMEOUT));

  if ((RCC->CR & RCC_CR_HSERDY) != RESET)
  {
    HSEStatus = (uint32_t)0x01;
  }
  else
  {
    HSEStatus = (uint32_t)0x00;
  }

  if (HSEStatus == (uint32_t)0x01)
  {
    /* Enable Prefetch Buffer */
    FLASH->ACR |= FLASH_ACR_PRFTBE;

    /* Flash 2 wait state */
    FLASH->ACR &= (uint32_t)((uint32_t)~FLASH_ACR_LATENCY);
    FLASH->ACR |= (uint32_t)FLASH_ACR_LATENCY_2;

    /* HCLK = SYSCLK */
    RCC->CFGR |= (uint32_t)RCC_CFGR_HPRE_DIV1;

    /* PCLK2 = HCLK */
    RCC->CFGR |= (uint32_t)RCC_CFGR_PPRE2_DIV1;

    /* PCLK1 = HCLK */
    RCC->CFGR |= (uint32_t)RCC_CFGR_PPRE1_DIV2;

#ifdef STM32F10X_CL
    /* Configure PLLs ------------------------------------------------------*/
    /* PLL2 configuration: PLL2CLK = (HSE / 5) * 8 = 40 MHz */
    /* PREDIV1 configuration: PREDIV1CLK = PLL2 / 5 = 8 MHz */

    RCC->CFGR2 &= (uint32_t)~(RCC_CFGR2_PREDIV2 | RCC_CFGR2_PLL2MUL |
                              RCC_CFGR2_PREDIV1 | RCC_CFGR2_PREDIV1SRC);
    RCC->CFGR2 |= (uint32_t)(RCC_CFGR2_PREDIV2_DIV5 | RCC_CFGR2_PLL2MUL8 |
                             RCC_CFGR2_PREDIV1SRC_PLL2 | RCC_CFGR2_PREDIV1_DIV5);
    /* Enable PLL2 */
    RCC->CFGR |= RCC_CR_PLL2ON;
    /* Wait till PLL2 is ready */
    while((RCC->CR & RCC_CR_PLL2RDY) == 0)
    {
    }

      /* PLL configuration: PLLCLK = PREDIV1 * 7 = 56 MHz */
    RCC->CFGR &= (uint32_t)~(RCC_CFGR_PLLXTPRE | RCC_CFGR_PLLSRC |
RCC_CFGR_PLLMULL);
    RCC->CFGR |= (uint32_t)(RCC_CFGR_PLLXTPRE_PREDIV1 |
RCC_CFGR_PLLSRC_PREDIV1 |
```

продовження Додатку Д

```
  RCC_CFGR_PLLMULL7);
#else
    /* PLL configuration: PLLCLK = HSE * 7 = 56 MHz */
    RCC->CFGR &= (uint32_t)((uint32_t)~(RCC_CFGR_PLLSRC | RCC_CFGR_PLLXTPRE
| RCC_CFGR_PLLMULL));
    RCC->CFGR |= (uint32_t)(RCC_CFGR_PLLSRC_HSE | RCC_CFGR_PLLMULL7);

#endif /* STM32F10X_CL */

    /* Enable PLL */
    RCC->CR |= RCC_CR_PLLON;

    /* Wait till PLL is ready */
    while((RCC->CR & RCC_CR_PLLRDY) == 0)
    {
    }

    /* Select PLL as system clock source */
    RCC->CFGR &= (uint32_t)((uint32_t)~(RCC_CFGR_SW));
    RCC->CFGR |= (uint32_t)RCC_CFGR_SW_PLL;

    /* Wait till PLL is used as system clock source */
    while ((RCC->CFGR & (uint32_t)RCC_CFGR_SWS) != (uint32_t)0x08)
    {
    }
  }
  else
  { /* If HSE fails to start-up, the application will have wrong clock
         configuration. User can add here some code to deal with this error */
  }
}

#elif defined SYSCLK_FREQ_72MHz
/**
  * @brief  Sets System clock frequency to 72MHz and configure HCLK, PCLK2
  *         and PCLK1 prescalers.
  * @note   This function should be used only after reset.
  * @param  None
  * @retval None
  */
static void SetSysClockTo72(void)
{
  __IO uint32_t StartUpCounter = 0, HSEStatus = 0;
    /* SYSCLK, HCLK, PCLK2 and PCLK1 configuration ---------------------------*/
  /* Enable HSE */
  RCC->CR |= ((uint32_t)RCC_CR_HSEON);

  /* Wait till HSE is ready and if Time out is reached exit */
  do
  {
```

продовження Додатку Д

```
HSEStatus = RCC->CR & RCC_CR_HSERDY;
    StartUpCounter++;
  } while((HSEStatus == 0) && (StartUpCounter != HSE_STARTUP_TIMEOUT));

  if ((RCC->CR & RCC_CR_HSERDY) != RESET)
  {
    HSEStatus = (uint32_t)0x01;
  }
  else
  {
    HSEStatus = (uint32_t)0x00;
  }

  if (HSEStatus == (uint32_t)0x01)
  {
    /* Enable Prefetch Buffer */
    FLASH->ACR |= FLASH_ACR_PRFTBE;

    /* Flash 2 wait state */
    FLASH->ACR &= (uint32_t)((uint32_t)~FLASH_ACR_LATENCY);
    FLASH->ACR |= (uint32_t)FLASH_ACR_LATENCY_2;


    /* HCLK = SYSCLK */
    RCC->CFGR |= (uint32_t)RCC_CFGR_HPRE_DIV1;

    /* PCLK2 = HCLK */
    RCC->CFGR |= (uint32_t)RCC_CFGR_PPRE2_DIV1;

    /* PCLK1 = HCLK */
    RCC->CFGR |= (uint32_t)RCC_CFGR_PPRE1_DIV2;

#ifdef STM32F10X_CL
    /* Configure PLLs ------------------------------------------------------*/
    /* PLL2 configuration: PLL2CLK = (HSE / 5) * 8 = 40 MHz */

    /* PREDIV1 configuration: PREDIV1CLK = PLL2 / 5 = 8 MHz */

    RCC->CFGR2 &= (uint32_t)~(RCC_CFGR2_PREDIV2 | RCC_CFGR2_PLL2MUL |
                              RCC_CFGR2_PREDIV1 | RCC_CFGR2_PREDIV1SRC);
    RCC->CFGR2 |= (uint32_t)(RCC_CFGR2_PREDIV2_DIV5 | RCC_CFGR2_PLL2MUL8 |
                             RCC_CFGR2_PREDIV1SRC_PLL2 | RCC_CFGR2_PREDIV1_DIV5);

    /* Enable PLL2 */
    RCC->CR |= RCC_CR_PLL2ON;
    /* Wait till PLL2 is ready */
    while((RCC->CR & RCC_CR_PLL2RDY) == 0)
    {
    }
```

продовження Додатку Д

```
    /* PLL configuration: PLLCLK = PREDIV1 * 9 = 72 MHz */
    RCC->CFGR &= (uint32_t)~(RCC_CFGR_PLLXTPRE | RCC_CFGR_PLLSRC |
RCC_CFGR_PLLMULL);
    RCC->CFGR |= (uint32_t)(RCC_CFGR_PLLXTPRE_PREDIV1 |
RCC_CFGR_PLLSRC_PREDIV1 |
                        RCC_CFGR_PLLMULL9);
#else
    /*  PLL configuration: PLLCLK = HSE * 9 = 72 MHz */
    RCC->CFGR &= (uint32_t)((uint32_t)~(RCC_CFGR_PLLSRC | RCC_CFGR_PLLXTPRE
|
                                RCC_CFGR_PLLMULL));
    RCC->CFGR |= (uint32_t)(RCC_CFGR_PLLSRC_HSE | RCC_CFGR_PLLMULL9);
#endif /* STM32F10X_CL */

    /* Enable PLL */
    RCC->CR |= RCC_CR_PLLON;

    /* Wait till PLL is ready */
    while((RCC->CR & RCC_CR_PLLRDY) == 0)
    {
    }

    /* Select PLL as system clock source */
    RCC->CFGR &= (uint32_t)((uint32_t)~(RCC_CFGR_SW));
    RCC->CFGR |= (uint32_t)RCC_CFGR_SW_PLL;

    /* Wait till PLL is used as system clock source */
    while ((RCC->CFGR & (uint32_t)RCC_CFGR_SWS) != (uint32_t)0x08)
    {
    }
  }
  else
  { /* If HSE fails to start-up, the application will have wrong clock

         configuration. User can add here some code to deal with this error */
  }
}
#endif

/**
  * @}
  */

/**
  * @}
  */

/**
  * @}
  */
/****************** (C) COPYRIGHT 2011 STMicroelectronics *****END OF FILE****/
```

продовження Додатку Д

Файл stm32f10x_conf.h

```
/**
  ******************************************************************************
  * @file    DAC/DualModeDMA_SineWave/stm32f10x_conf.h
  * @author  MCD Application Team
  * @version V3.5.0
  * @date    08-April-2011
  * @brief   Library configuration file.
  ******************************************************************************
  * @attention
  *
  * THE PRESENT FIRMWARE WHICH IS FOR GUIDANCE ONLY AIMS AT PROVIDING
CUSTOMERS
  * WITH CODING INFORMATION REGARDING THEIR PRODUCTS IN ORDER FOR
THEM TO SAVE
  * TIME. AS A RESULT, STMICROELECTRONICS SHALL NOT BE HELD LIABLE FOR
ANY
  * DIRECT, INDIRECT OR CONSEQUENTIAL DAMAGES WITH RESPECT TO ANY
CLAIMS ARISING
  * FROM THE CONTENT OF SUCH FIRMWARE AND/OR THE USE MADE BY
CUSTOMERS OF THE
  * CODING INFORMATION CONTAINED HEREIN IN CONNECTION WITH THEIR
PRODUCTS.
  *
  * <h2><center>&copy; COPYRIGHT 2011 STMicroelectronics</center></h2>
  ******************************************************************************
  */
/* Define to prevent recursive inclusion -------------------------------------*/
#ifndef __STM32F10x_CONF_H
#define __STM32F10x_CONF_H
/* Includes ------------------------------------------------------------------*/
/* Uncomment/Comment the line below to enable/disable peripheral header file inclusion */
// #include "stm32f10x_adc.h"
//#include "stm32f10x_bkp.h"
//#include "stm32f10x_can.h"
//#include "stm32f10x_cec.h"
//#include "stm32f10x_crc.h"
#include "stm32f10x_dac.h"
#include "stm32f10x_dbgmcu.h"
#include "stm32f10x_dma.h"
#include "stm32f10x_exti.h"
// #include "stm32f10x_flash.h"
//#include "stm32f10x_fsmc.h"
#include "stm32f10x_gpio.h"
// #include "stm32f10x_i2c.h"
//#include "stm32f10x_iwdg.h"
```

продовження Додатку Д

```
#include "stm32f10x_pwr.h"
#include "stm32f10x_rcc.h"
#include "stm32f10x_rtc.h"
#include "stm32f10x_sdio.h"
#include "stm32f10x_spi.h"
#include "stm32f10x_tim.h"
#include "stm32f10x_usart.h"
//#include "stm32f10x_wwdg.h"
#include "misc.h" /* High level functions for NVIC and SysTick (add-on to CMSIS functions)
*/

/* Exported types ------------------------------------------------------------*/
/* Exported constants --------------------------------------------------------*/
/* Uncomment the line below to expanse the "assert_param" macro in the
   Standard Peripheral Library drivers code */
/* #define USE_FULL_ASSERT    1 */

/* Exported macro ------------------------------------------------------------*/
#ifdef  USE_FULL_ASSERT

/**
  * @brief  The assert_param macro is used for function's parameters check.
  * @param  expr: If expr is false, it calls assert_failed function which reports
  *         the name of the source file and the source line number of the call
  *         that failed. If expr is true, it returns no value.
  * @retval None
  */
  #define assert_param(expr) ((expr) ? (void)0 : assert_failed((uint8_t *)__FILE__,
__LINE__))

/* Exported functions ------------------------------------------------------- */
  void assert_failed(uint8_t* file, uint32_t line);
#else
  #define assert_param(expr) ((void)0)
#endif /* USE_FULL_ASSERT */

#endif /* __STM32F10x_CONF_H */

/******************* (C) COPYRIGHT 2011 STMicroelectronics *****END OF FILE****/
```

продовження Додатку Д

Файл stm32f10x_it.c

```
/**
  ******************************************************************************
  ******************************************************************************
  */

/* Includes ------------------------------------------------------------------*/
#include "stm32f10x_it.h"
#include "main.h"
#include "usart.h"

/* Private typedef -----------------------------------------------------------*/
/* Private define ------------------------------------------------------------*/
/* Private macro -------------------------------------------------------------*/
/* Private variables ---------------------------------------------------------*/
extern uint16_t delay1ms;
//extern uint8_t TxBuffer1[];
//extern uint8_t RxBuffer1[];
//extern __IO uint8_t TxCounter1;
//extern __IO uint8_t RxCounter1;
//extern uint8_t RxBufferOverflow;
//extern uint8_t tx_rd_index;
//extern uint8_t rx_wr_index;

/* Private function prototypes -----------------------------------------------*/
/* Private functions ---------------------------------------------------------*/

/******************************************************************************/
/*            Cortex-M3 Processor Exceptions Handlers                         */
/******************************************************************************/
/**
  * @brief  This function handles NMI exception.
  * @param  None
  * @retval None
  */
void NMI_Handler(void)
{
}
/**
  * @brief  This function handles Hard Fault exception.
  * @param  None
  * @retval None
  */
void HardFault_Handler(void)
{
  /* Go to infinite loop when Hard Fault exception occurs */
  while (1)
  {
  }
```

продовження Додатку Д

```
}

/**
  * @brief  This function handles Memory Manage exception.
  * @param  None
  * @retval None
  */
void MemManage_Handler(void)
{
  /* Go to infinite loop when Memory Manage exception occurs */
  while (1)
  {
  }
}

/**
  * @brief  This function handles Bus Fault exception.
  * @param  None
  * @retval None
  */
void BusFault_Handler(void)
{
  /* Go to infinite loop when Bus Fault exception occurs */
  while (1)
  {
  }
}

/**
  * @brief  This function handles Usage Fault exception.
  * @param  None
  * @retval None
  */
void UsageFault_Handler(void)
{
  /* Go to infinite loop when Usage Fault exception occurs */
  while (1)
  {
  }
}
/**
  * @brief  This function handles SVCall exception.
  * @param  None
  * @retval None
  */
void SVC_Handler(void)
{
}

/**
  * @brief  This function handles Debug Monitor exception.
```

продовження Додатку Д

```
  * @param  None
  * @retval None
  */
void DebugMon_Handler(void)
{
}

/**
  * @brief  This function handles PendSV_Handler exception.
  * @param  None
  * @retval None
  */
void PendSV_Handler(void)
{
}

/**
  * @brief  This function handles SysTick Handler.
  * @param  None
  * @retval None
  */
void SysTick_Handler(void)
{
}

/******************************************************************************/
/*                 STM32F10x Peripherals Interrupt Handlers                   */
/*  Add here the Interrupt Handler for the used peripheral(s) (PPP), for the  */
/*  available peripheral interrupt handler's name please refer to the startup */
/*  file (startup_stm32f10x_xx.s).                                            */
/******************************************************************************/

/**
  * @brief  This function handles PPP interrupt request.
  * @param  None
  * @retval None
  */
/*void PPP_IRQHandler(void)
{
}*/
void USART1_IRQHandler(void)
{
          uint8_t ch;
          uint32_t u1Data, u1State;
        u1State=USART1->SR; u1Data=USART1->DR; // читання SR і DR скидає признаки
        //if Receive interrupt
          if (u1State & USART_SR_RXNE)
          {
                  //ch=(uint8_t)USART_ReceiveData(USART1);
           ch= u1Data & 0xff;
           #ifdef BUFFERED
```

продовження Додатку Д

```
BufferPut(&U1Rx, ch);   //put char to the buffer
          #endif
        }
        if (u1State & USART_SR_TXE)
        {
        #ifdef BUFFERED
          if (BufferGet(&U1Tx, &ch) == SUCCESS)//if read ch present
          {
                USART_SendData(USART1, ch);
          }
          else//if buffer empty
        #endif
          {
                USART_ITConfig(USART1, USART_IT_TXE, DISABLE); //disable Transmit
Data Register empty interrupt
          }
        }
}
void TIM3_IRQHandler(void)
{
  TIM3->SR &= ~TIM_SR_UIF;
  if (delay1ms) delay1ms--;
  //if (GPIOB->ODR & 0x20) GPIOB->ODR &= ~0x20; else GPIOB->ODR |= 0x20;
}

/*void USART1_IRQHandler(void)
{
  //якщо причина переривання закінчення прийому
  if(USART_GetITStatus(USART1, USART_IT_RXNE) != RESET)
  {

    RxBuffer1[rx_wr_index] = USART_ReceiveData(USART1);    // Read one byte from the
receive data register
    rx_wr_index++;                              //збільшити кільцевий покажчик
    if (rx_wr_index==RxBufferSize1) rx_wr_index=0;       //кільцюємо покажчик
    if(++RxCounter1 == RxBufferSize1)                 //переповнився
      RxBufferOverflow=1;
  }
  //якщо причина переривання закінчення передачі
  if(USART_GetITStatus(USART1, USART_IT_TXE) != RESET)
  {
    if (TxCounter1)
    { TxCounter1--;     //зменшити лічильник
      USART_SendData(USART1, TxBuffer1[tx_rd_index]);          //вислати дані із черги
      if (++tx_rd_index == TxBufferSize1) tx_rd_index=0;       //кільцюємо покажчик в черзі
    }
  }
}
*/
```

продовження Додатку Д

Файл stm32f10x_it.h

```
/**
  ******************************************************************************
  * @file    DAC/DualModeDMA_SineWave/stm32f10x_it.h
  * @author  MCD Application Team
  * @version V3.5.0
  * @date    08-April-2011
  * @brief   This file contains the headers of the interrupt handlers.
  ******************************************************************************
  * @attention
  *
  * THE PRESENT FIRMWARE WHICH IS FOR GUIDANCE ONLY AIMS AT PROVIDING
CUSTOMERS
  * WITH CODING INFORMATION REGARDING THEIR PRODUCTS IN ORDER FOR
THEM TO SAVE
  * TIME. AS A RESULT, STMICROELECTRONICS SHALL NOT BE HELD LIABLE FOR
ANY
  * DIRECT, INDIRECT OR CONSEQUENTIAL DAMAGES WITH RESPECT TO ANY
CLAIMS ARISING
  * FROM THE CONTENT OF SUCH FIRMWARE AND/OR THE USE MADE BY
CUSTOMERS OF THE
  * CODING INFORMATION CONTAINED HEREIN IN CONNECTION WITH THEIR
PRODUCTS.
  *
  * <h2><center>&copy; COPYRIGHT 2011 STMicroelectronics</center></h2>
  ******************************************************************************
  */

/* Define to prevent recursive inclusion -------------------------------------*/
#ifndef __STM32F10x_IT_H
#define __STM32F10x_IT_H

/* Includes ------------------------------------------------------------------*/
#include "stm32f10x.h"

/* Exported types ------------------------------------------------------------*/
/* Exported constants --------------------------------------------------------*/
/* Exported macro ------------------------------------------------------------*/
/* Exported functions ------------------------------------------------------- */
void NMI_Handler(void);
void HardFault_Handler(void);
void MemManage_Handler(void);
void BusFault_Handler(void);
void UsageFault_Handler(void);
void SVC_Handler(void);
void DebugMon_Handler(void);
void PendSV_Handler(void);
void SysTick_Handler(void);
```

продовження Додатку Д

```
void USART1_IRQHandler(void);
#endif /* __STM32F10x_IT_H */
```