

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

ЛЕВИЦЬКИЙ Іван Теодорович

УДК 681.518.5:519.7:666.3/.7

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

Спеціальність 05.13.07 – автоматизація процесів керування

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дисертацією є рукопис

Робота виконана у Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Заміховський Леонід Михайлович,
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу, завідувач кафедри
інформаційно-телекомунікаційних технологій і систем.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Осадчий Сергій Іванович,
Центральноукраїнський національний технічний
університет, завідувач кафедри автоматизації
виробничих процесів;

доктор технічних наук, професор
Дьомін Дмитро Олександрович,
Національний технічний університет «Харківський
політехнічний інститут», професор кафедри ливарного
виробництва

Захист відбудеться «16» грудня 2021 року о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.03 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15)

Автореферат розісланий «13» листопада 2021 року

Вчений секретар спеціалізованої вченої
ради, кандидат технічних наук, доцент



Гуменюк Т.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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 (далі по тексту – МВ), 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 МВ в сировині з автоматичним визначенням їх координат на конвеєрній стрічці, а також впливу МВ 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, Н.М. 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. Бахіреєв, Л.М. Заміховський, С.І. Малафеев, 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 нафто-промислового комплексу України і базується на результатах науково-дослідних робіт «Наукові засади побудови на базі сучасних інформаційних технологій ро-

зподілених 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 МВ, 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 промислово 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 програ-

мою «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 металовключень в сировині на конвеєрній стрічці [8,9,15,17];
- метод ідентифікації і вилучення металовключень 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-практичній 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.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, визначено мету та задачі дисертаційних досліджень, сформульовано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, надано інформацію про їх впровадження, апробацію, публікації та структуру дисертаційної роботи.

У першому розділі проведений аналіз сучасних АСК технологічним процесом підготовки сировини показав, що підсистемам ідентифікації МВ в структурі АСК не приділяється достатньої уваги у зв'язку з чим у більшості АСК вказані підсистеми відсутні. При цьому вилучення МВ здійснюється шляхом встановлення електромагніту або електромагніту зі стрічковим розвантаженням вилучених МВ. В результаті відсоток вилучених МВ доволі низький і вимагає ручного втручання операторів, а вилучення кольорових МВ взагалі не здійснюється.

Аналіз джерел потрапляння МВ в сировину (глину) та їх вплив на технологічний процес виготовлення керамічних виробів показав, що наявність МВ у сировині призводить до пришвидшеного зносу технологічного обладнання, аварійних ситуацій та відмов технологічного обладнання. Наслідком чого є значні часові та виробничі затримки і простої так, як потрапляння МВ в будь який із вузлів обладнання вимагає від персоналу зупинки всієї технологічної лінії, визначення місця його потрапляння, подальшої ліквідації наслідків та здійснення повторного пуску технологічної лінії і АСК. Вказане обумовлює як низьку ефективність роботи АСК, так і якість вихідної продукції наслідком чого є значні фінансових втрати.

Проведений аналіз існуючих методів і систем ідентифікації МВ показав, що в більшості випадків вони не забезпечують виявлення МВ у виробничих умовах. Зокрема, відсутня можливість здійснювати локалізацію МВ відносно конвеєрної стрічки, а також визначати їх габаритні розміри. Більшість розглянутих систем ідентифікації дозволяють проводити лишень однозонний контроль наявності МВ, що не дає можливості точної їх локалізації. Інші системи хоча і мають більшу кількість зон (до трьох), проте у них відсутні такі важливі функції, як цифрова обробка сигналу, нарощення кількості зон і ін..

Одним із методів інтенсифікації виробництва є форсування режимів технологічних процесів, що веде за собою необхідність підвищення надійності як технологічного обладнання, так АСК в цілому. Стосовно технологічного процесу виготовлення керамічних виробів, як показав проведений аналіз, це неможливо зробити через відсутність ефективної системи виявлення МВ в сировині. В той же час, вирішення вказаної задачі може ґрунтуватися на ефективному методі і системі ідентифікації МВ та системі їх видалення, які можуть бути інтегровані в типову АСК технологічного процесу виготовлення керамічних виробів, що дозволить підвищити її надійність і ефективність експлуатації.

На підставі проведеного аналізу сучасного стану проблеми сформульовано мету і завдання дисертаційної роботи.

В другому розділі проведено дослідження взаємозв'язків елементів технологічного процесу підготовки сировини, а також розроблено структурну і функціональну схеми підсистеми ідентифікації та вилучення МВ.

З метою оцінки вагових і габаритних показників МВ, які обумовлюють вибір методу їх ідентифікації та визначають вимоги до системи ідентифікації МВ, був проведений їх статистичний аналіз. За результатами обробки даних було отримано гістограму розподілу МВ за ваговими і габаритними показниками, який показав, що основну масу становлять МВ з габаритним розміром 20-50мм і вагою 2-15 грам, при цьому 8% МВ становлять кольорові метали.

Попередній досвід модернізації АСК процесом підготовки сировини показав, що застосування тільки підсистеми магнітного вилучення без системи ідентифікації МВ, не дає очікуваного зменшення МВ у сировині а також зумовлює значні енергозатрати. Для усунення вказаних недоліків АСК була доповнена підсистемами ідентифікації і вилучення МВ, що розміщені в зоні роботи конвеєрної стрічки №2. (рис. 1). Окрім цього передбачена функція управління електроприводом конвеєрної стрічки №2 дозволяє здійснити повторний контроль наявності МВ у сировині та провести повторне їх вилучення.

Функціональна схема підсистем ідентифікації і вилучення МВ наведена на рис. 2. 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 бло-

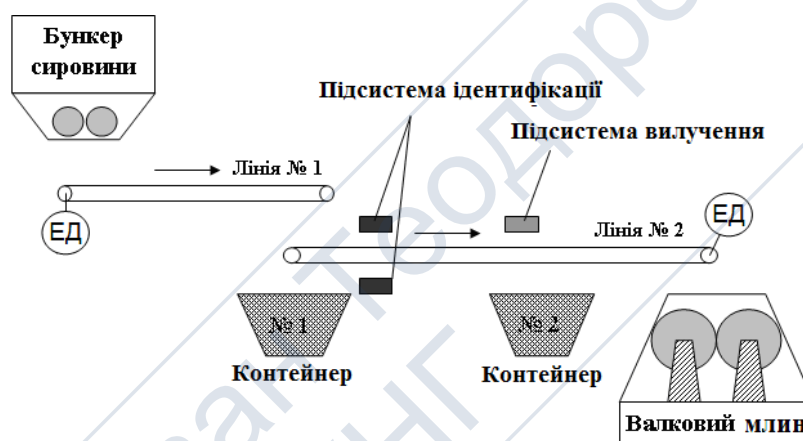


Рис. 1 – Схема технологічного процесу підготовки сировини із доповненими підсистемами ідентифікації і вилучення МВ.

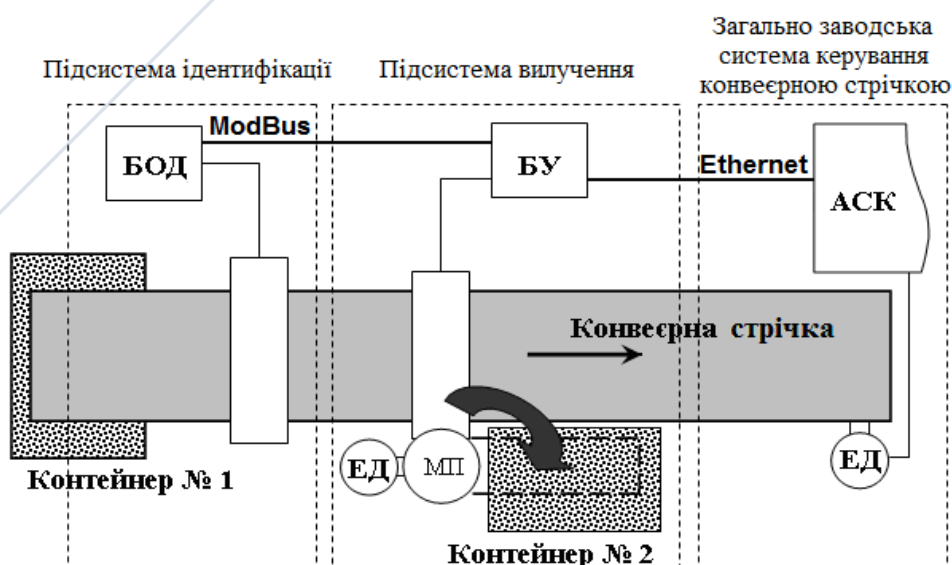


Рис. 2 - Функціональна схема підсистем ідентифікації і вилучення МВ: БОД – блок обробки даних; БУ – блок управління; ЕД – електродвигун; МП – механізм повороту.

ку 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. 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 з сповільненим рухом дозволяє підтвердити факт вилучення МВ шляхом повторного руху сировини вздовж зони роботи підсистеми ідентифікації.

Блок БЕМ підсистеми вилучення МВ (рис.3) містить 4 незалежних ЕМ (ЕМ1–ЕМ4). БУ здійснює вибіркоче включення одного або декількох електромагнітів в залежності від місця розташування МВ і його габаритів. Окрім цього, такий підхід дозволяє короточасне вмикання електромагнітів на пікову потужність. Це дозволяє вилучати важкі і габаритні МВ, а також накриті значним шаром сировини, що становлять з нею одне ціле. Подальше переключення на потужність утримування дозволяє утримувати вилучені із сировини МВ на магнітопроводі ЕМ з мінімальними затратами електроенергії. Для контролю положення МП служать датчі ДП, які спрацьовують у зоні вилучення і зоні скидання МВ.

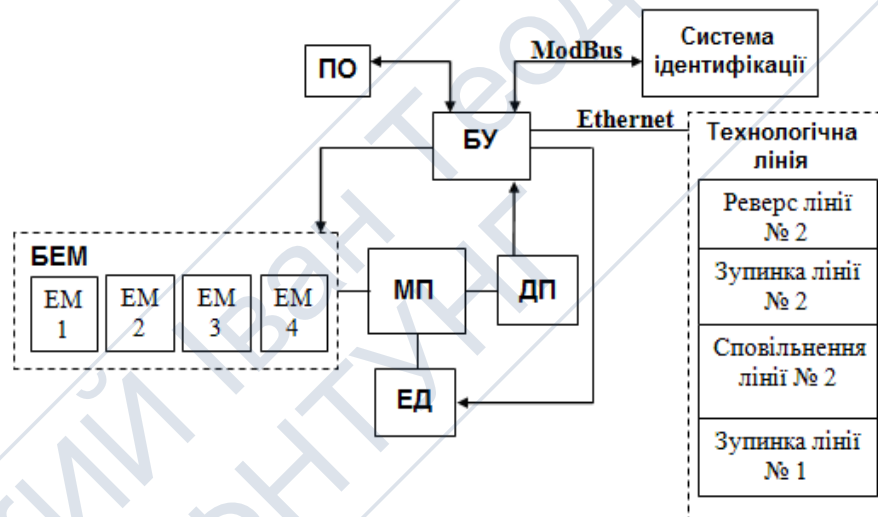


Рис. 3 - Структурна схема підсистеми вилучення МВ:
ЕМ – електромагніт; БЕМ – блок електромагнітів;
МП – механізм повороту; ЕД – електродвигун; БУ – блок управління; ДП – датчик позиціонування; ПО – пульт оператора

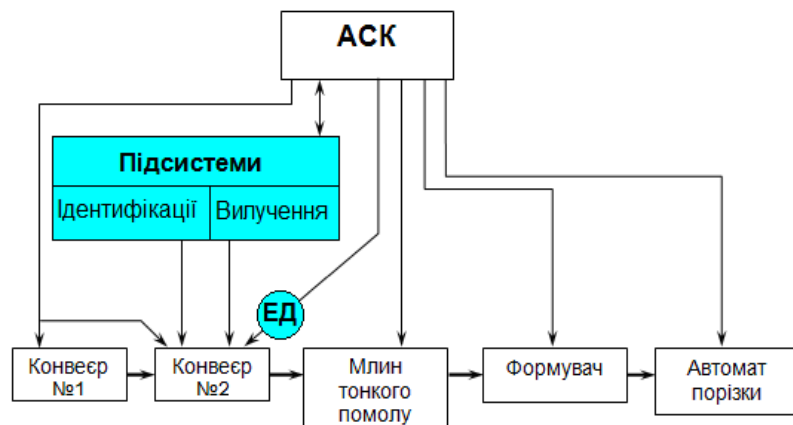


Рис. 4 – Структурна схема інтеграції підсистеми ідентифікації і вилучення МВ в АСК

В результаті отримана загальна структурна схема АСК (рис. 4) процесу виготовлення керамічних виробів з інтеграцією в неї підсистем ідентифікації та вилучення МВ. Інтеграція частотного електроприводу для конвеєрної стрічки дозволяє здійснювати її плавні пуски і зупинки, безконтактний реверс і сповільнений рух конвеєрної стрічки, а також проводити моніторинг основних енергетичних параметрів електроприводу конвеєрної стрічки.

В третьому розділі розглянуто теоретичні передумови розробки методу ідентифікації МВ у немагнітному середовищі.

Виходячи з проведеного в роз. 1 аналізу методів ідентифікації МВ було обґрунтовано вибір електромагнітного методу для вирішення поставленої в роботі задачі. Враховуючи, що існуючі моделі взаємодії електромагнітного поля з МВ є доволі складними і надлишковими, була розроблена спрощена модель взаємодії із збереженням фізичної суті, яка представлена у вигляді електричної моделі з трансформаторним зв'язком (рис.5). В такій моделі кожен індуктивний контур є траєкторією проходження сигналу через певне середовище (МВ, глина, повітря).

Коефіцієнт затування сигналу по певній траєкторії визначається відповідними резисторами в колі R_1, R_2, \dots, R_i .

Співвідношення між кількістю витків обмоток n_1, n_2, \dots, n_i 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 досліджуванним середовищем можемо виявити ділянки заповнені 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 затування електромагнітної хвилі і її хвилеве число. При цьому в якості сигналу виступає електрорушійна сила (ЕРС) приймальної котушки. Встановлено, що в залежності від магнітних та електричних властивостей матеріалу МВ після взаємодії з електромагнітним полем напруженість магнітного поля змінює фазу і відношення амплітуд, що слугує діагностичною ознакою при пошуку МВ в електрично непровідному середовищі.

Враховуючи замкнений характер ліній магнітного поля, воно може бути визначене в будь-якій точці простору між котушками. Найбільша густина ліній магнітного поля буде на торцях котушки. Тому приймальну котушку можна встановити на торці будь якої з котушок збудження. При цьому сигнал в прий-

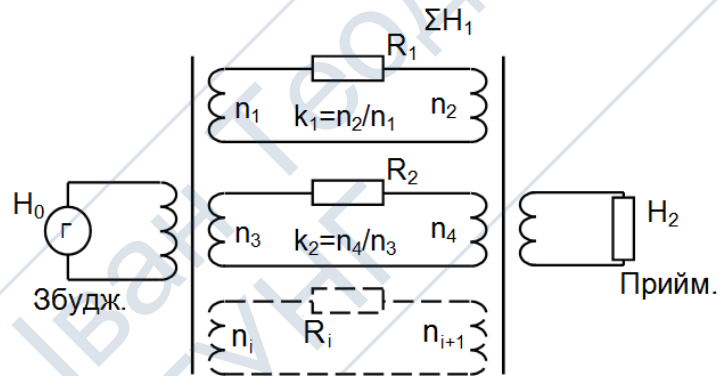


Рис. 5 - Електрична модель взаємодії неоднорідного середовища

мальній котушці несе в собі інформацію про наявне МВ між котушками збудження і приймальною котушкою.

Було розроблено математичну модель, яка дозволяє визначити індукцію магнітного поля системи двох котушок. Спрощене моделювання сумарного магнітного поля без врахування фазових зсувів, якими на низьких частотах нехтуємо, проводилось із використанням третьої котушки, центр якої знаходить в певній точці простору. В цій точці було сформовано індукцію поля за допомогою двох котушок зі струмом, яка буде збуджувати вторинне поле, пропорційне магнітним властивостям ділянки (рис.6), які залежать від розміру МВ і властивостей його матеріалу. Результати вимірювання залежності ЕРС для різних розмірів МВ і магнітних властивостей їх матеріалів наведено на рис. 7.

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:

$$U_a = K \cdot \frac{y}{y^2 + x^2} \quad (1)$$

де K – узагальнений коефіцієнт пропорційності;

y – коефіцієнт положення котушок вздовж її осі; x – положення МВ відносно осі котушок (рис. 8)

Отримання просторової інформації про положення МВ здійснювалось із використанням паралексного методу. При цьому методі одночасно проводиться вимірювання ЕРС двома котушками на різних частотах для кожної з пар котушок. При цьому пари котушок зміщені в просторі на фіксовану величину (рис.8). 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. 8). Величина d є відстанню між середніми точками осей котушок. З використанням розроб-

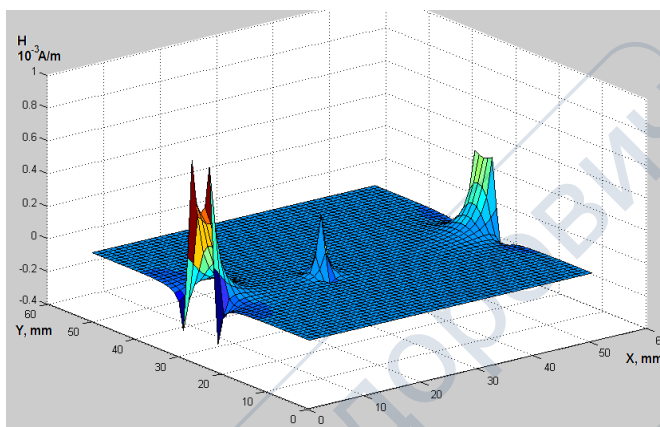
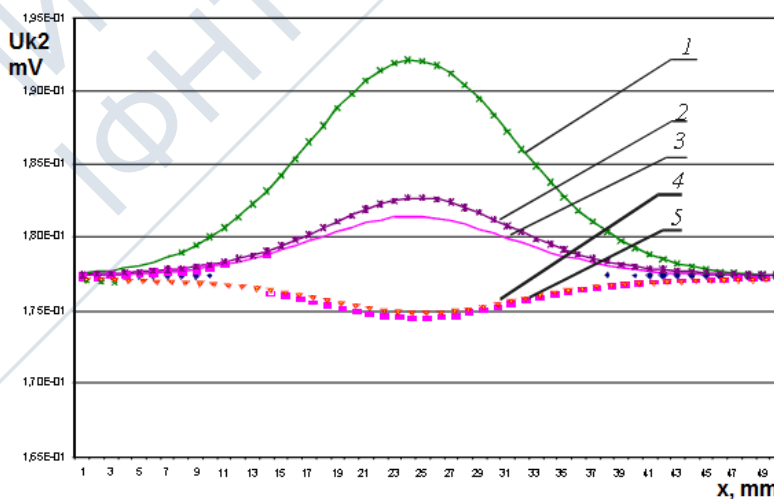


Рис. 6 – Графік розподілу діючих значень напруженості магнітного поля в площині системи котушок $H = f(x, y)$ при наявності моделі МВ



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

Рис. 7 – Графік залежності ЕРС приймальної котушки від положення, розмірів і матеріалу МВ $U_{k2} = f(x)$

З використанням розроб-

леної системи проводилося вимірювання ЕРС на двох приймальних котушках, які працюють на різних частотах, а також їх математичне моделювання. Отримані результати наведено на рис.9.

Для того, щоб скористатися (1) необхідно відняти складову ЕРС, що утворена котушкою збудження 3 чи 5 і яка не несе інформацію про досліджувану ділянку (рис. 9 криві 1,3).

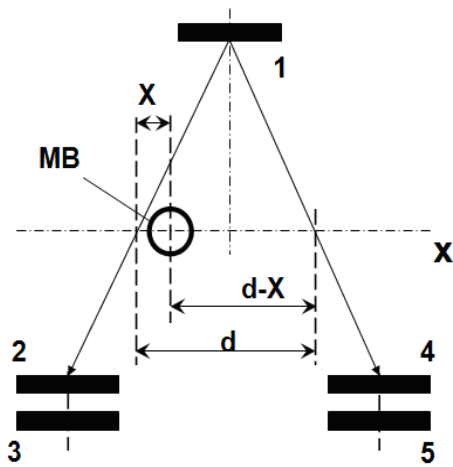
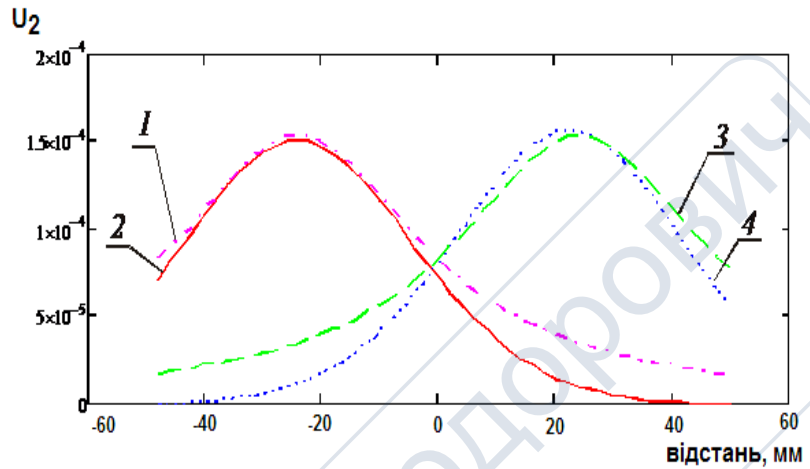


Рис. 8 – Схема розташування котушок



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

Рис. 9 – 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 (2)

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

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.

Виразивши з першого рівняння системи (2) коефіцієнт K і підставивши його в друге рівняння отримаємо

$$U_{a2} = \left[U_{a1} \cdot \left(\frac{y^2 + x^2}{y} \right) \right] \cdot \left(\frac{y}{y^2 + (d-x)^2} \right) \quad (3)$$

Перепишемо

$$\frac{U_{a2}}{U_{a1}} = \frac{y^2 + x^2}{y^2 + (d-x)^2} = G \quad (4)$$

$$x_1, x_2 = \frac{G \cdot d \pm \sqrt{Gd^2 + 2Gy^2 - G^2y^2 - y^2}}{G-1} \quad (5)$$

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

$$x_1, x_2 = \frac{G \cdot d \pm \sqrt{Gd^2 - y^2(G-1)^2}}{G-1} \quad (6)$$

З двох результатів вибираються додатній і менший за відстань d .

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

В четвертому розділі розроблено підсистему ідентифікації МВ в сировині на конвеєрній стрічці на базі запропонованого методу.

При побудові підсистеми ідентифікації МВ було розроблено наступні функціональні блоки: блок вимірювання ЕРС приймальної котушки А1 і блок формування сигналу збудження і обробки вимірної ЕРС АА1 в який входить блок А1. Структурна схема блоку А1 наведена на рис.10.

Вхідний сигнал сформований приймальною котушкою К поступає на вхідний підсилювач а згодом на фільтр, який гарантує 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, що надходять ззовні від генератора. На двох входах суматорів здійснюється інтегрування дискретних значень сигналу впродовж кадру. Покадрова синхронізація здійснюється за допомогою сигналу $RESET_ADC$.

Структурна схема блоку АА1, який забезпечує синхронізацію роботи блоку А1 наведена на рис.11.

Два блоки АА1, які працюють на різних частотах, разом з системами вимірювальних котушок (рис.8) утворюють підсистему ідентифікації МВ (рис. 12).

Двохчастотний сигнал дозволяє усунути вплив магнітного поля сусідніх котушок збудження. Тому для кожної із систем вимірювальних котушок використовується власна частота сигналу (f_1, f_2). Двохчастотне збудження вимагає використати котушку K_{11} (рис. 12) 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 . ЕРС приймальних

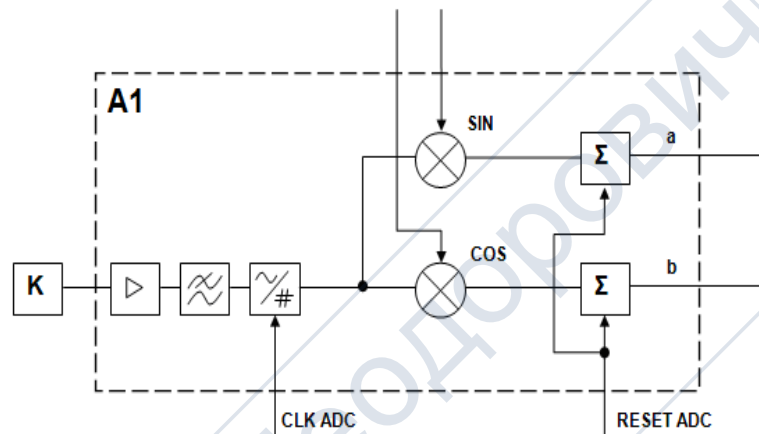


Рис. 10 - Структурна схема блоку вимірювання ЕРС приймальної котушки

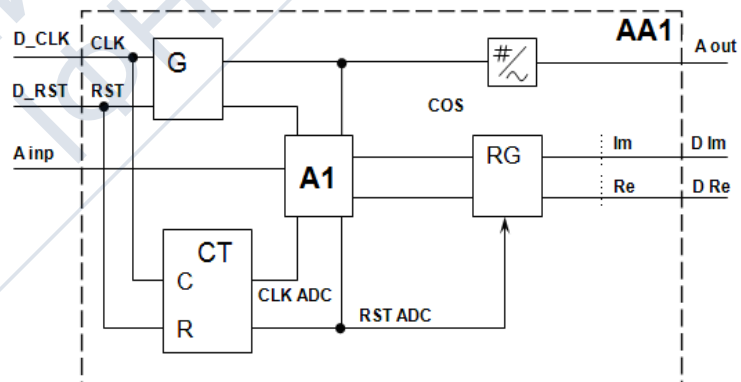


Рис. 11 - Структурна схема блоку формування сигналу збудження і обробки вимірної ЕРС

катушок опрацьовуються відповідними блоками окремо відносно частоти збудження.

Розроблений принцип формування багаточастотного сигналу реалізовано для шести систем вимірювальних катушок. В залежності від положення однієї із катушок збудження системи вона може приймати участь у генерації одночасно до чотирьох незалежних сигналів збудження.

Аналогічно, одна приймальна катушка може формувати до двох вихідних сигналів, що формують сумарний сигнал. Сумарний сигнал поступає на два вимірювальні блоки, кожен з яких здійснює виділення із сумарного сигналу визначеної спектральної складової, що визначається частотою сигналу відповідної катушки збудження.

Блок формування сигналу збудження і обробки вимірної ЕРС реалізовано за допомогою ARM мікроконтролера моделі STM32F100. Вбудований двохканальний ЦАП дав можливість реалізувати простий алгоритм формування квадратурних сигналів катушки збудження.

Блок вимірювання ЕРС приймальної катушки містить попередній підсилювач сигналу катушки, аналоговий фільтр, АЦП ADS1256 і мікроконтролер STM32F100 для виконання математичних операцій із дискретизованим сигналом.

Значення комплексних оцінок Re і Im (рис. 11) для кожної із частот системи отримуються блоками AA1 і зчитуються головним мікроконтролером підсистеми ідентифікації. З отриманого набору комплексних оцінок визначаються параметри векторів для кожної із частот R_j , ϕ_j .

$$R_j = \sqrt{\text{Re}(f_j)^2 + \text{Im}(f_j)^2}, \quad \phi_j = \arctan\left(\frac{\text{Im}(f_j)}{\text{Re}(f_j)}\right) \quad (7)$$

Ці значення довжини і кута вектора кожної із досліджуваної частоти усереднюються для знаходження усталеного 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.

Аналогічно згладжуються поточні значення $R_{0.4_{j,i}}$, $\phi_{0.4_{j,i}}$ для усунення випадкових завад із часом усереднення $\tau = 0.4$ с.

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

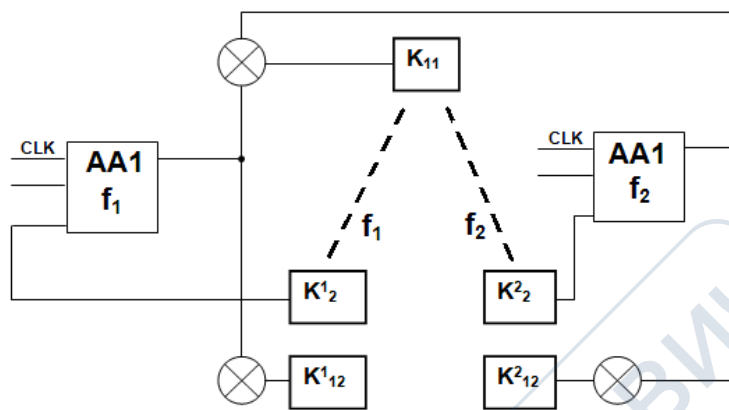


Рис. 12 – Структурна схема підключення для двох траєкторій

$$Ua_{j,i} = (R0.4_{j,i} - R10_{j,i}) + q \cdot |\phi0.4_{j,i} - \phi10_{j,i}|, \quad (8)$$

де q - узгоджувачий коефіцієнт впливу фази сигналу.

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

При вимірюванні зміни сигналу по різних частотах збудження вибирається та, зміна в якій найбільша. Для неї визначається максимальне значення такої зміни. Як тільки наростання значення $Ua_{j,i}$ припиняється чи зменшується, проводиться подальше опрацювання прийнятого сигналу.

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

$$G_{12,i} = \frac{Ua_{2,i}}{Ua_{1,i}} \quad (9)$$

За цим коефіцієнтом шукається положення МВ. З метою покращення фільтрації сигналу у мікроконтролері використано алгоритм цифрових хвилевих фільтрів.

У п'ятому розділі наводиться розробка і інтеграція підсистем ідентифікації та вилучення МВ в структуру АСК процесом підготовки сировини.

Розглядається розроблене апаратне, комунікаційне і алгоритмічне забезпечення. Основу БУ (рис. 2) підсистеми вилучення МВ складає контролер фірми Siemens серії S7-1200 CPU 1214, який забезпечує реалізацію алгоритму вилучення МВ з сировини. Для оперативного контролю і керування за процесом ідентифікації та вилучення МВ передбачена панель оператора КТР700.

Алгоритм роботи підсистеми вилучення МВ передбачає обробку даних від підсистеми ідентифікації, прийняття рішення про включення необхідної кількості ЕМ в залежності від габаритів МВ, здійснення (при необхідності) повторного контролю наявності МВ та проведення автоматичного розвантаження вилученого МВ. Окрім цього, алгоритм передбачає включення ЕМ на пікову потужність для збільшення підйімальної сили. У випадку ідентифікації МВ кольорового металу алгоритм здійснює управління реверсом конвеєрної стрічки для вилучення МВ. Алгоритм реалізований у середовищі TIA-Portal v15 для розробки SCADA-системи і програмного забезпечення контролера CPU 1214.

При реалізації методу ідентифікації МВ у складі підсистеми ідентифікації було використано програмне забезпечення Keil uVision 5, що дозволило реалізувати алгоритм методу ідентифікації МВ на базі мікроконтролера STM32F100.

З метою забезпечення обміну даних між підсистемами ідентифікації і вилучення МВ використано протокол передачі даних ModBus RTU. Для його реалізації було розроблено карту регістрів до яких звертається підсистема вилучення МВ. Значення величини, що заноситься в регістр, характеризує розмір МВ, який спричинив зміну інтенсивності вимірюваного сигналу. В регістрах зберігаються дані про наявність і габаритні розміри, тип металу МВ та час його ідентифікації. В залежності від розміщення МВ конвеєрна стрічка ділиться на 8 умовних зон, які співвідносяться із регістрами даних про ідентифіковане МВ.

Розробка БЕМ вилучення МВ (рис. 3) передбачала розрахунок ЕМ вихо-

дячи із розмірів конвеєрної стрічки і умов роботи підсистеми вилучення. В результаті здійснених розрахунків і моделювання в програмному середовищі FEMM 4.2, визначено склад БЕМ з 4 незалежних ЕМ, діаметр кожного із яких становить 150мм, а максимальна підймальна сила на торці ЕМ $F_p = 965\text{Н}$.

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 підсистем ідентифікації і вилучення МВ та керування частотним електроприводом.

Розглядається лабораторна установка у вигляді ділянки конвеєрної лінії, обладнаної електричним приводом, що дозволяє імітувати рух МВ в потоці сировини на конвеєрній стрічці вздовж системи котушок (рис. 13). На установці були отримані значення основних параметрів роботи підсистеми ідентифікації МВ. В результаті проведених лабораторних досліджень було виявлено 89,8% МВ від їх загальної кількості

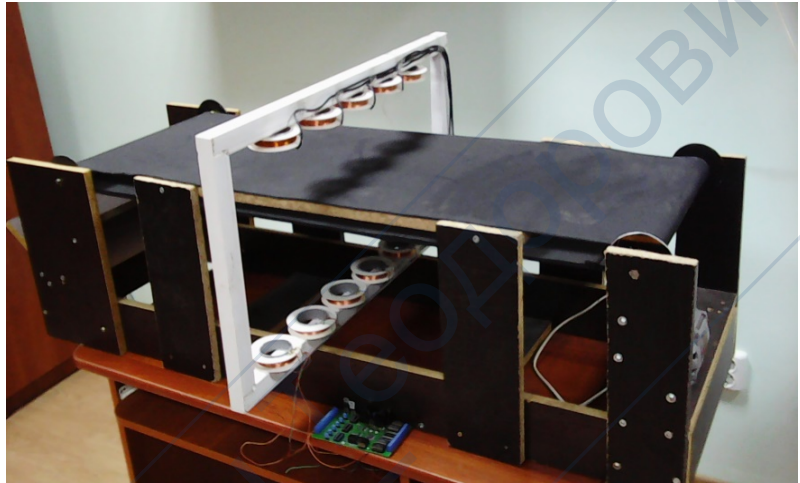


Рис. 13 – Фото лабораторної установки

Проведена апробація підсистеми ідентифікації МВ на лінії №1 СВП «Завод ПРОКЕРАМ» ТОВ «Голд Кераміка» підтвердила її ефективність. В результаті вдалось зменшити час простою технологічного обладнання внаслідок потрапляння МВ в середньому на 8.9 год. протягом календарного місяця.

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 обґрунтовано перспективність використання АСК, оснащених підсистемами ідентифікації і вилучення МВ, що вимагає теоретичного обґрунтування методу ідентифікації 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 досліdну 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 принципіві 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 ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Zamikhovskiy L., Levitskiy I., Nykolaychuk M., Striletskiy 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., Levitskiy 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. Замиховський 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. Замиховський Л.М., Левицький І.Т. Метод локалізації і ідентифікації сторонніх металічних предметів в сировині на ленточному конвеєрі. *Науковий журнал «Молодий учений»*. 2014. №8(67). С. 173-178. (**Index Copernicus**).

7. Замиховський Л.М., Левицький І.Т. Розробка апаратної частини системи контролю металічних включень в сипучій сировині на базі методу скануючого сигналу. *Науковий журнал «ScienceRise»*. 2015. №3/2(8). С. 78-81.

8. Замиховський Л.М., Левицький І.Т. Розробка структури і формулювання вимог для імпульсного спектрометра спинових ЕХА. *Методи і засоби технічної діагностики. Збірник наукових статей*. Йошкар-Ола, 2008. С. 144 - 148.

9. Замиховський Л.М., Левицький І.Т. Розробка структури і формування вимог до системи пошуку металічних 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 В07В15/00; № а201315542. заявл. 30.12.13 ; опубл. 27.10.14, Бюл. № 20. Замиховський Л. М., Євчук О. В., Левицький І. Т.

12. Замиховський 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. Замиховський Л.М., Левицький І.Т. Система для безконтактного контролю металічних 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 безпроводної 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 завод. *Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазо-промислового обладнання: VI Міжнародна наукова-технічна конференція і виставка*. Івано-Франківськ, 29 листопада – 2 грудня 2011р. С. 147-150.

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 обґрунтована перспективність використання АСК, оснащених підсистемами ідентифікації і вилучення МВ, що вимагає теоретичного обґрунтування методу ідентифікації 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 вимірної 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 КТР700.

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 катушок, 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. – Иваново-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Иваново-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 КТР700.

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.