

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО

«На правах рукопису»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри

«Електротехніка і електромеханіка
імені професора В. В. Овчарова»

доц. _____ Сергій КВІТКА

"_14_" _____ лютого ____ 2025 року

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
здобувача другого (магістерського) рівня вищої освіти

**УДОСКОНАЛЕННЯ КОНТРОЛЮ МАСИ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ
СИРОВИНИ ТЕНЗОМЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ**

Виконав: студент М2 курсу, 21 МБ ЕЕ групи
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка»

Освітня програма: Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка

_____ Б.Є. Герасименко
(підпис)

Керівник, к.т.н, доцент _____ С.В. Чаусов
(підпис)

Консультант, к.т.н., проф. _____ М. В. Зоря
(підпис)

Консультант, к.е.н., _____ С.Р. Плотніченко
доцент (підпис)

Нормоконтролер, _____ А.Г. Сабо
к.т.н., доц. (підпис)

Рецензент, к,т,н, _____ В.Б. Гулевський
доцент (підпис)

Запоріжжя, 2025 р.

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. У сучасному світі, у зв'язку з розвитком техніки та поширенням використання різноманітних технологій, все більше приділяється уваги способам покращення точності вимірів і якості керування. Контроль технологічних процесів в АПК є одним із основних засобів запобігання випуску нестандартної продукції, зміцнення технологічної дисципліни, зниження затрат і втрат на всіх стадіях виробництва. У процесі виготовлення виробу, його випробувань та експлуатації необхідно контролювати величезну кількість параметрів та характеристик. Засоби вимірювання, що використовуються в процесі контролю, повинні забезпечувати об'єктивність, необхідну точність вимірювань та високу продуктивність праці.

Для ефективності результатів першорядне значення має достовірність та об'єктивність інформації, отриманої в результаті вимірів. Необхідною умовою отримання достовірної інформації є обов'язковість застосування для цих цілей лише повірених засобів вимірювань, затверджених Держстандартом. Результати вимірювань повинні бути представлені в узаконених одиницях вимірювань. Похибки вимірювань не повинні виходити за встановлені межі із заданою ймовірністю. Крім того, у споживача користується попитом високотехнологічна продукція, забезпечена автоматичними засобами керування та діагностики. Отже, з'явилася необхідність у розробці та впровадженні таких систем контролю характеристик виробу які забезпечують можливість роботи цього виробу в автоматичному режимі самоналаштування та саморегулювання.

Серед численних методів досліджень особливе місце посідає ваговий метод завдяки своїй відносній простоті, високій достовірності та універсальності. Незважаючи на застосування нових і нових приладів, ваги, як і раніше, залишаються одним з найважливіших інструментів дослідницьких лабораторій.

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В даний час вітчизняною промисловістю випускаються десятки найменувань вагоконтрольної техніки. Однак у агропромисловому комплексі найчастіше використовуються вагові пристрої загальнопромислового призначення, які за своїми показниками не завжди відповідають умовам виробництва.

Одним із методів контролю маси технологічної сировини є тензометричний метод. Тензометричний метод вимірювання, заснований на ефекті тензометрії на даний момент є найбільш зручним і найчастіше використовуваним методом. Суть даного методу полягає в тому, що при деформації електропровідних матеріалів (металів, напівпровідників) відбувається зміна їх питомого електричного опору і, як наслідок - зміна опору чутливого елемента датчика (тензодатчика). Як провідниковий матеріал зазвичай використовуються металеві плівки, напilenі на гнучку діелектричну підкладку.

Все вище викладене зумовлює актуальність розробки сучасних засобів контролю маси технологічної сировини, призначених для ефективного вимірювання вагових характеристик сировини та готової продукції.

Мета і задачі дослідження: удосконалення контролю маси технологічної сировини тензометричним методом

Завдання дослідження:

- виконати аналіз стану питання за тематикою дослідження;
- обрати схему високоточного тензометричного датчика контролю;
- спроектувати схему автоматизованого контролю маси технологічної сировини тензометричним методом;
- вирішити питання охорони праці;
- провести техніко-економічне обґрунтування прийнятих рішень.

Об'єктом дослідження є: процес контролю маси технологічної сировини шляхом вимірювання тензометричним методом.

Предмет дослідження є: керування роботою автоматизованої системи контролю маси технологічної сировини тензометричним методом.

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ

1.1 Теоретичні відомості методів контролю маси технологічної

сировини

Розвиток сучасної науки та техніки вимагає створення високоефективного обладнання, що базується на впровадженні сучасних методів конструювання основного та допоміжного обладнання [1].

В даний час процеси контролю маси, транспортування та упаковки технологічної сировини займають одне з провідних місць у агропромисловому виробництві. Системи контролю маси робити непросто, оскільки це системи з багатьма невідомими, головні з яких – фізичні характеристики продуктів, що зважуються – щільність, дисперсність, сипкість, електризуваність, пилоутворення тощо. Для цього потрібні випробувальні стенди, конструктори, технологи та досвідчені керівники таких проєктів.

Контроль за масою є більш точним, ніж контроль по обсягом [2]. У пристроях, що працюють за цим способом, процес зважування складається з трьох етапів: вплив матеріалу на чутливий елемент контрольно-вагового пристрою, перетворення цього впливу на чисельне значення, вказівку чи реєстрацію цього значення. Найбільш прогресивним є безперервний автоматизований контроль за вагою [3].

До основного технологічного обладнання належать, наприклад, реактор, класифікатор, змішувач, екструдер, сушарка і т.д. Тут протікає будь-який хімічний, фізичний, чи фізико-хімічний процес.

До допоміжного технологічного обладнання належать, наприклад, проміжні ємності, бункери, накопичувачі, дозатори, транспортери, формувачі, пакетування тощо.

Бункерні ваги зазвичай використовуються для дозування матеріалів або збирання інгредієнтів, які потім використовуються в технологічному процесі.

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Бункерна вага може бути дуже важливою частиною цього процесу. Ваги такого типу компактні, і їх часто встановлюють на балках та інших верхніх конструкціях.

Вимір маси заснований на використанні гравітаційного взаємодії тіла, масу якого хочемо визначити, з масою Землі. Всі ваги можна розділити на чотири групи за способом врівноваження гравітаційної сили:

- гравітаційне врівноважування;
- автоматичне врівноваження;
- інерційне врівноважування;
- силова компенсація.

У минулому найбільшого поширення набули ваги з гравітаційним врівноважуванням та з автоматичним врівноважуванням. До перших відносяться широко поширені раніше коромислові (часто їх називають також важелевими) механічні ваги. Різновидами коромислових ваг є двопризменні та квадрантні ваги. Конструкції коромислових терезів досягли великої досконалості.

Терези цього типу мали прийнятну точність, надійність, простоту обслуговування, порівняно невисоку вартість і досить широко використовуються в лабораторіях підприємств і організацій різних галузей народного господарства. До недоліків цих ваг можна віднести їх низьку швидкодію.

На даний момент розвитку технологій широке поширення мають ваги з автоматичним врівноваженням, в яких здійснюється електричне перетворення зусилля. Ваги цього немає традиційного важеля, тобто. коромисла чи квадранта, і називаються "електронними вагами". Це пояснюється використанням електронних компонентів для перетворення значення вимірюваної маси електричні величини (струм, напруга), зручні для узгодження з іншими вимірювальними, обчислювальними та керуючими системами.

Сучасні електронні ваги, що використовують цифрове уявлення вимірних значень маси, характеризуються високим ступенем автоматизації процесів

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вимірювання та суттєвим розширенням функціональних можливостей ваг. Виконання цих функцій забезпечується вбудованим спеціально розробленим мікропроцесорним пристроєм обробки інформації.

У числі розв'язуваних завдань можна назвати цифрову індикацію та збереження результатів зважування, напівавтоматичне або автоматичне калібрування, запам'ятовування значення маси тари, вибірку маси тари у всьому діапазоні зважування, рецептурне зважування, зважування у відсотках, підрахунок кількості деталей (штук), зважування з функцією у зважування тварин), сполучення ваг із зовнішніми пристроями.

В даний час сформувалися два напрями побудови електронних ваг:

- з магніто-електричним зворотним перетворювачем (компенсатором) зусилля;
- на основі тензометричних датчиків.

Сучасні тензодатчики дозволяють перетворити майже будь-яку місткість або бункер у ваги [4]. Тензометричний метод вимірювання (тензорезистивний метод) на даний момент є найбільш зручним і найчастіше використовуваним методом. Заснований на ефект тензометрії. При деформації електропровідних матеріалів (металів, напівпровідників) відбувається зміна їх питомого електричного опору і, як наслідок, зміна опору чутливого елемента (тензорезистора) датчика (тензодатчика) [5].

Вирішення проблеми удосконалення контролю маси технологічної сировини має передувати виявлення основних впливових факторів як зовнішніх, так і внутрішніх (конструкційних), дослідження величини цього впливу.

1.2 Аналіз можливостей удосконалення контролю маси технологічної сировини

За допомогою спеціального вагового модуля практично будь-яку конструкцію можна перетворити на бункерні ваги. Бункерні ваги складаються з бу-

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

нкера, який відкритий зверху і зазвичай використовується для роботи з твердими матеріалами у вигляді порошків або гранул і S-подібного тензодатчика [4,5,6].

Тензометричні датчики ваги відіграють велику роль у забезпеченні довговічності та надійності системи бункерних ваг. Правильний вибір бункерних ваг має вирішальне значення для того, щоб результати зважування були надійними та точними.

Розвиток комп'ютерної техніки та застосування АЦП уможливило не тільки реєстрацію сигналів тензодатчиків, але і їх цифрова обробка в реальному часі, візуалізація деформацій на екранах моніторів та автоматична видача сигналів, що управляють, для зміни режиму роботи конструкції, наприклад.

До основних похибок тензометричних вимірів відносяться:

- неточність у визначенні константи K - вона викликана неможливістю відкалібрувати датчик, не заклеївши його попередньо;
- помилка, викликана шумом та дрейфом - пов'язана з дуже низьким рівнем вихідного сигналу мостової схеми, у разі неточного калібрування можливі додаткові помилки при роботі з неврівноваженим мостом.

До поширених джерел помилок обробки електричних сигналів з тензодатчиків належать [6,7]:

- температура;
- вологість;
- початкові напруги тензорезистора;
- додаткові поперечні напруги;
- вплив граничної частоти при динамічних вимірах.

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

1.3 Тензодатчики. Загальні відомості та принцип роботи

Прилади вимірювання деформацій називаються тензометрами. За принципом дії тензометри поділяються на електричні, оптичні, пневматичні, акустичні. До складу тензометра входить тензометричний датчик (тензодатчик) і пристрої, що показують (блоки індикації, термінали) та/або реєструючі пристрої.

Тензодатчики (тензометричні датчики) є основним первинними пристроєм перетворення фізичної величини ваги в нормований електричний сигнал. Сигнал з тензодатчика згодом обробляється вторинними перетворювачами (ваговий індикатор, ваго процесор, аналого-цифровий перетворювач і т.д.).

Вагові тензодатчики (тензометричні датчики) - пристрій для вимірювання деформації різних конструкцій, заснований на визначенні зсуву (або переміщення) пружного елемента. Датчики зсуву можуть вимірювати як лінійний зсув (при поступальному русі), так і кут повороту (при обертанні). Існує безліч способів вимірювання деформацій відповідно до використовуваних принципів перетворення: тензорезистивних, оптико-поляризаційний, п'єзо резистивних, волоконно-оптичний, або простим зчитуванням показань з лінійки механічного тензодатчика. Серед електронних тензодатчиків, найбільшого поширення набули тензорезистивні датчики [8,9].

Існують різні типи датчиків залежно від сфери застосування:

- тензодатчики силовимірювальні (вимірює зусилля і навантаження);
- тензодатчики ваговимірювальні (вимірює вагу);
- тензодатчики тиску (вимірювання тиску в різних середовищах);
- акселерометри (датчики прискорення);
- тензодатчики переміщення;
- тензодатчики крутного моменту.

Найбільш типовим застосуванням тензодатчиків є ваги. В залежності від конструкції бункеру застосовуються вагові тензодатчики різного типу:

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

- тензодатчики консольні (балочні тензодатчики);
- тензодатчики s-подібні;
- тензодатчики "шайба" (тензодатчики мембранного типу);
- тензодатчики "бочка" (тензодатчики колонного типу).

Тензодатчики (тензометричні датчики) представляють собою пружний елемент на якому зафіксовано тензорезистор, під дією сили (вага вантажу) відбувається деформація пружного елемента разом з тензорезисторів. По зміні опору тензорезистора можна обчислити ступінь деформації, яка буде пропорційна силі, яка додається до конструкції.

Принцип вимірювання ваги за допомогою тензодатчиків заснований на зрівноважуванні маси вантажу, що зважується з пружною механічною силою тензодатчиків і подальшого перетворення цієї сили в електричний сигнал для наступної обробки.

Тензометри, призначені для вимірювання деформацій у багатьох точках досліджуваного об'єкта та забезпечені засобами обробки даних, їх реєстрації та передачі як сигнали управління, часто називають тензометричними станціями або тензостанціями [8,9,10].

Основною їх характеристикою є коефіцієнт тензочутливості K , який визначається як відношення зміни опору $\Delta R/R$ до зміни деформації $\Delta L/L$. У більшості дріт'яних тензорезисторів $K=2$, а у напівпровідникових – $K=100$.

Тензорезистори бувають трьох типів (рис. 1.1, а, б, в): дріт'яні на паперовій (типу 2ПКБ) та плівковій (типу 2ПКП) основі; фольгові прямокутні (типу 2ФКПА та 2ФКПД), розеткові (Типу 2ФКРВ, 2ФКРГ); напівпровідникові (типу КТД, КТДМ, КТЕ, КТЕМ, П-8, П-12).

Номінальний робочий струм (допустимий) для дріт'яних тензорезисторів становить приблизно 30 мА, для фольгових – 0,5 А. Максимальна допустима відносна деформація вбирається у 0,3 %.

До резисторних перетворювачів належать також вугільні перетворювачі (рис. 1.1, г). Принцип їх дії заснований на зміні контактного опору R між час-

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

тинками при зміні зусилля P . Характеристика $R = f(P)$ вугільного перетворювача не лінійна, тобто він має змінну чутливість. Тому вибирають робочий діапазон з лінійною ділянкою характеристики.

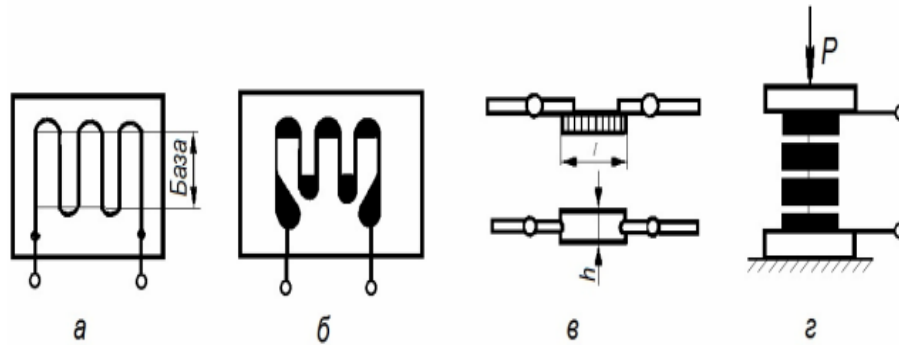


Рисунок 1.1 - Тензометричні датчики

При вимірах включають або по потенціометричній (рис. 1.2, а), або за мостовою (рис. 1.2, б) схемах.

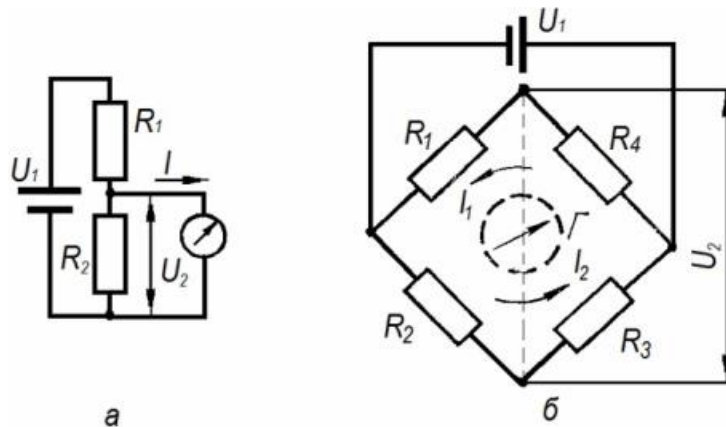


Рисунок 1.2. Схеми включення тензометричних датчиків

До переваг електронних тензометричних датчиків віднесено [5,6]:

- простота вимірювального перетворювача деформації в електричний сигнал - тензорезистора;
- можливість проведення вимірювань у широкому діапазоні температур при самотермокомпенсації чи автоматичної схемної компенсації;
- малі габарити тензорезистора, що забезпечують можливість вимірювання в важкодоступних місцях;
- практична безінерційність тензорезистора, внаслідок чого амплітудно-частотно-фазова характеристика вимірювального перетворювача фактично визначається лише властивостями пружного елемента;
- висока стабільність вимірювальних властивостей;

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

- можливість вимірювання деформацій при різних розмірах бази, починаючи з десятих часток міліметра;
- можливість дистанційних вимірювань у великій кількості точок;
- можливість вимірювань за різних зовнішніх умов (вологість, тиск), несприятливих інших вимірювальних засобів;
- порівняно невисока вартість.

Разом з тим, тензорезисторам властиві деякі недоліки [12,13]:

- неможливість індивідуального градуювання;
- відносно невисока чутливість;
- відносно низький абсолютний рівень вихідних сигналів.

Тензодатчики є найбільш вразливим компонентом ваговимірювальної системи. В процесі експлуатації на вагові тензодатчики впливають: агресивна навколишнє середу, ударні динамічні навантаження, електростатичне вплив (зварювання), вібрації і т.д. Тому в періоди технічного обслуговування, перед установкою в обладнання, а також в аварійних випадках, існує необхідність діагностики вагових тензодатчиків [11,12,13,14,15].

Висновки до розділу

На підставі проведеного огляду можна зробити висновок про те, що основними проблемами, які необхідно в першу чергу вирішувати для удосконалення контролю маси технологічної сировини є проблема підвищення їх точності.

Підвищення точності тензометричним методом може не лише знизити перевитрата дорогих продуктів, але і дозволить працювати на мінусових допусках.

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 УДОСКОНАЛЕННЯ КОНТРОЛЮ МАСИ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИРОВИНИ ТЕНЗОМЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ

Способи удосконалення контролю маси технологічної сировини тензометричним методом можна поділити на дві групи: удосконалення роботи самої системи та розширення системи додатковими модулями. Повинні широко застосовуватись швидкодіючі датчики, а системи автоматизованого керування процесом контролю маси технологічної сировини будуватися на основі мікроЕОМ та мікропроцесорів [16,17,18].

Істотний внесок у спрощення реалізації та підвищення ефективності роботи вагоконтрольного модуля внесло поява доступних електронних тензометричних датчиків, побудованих на основі тензорезисторів та пружних елементів, що володіють низьким енергоспоживанням, високою надійністю та великим терміном служби, а також підвищення доступності швидкодіючих аналогоцифрових перетворювачів та інтегральних підсилювачів сигналів (тензо-станцій).

2.1 Обґрунтування вибору тензометричного датчику

Ключовим елементом контролю маси технологічної сировини тензометричним методом є тензометричний датчик (тензодатчик).

Тензодатчик є приладом, що перетворює механічну величину (вагу або пропорційну нею деформацію) в електричний сигнал.

Аналогові датчики є найпопулярнішим типом тензодатчика, який широко використовується для вимірювання напруги та деформації, викликані вагою. Ці датчики прикріплені до пружинного елемента в датчику навантаження, який згинається під час навантаження. Коли елемент згинається, тензодатчик розтягується, змінюючи опір резистора. Ця зміна опору потім перетворюється на сигнал напруги, який через дроти передається на ваги. Цей процес забезпечує інженерам точні вимірювання в реальному часі [12,13].

Ключові характеристики:

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- обробка сигналу: виводить аналогову напругу, яка може бути чутливою до шумів і перешкод;
- роздільна здатність : забезпечує безперервні дані в режимі реального часу, що дозволяє плавно та миттєво зчитувати;
- точність : забезпечує високу точність, як правило, в діапазоні від 0,03% до 1%, залежно від конструкції та якості тензодатчика;
- простота: легко інтегрувати та використовувати в різних системах завдяки своїй простій конструкції;

Одна з основних частин будь-якого тензодатчика — ваговимірювальний пружний елемент із спеціальної легованої сталі. На його поверхні розташовані перетворювачі виконані з дроту, що володіють особливою властивістю - тензочутливістю, тобто здатністю змінювати опір електричному струму при деформації.

Конструктивно датчик ваги складається з металевого корпусу (його також називають флексурою), до якого прикріплені фольгові тензодатчики. Корпус датчика зазвичай виготовляється з алюмінію або нержавіючої сталі, що надає датчику дві важливі характеристики: (1) забезпечує міцність, щоб витримувати високі навантаження, і (2) має еластичність, щоб мінімально деформуватися та повертатися до своєї початкової форми під час дії сили [16,17,18].

При застосуванні сили (розтягу або стиснення) (рис. 2.1) металеве тіло діє як «пружина» і трохи деформується, і якщо воно не перевантажується, воно повертається до своєї початкової форми. Коли вигин деформується, тензодатчик також змінює свою форму і, як наслідок, свій електричний опір, що створює зміну диференціальної напруги через схему моста Уїтстона. Таким чином, зміна напруги пропорційна фізичній силі, прикладеній до вигину, яку можна обчислити за допомогою вихідної напруги ланцюга датчика навантаження.

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

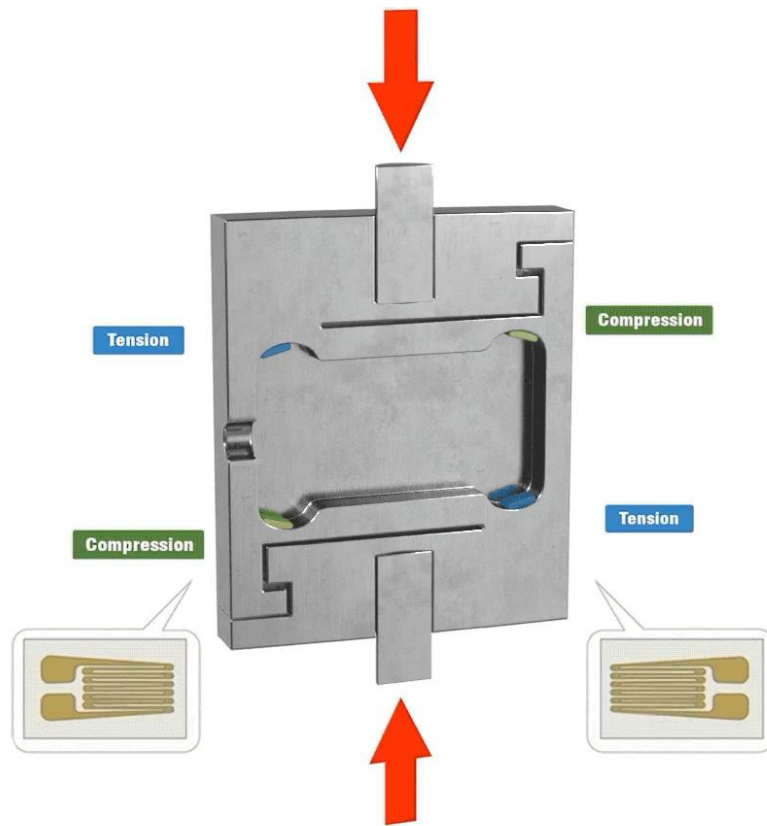


Рисунок 2.1 – Тензодатчик. Принцип роботи

Ці тензометричні датчики розташовані у так званій ланцюзі моста Уїтстона (рис. 1.2). Це означає, що чотири тензорезистори з'єднані між собою як петлева схема (ланцюг тензодатчика), а вимірвальна сітка вимірюваної сили вирівняна відповідно.

Важливою концепцією датчиків ваги є чутливість і точність. Точність датчика ваги можна визначити як найменшу величину сили, яку можна прикласти до корпусу датчика, щоб викликати лінійну та повторювану зміну вихідної напруги. Чим вища точність тензодатчика, тим краще, оскільки він може постійно фіксувати дуже відчутні коливання сили.

Вибір датчика є складним завданням, оскільки жоден датчик не підходить для всіх застосувань. Немає справжнього галузевого стандарту щодо того, як ви вибираєте продукт. Інші проблеми, з якими ви можете зіткнутися, включають пошук сумісного приладдя або потреби в нестандартному продукті, який може збільшити час доставки. Навіть якщо ви виберете правильний

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

датчик, він не дасть задовільних результатів, якщо його встановити неправильно.

Щоб звести ці виклики до мінімуму, ось кілька ключових речей, які слід враховувати під час процесу відбору [16,17].

Крок 1

Розуміння вашої заявки та визначення ваших вимог є важливою частиною цієї процедури. Після того, як ви чітко визначили свою програму, визначте, що саме ви хочете вимірювати. Ви хочете виміряти навантаження? Це означає, що ви хочете перетворити вхідну механічну силу в електричний сигнал. Зауважте, що тензодатчики відрізняються від датчиків тиску. Датчики навантаження можна використовувати для вимірювання поверхневого тиску. Застосування тензодатчиків включають тиск до в'язкості/розділення рідини, автоматизацію, зважування медичних мішків та багато іншого.

Крок 2

Потім подивіться на деякі ключові характеристики, які визначають ваші потреби. У вас статичне навантаження чи це динамічний тип? Визначити тип кріплення. Як ви будете монтувати цей тензодатчик? Чи є це внутрішнім/зовнішнім різьбленням, лінійним кріпленням, боковим кріпленням, фланцевим кріпленням, наскрізним отвором чи компресійною шайбою? Який ваш напрямок навантаження? (Натяг, стиснення або обидва.)

Крок 3

Визначення ваших вимог до потужності так само важливе, як і вищезгадані характеристики. Визначте мінімальні та максимальні вимоги до потужності. Обов'язково вибирайте потужність, що перевищує максимальне робоче навантаження, і визначте всі сторонні навантаження та моменти перед вибором потужності. Примітка: зовнішнє навантаження та моменти збільшують комбіновану напругу, що прискорює втому, а також вплине на продуктивність і точність, якщо не вибрано правильний тензодатчик. Більшість вбудованих датчиків, таких як *S-Beam*, не розроблені з можливістю стороннього наванта-

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

ження та моменту. Для додатків, пов'язаних із витривалістю або втомою, спробуйте працювати на 50% або нижче від номінальної потужності або використовуйте вже розроблений виробником датчик з оцінкою втоми.

Крок 4

Далі визначте свої вимоги до розміру (ширина, вага, висота, довжина тощо) та вимоги до специфікацій (вихід, нелінійність, гістерезис, повзучість, опір мосту, роздільна здатність, частотна характеристика тощо).

2.2 Удосконалення схеми тензодатчика

Аналогові тензодатчики виробляють сигнали з низьким мілівольтом, які більш сприйнятливі до шуму та погіршення сигналу на великих відстанях, що вимагає додаткової обробки сигналу.

Аналогові тензодатчики передають безперервний сигнал напруги, безпосередньо пов'язаний із прикладеною силою, що робить їх чутливими до шуму та перешкод.

Аналогові тензодатчики надають безперервні дані в реальному часі, придатні для негайного зворотного зв'язку, але можуть страждати від шуму.

Аналогові тензодатчики вигідні своєю простотою та безперервними даними в режимі реального часу [10,12].

Розуміння цих відмінностей допомагає вибрати правильний тензодатчик для конкретних потреб, забезпечуючи оптимальну продуктивність і надійність у додатках для вимірювання сили.

Тензорезистори – це датчики деформації, які приклеєні до пружного корпусу тензодатчиків. Зусилля, яке деформує тензорезистори, зробить зміну R у номінальних значеннях опорів. Ці невеликі зміни опору на кожен тензорезистор збільшується за рахунок резистивного дисбалансу, створеного мостом Уїтстона, і таким чином отримує вихідний сигнал, пропорційний доданій силі.

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Тензодатчик заснований на електричній схемі, яка називається мостом Уїтстона [5,6,7,9].

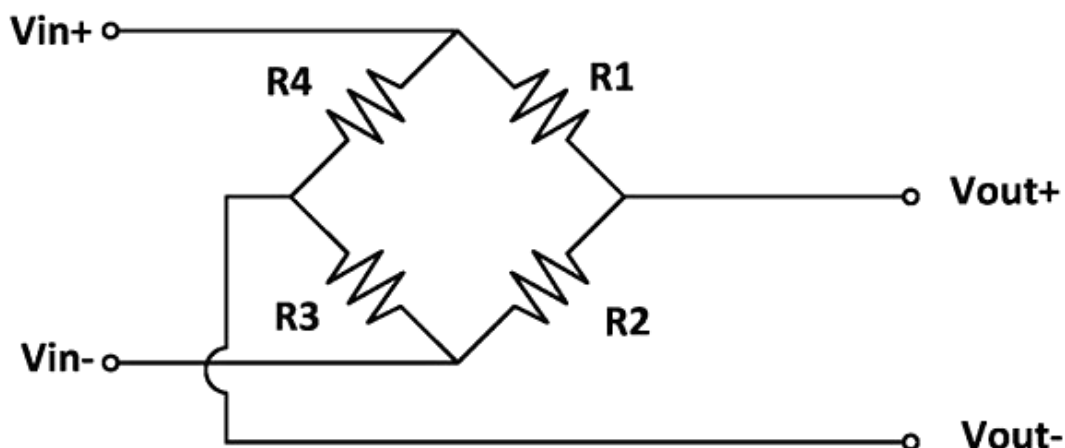


Рисунок 2.2 - Схема підключення тензодатчика

На рисунку 2.2 V_{in} джерело живлення мосту або вхідне збудження ($V =$ Вольт) та V_{out} вихідний сигнал.

Така схема комутації дозволяє вимірювати дуже невеликі зміни опору ΔR , які відбуваються в тензодатчиках $R1$, $R2$, $R3$ і $R4$ встановлених у плечах моста.

Коли тензодатчик немає навантаження, чотири тензорезистора перебувають у стані спокою і мають однакове значення опорів. Номінальне значення опору тензодатчика R_g :

$$R1 = R2 = R3 = R4 = R_g. \quad (2.1)$$

У цьому випадку вихідний сигнал V_{out} , диференціальний між V_{out+} та V_{out-} , дорівнює 0 Вольт (нуль тензодатчика). При завантаженні тензодатчика тензорезистори змінюють значення свого опору в дуже невеликому співвідношенні ΔR :

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

$$R1=Rg-\Delta R; R2=Rg+\Delta R; R3=Rg-\Delta R; R4=Rg+\Delta R,$$

$$(2.2)$$

Через ці зміни ми отримуємо вихідний сигнал V_{out} , пропорційний зміні опору тензорезисторів при деформації і водночас пропорційний пружній деформації корпусу датчика, який пропорційний доданій силі. Тим самим виходить силовий перетворювач з електричним вихідним сигналом пропорційним доданій силі.

Слід зазначити, що ця резистивна схема також пропорційна вхідному напрузі живлення, тому вихідні параметри тензодатчика зазвичай вказуються мВ/В (мілівольт на вольт).

Щоб виготовити дійсно високоточний тензодатчик, необхідна додаткова схема для тензорезисторів, призначена для точного регулювання вихідного сигналу при різних навантаженнях, а також необхідна термокомпенсація роботи тензодатчика.

Наступна схема дозволяє розглянути роботу тензодатчика (рис.2.3).

$Rz1$ та $Rz2$ резистори нульового балансу. Виконують точне налаштування вихідного сигналу без навантаження (нуль тензодатчика), щоб отримати вихідне значення дуже близьке до 0 мВ.

$Rzt1$ та $Rzt2$ резистори з температурною компенсацією. Виконують точне налаштування тензодатчика термокомпенсаційними резисторами для отримання стабільного нульового сигналу (без навантаження) у всьому діапазоні робочих температур тензодатчика.

$Rs1$, $Rn1$ і $Rs2$, $Rn2$ компенсують чутливість тензорезисторів до зміни температури. Резистори $Rn1$ і $Rn2$ змінюють своє номінальне опору зі зміною температури, $Rs1$ та $Rs2$ використовуються для компенсації змін, що відбуваються в механічній пружності корпусу датчика ваги, для отримання стабільних показань, що не залежать від зміни температури.

$Raf1$, $Rag1$ та $Faf2$, $Rag2$ резистори регулювання номінальної чутливості тензодатчика. Rag резистори використовуються для грубого регулювання,

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок сигналу, який один або кілька тензодатчиків системи зважування видають за певного збільшення навантаження розраховується за формулою:

$$\Delta u = \frac{(C \cdot 1000 \cdot U_{exc} \cdot e)}{N \cdot E_{max}}, \quad (2.3)$$

де Δu - збільшення сигналу в мкВ/розподіл (одне поділ максимальної кількості інтервалів датчика),

C - номінальна чутливість осередку мВ/В,

U_{exc} – напруга збудження тензодатчика,

e – розмір ціни поділу в кг,

N – кількість тензодатчиків,

E_{max} – номінальне навантаження датчиків.

Як видно у наведених вище прикладах, значення сигналів, які тензодатчики видають на кожен поділ, дуже малі від 1 до 2 мкВ / поділ. Тому для роботи з датчиками слід використовувати спеціальні високочутливі електронні прилади, які мають надстабільну напругу джерела живлення, стабільні диференціальні підсилювачі, аналого-цифрові перетворювачі з високою роздільною здатністю від 16 до 24 біт, а також фільтри та відповідні засоби захисту.

Екранування сигнальних кабелів тензодатчиків та заземлення всієї системи допоможе захистити ці слабкі сигнали від перешкод, що виникають у процесі роботи промислового обладнання.

2.3 Обґрунтування та вибір аналого-цифрового перетворювача

Тензодатчик, як і більшість датчиків, видає аналоговий сигнал, який потім потрібно перетворити на цифровий для подальшої обробки або передачі. Перетворювачі сигналів приймають, обробляють сигнал із датчика та відпра-

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вляють його в підсистему АЦП. Перетворювачі сигналів служать для підготовки сигналів до подальшого перетворення підсистемою АЦП на цифрову область для відображення, зберігання та аналізу [16,17].

Сучасні перетворювачі сигналів складаються з обов'язкових компонентів, які дозволяють виконувати свою роль в системах збору даних. Ці компоненти включають:

- електричну ізоляцію;
- правильні роз'єми для підключення датчиків;
- вибір діапазону вимірювання;
- фільтрацію сигналів;
- відповідність вимогам датчика.

Перетворювачі сигналів тензодатчика, мабуть, виконують найскладніші завдання у сфері збору даних. Насамперед, вони підтримують схеми з множинними підключеннями: від відносно простих конфігурацій повного моста до конфігурацій чверть моста та півмоста з різними варіантами проводки.

Тензометричні мостові підсилювачі (або тензометричні підсилювачі) забезпечують регульовану напругу збудження в ланцюзі датчика навантаження та перетворюють вихідний сигнал mV/V в іншу форму сигналу, більш корисну для користувача. Сигнал, створений мостом тензодатчика, є сигналом низької сили і може не працювати з іншими компонентами системи, такими як ПЛК, модулями збору даних (DAQ), комп'ютерами або мікропроцесорами. Таким чином, функції формування сигналу тензодатчика включають напругу збудження, фільтрацію або ослаблення шуму, посилення сигналу та перетворення вихідного сигналу.

Крім того, зміна вихідної напруги підсилювача відкалібрована так, щоб вона була лінійно пропорційною ньютонівській силі, прикладеній до вигину, яку можна розрахувати за допомогою рівняння напруги ланцюга датчика навантаження.

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Отже, ланцюжок перетворення механічного зусилля в електричний сигнал виглядає так: Маса (кг) -> Зусилля (Н) -> Механічна деформація -> Електричний опір -> Міст Уїтстона -> Електричний сигнал (мВ/В) (рис. 2.3)

Зв'язок між навантаженням та вихідною напругою тензодатчика розраховується за формулою (2.4):

$$U_{вих} = \frac{\gamma \cdot U_{ж} \cdot F_x}{F_{ном}} \quad (2.4)$$

де: $U_{вих}$ – напруга на виході тензодатчика;

γ – робочий коефіцієнт перетворення;

$U_{ж}$ – напруга живлення;

F_x – сила прикладена до тензодатчика;

$F_{ном}$ – номінальне навантаження тензодатчика.

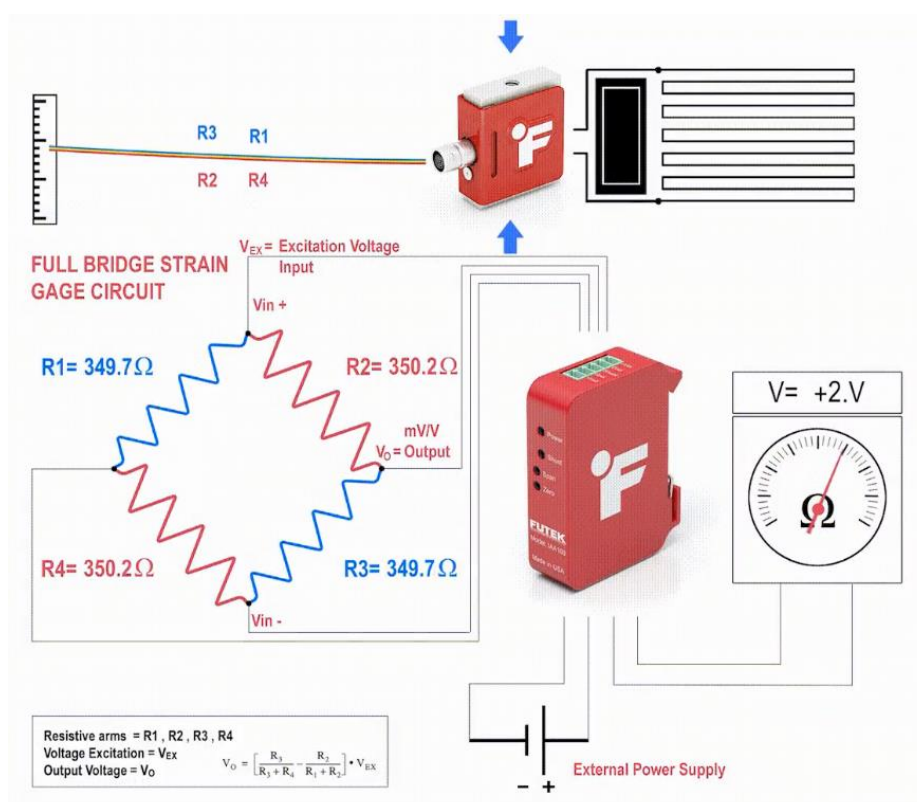


Рисунок 2.4 - Ланцюжок перетворення механічного зусилля в електричний сигнал

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Сигнал з виходу тензодатчика надходить на вхід аналого-цифрового перетворювача (АЦП), де здійснюється ратіометричний вимір вихідної напруги тензодатчика, тобто код АЦП – $N_{\text{АЦП}}$ пропорційний не абсолютному значенню напруги, а його відношенню до напруги живлення:

$$N_{\text{АЦП}} = \frac{K_{\text{АЦП}} \cdot U_{\text{вих}}}{U_{\text{ж}}}. \quad (2.5)$$

де: $N_{\text{АЦП}}$ – код АЦП;

$K_{\text{АЦП}}$ – коефіцієнт перетворення АЦП.

Значення коефіцієнтів, що входять до формул 2.1 і 2.2, є константи які притаманні кожному окремому датчику та точне значення яких не відомо. Тому експлуатація датчика передбачає попереднє калібрування - встановлення значень реальної характеристики перетворення.

Для перетворення сигналу на *Arduino* можна використовувати вбудований 10-бітовий АЦП (аналого-цифровий перетворювач). Він дозволяє перетворити аналоговий сигнал на цифровий формат, який потім можна використувати в програмі *Arduino*.

Підключення тензодатчика *Arduino Uno* є важливим етапом у створенні будь-якого проєкту, пов'язаного з вимірюванням сили. За допомогою правильної підготовки та розуміння процесу підключення можна успішно використувати тензодатчики.

Однак, при підключенні датчика до аналогових пін *Arduino*, точність вимірювань може бути невисокою. Це з обмеженою розрядністю вбудованого АЦП, що становить лише 10 біт. Це означає, що максимальна кількість унікальних значень, які можна отримати від АЦП, дорівнює 210, або 1024.

Для більш точних вимірювань можна використовувати зовнішній АЦП, наприклад, HX711 [18,19,20]

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

НХ711 - 24-бітний двоканалний АЦП модуль для прецизійного вимірювання аналогового сигналу від датчиків ваги (тензодатчиків) та перетворення його на цифрове значення для використання мікроконтролером. Вихідний інтерфейс – I2C.

Характеристики:

Робоча напруга 5 В

Робочий струм до 10 мА

Інтерфейс I2C

Частота поновлення максимальна 80 Гц

Розрядність АЦП 24 біт

Диференціальна вхідна напруга ± 40 мВ/ ± 20 мВ

Робоча температура -40 - +85 °C

Розміри 34x21x10 мм

Вага 3 г

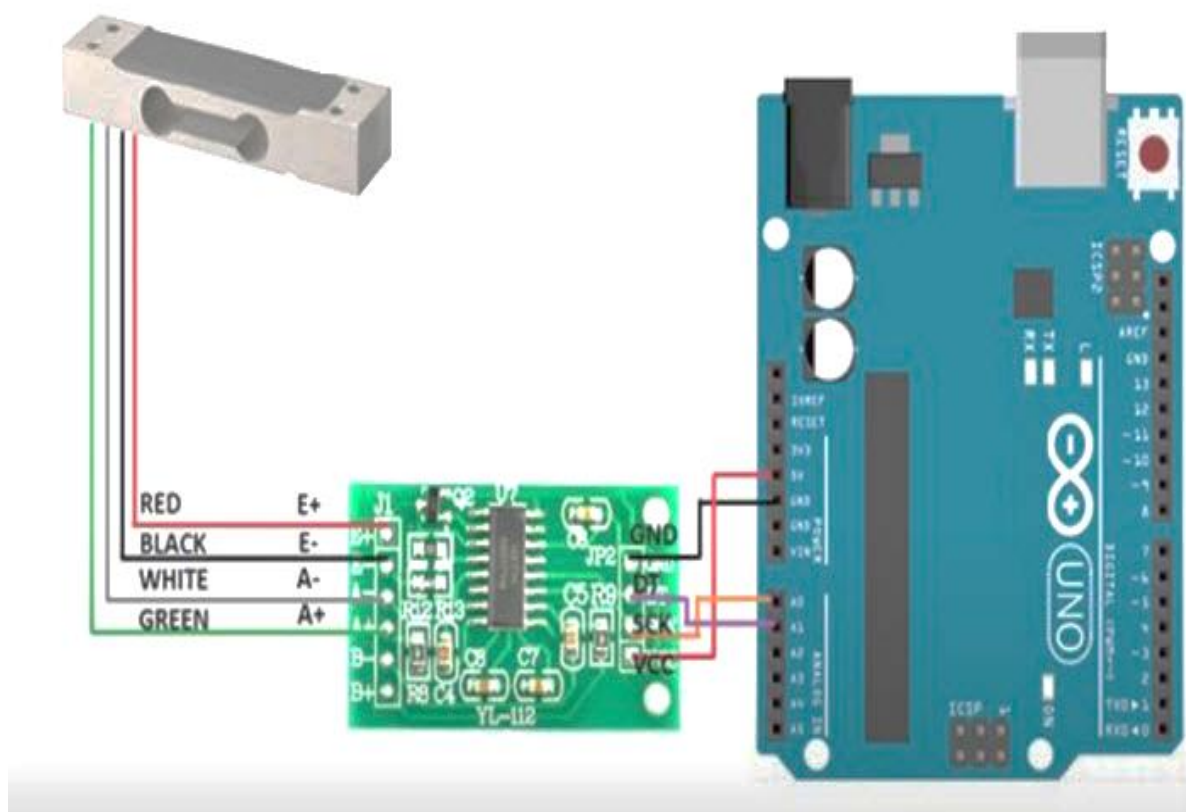


Рисунок 2.5 - Схема підключення НХ711 до тензодатчика та *Ардуіно*

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

Модуль HX71	Arduino Uno	Тензодатчик	HX71
GND (загальний контакт)	GND	Червоний	E+
VCC (напруга живлення)	5V	Білий	A-
DT (дані)	2	Чорний	E-
SCK (частота) - інтерфейс ІІС (I2C)	3	Зелений	A+
Модуль HX71	Arduino Uno	Тензодатчик	HX71
GND (загальний контакт)	GND	Червоний	E+
VCC (напруга живлення)	5V	Білий	A-
DT (дані)	2	Чорний	E-
SCK (частота) - інтерфейс ІІС (I2C)	3	Зелений	A+

Таблиця 2.1 - Підключення HX711 до тензодатчика та Ардуіно

Цей АЦП має розрядність 24 біти, що значно збільшує кількість унікальних значень, які можна отримати, і, отже, збільшує точність вимірів. З 24-бітним АЦП, максимальна кількість унікальних значень становить 2^{24} , або

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

близько 16 мільйонів, що дає точність вимірювань приблизно 0.000015%, що набагато вище, ніж у 10-бітного АЦП.

Опис роботи протоколу передачі

Протокол зв'язку насправді досить простий для розуміння і схожий на SPI. Для його роботи потрібно всього два піна:

- *dataPin*: висновок, на який побитово надходять дані;
- *clockPin*: пін синхронізації, задає початок та кінець передачі кожного біта даних на *dataPin*.

Поки цифрові дані не готові до виймання, цифровий вихід DOUT модуля HX711 має високий рівень сигналу. При цьому на вході синхронізації PD_SCK має бути низький рівень. Поява низького рівня на виході DOUT вказує на те, що готові дані для вилучення.

За допомогою подачі 25 - 27 імпульсів на виведення PD_SCK дані висуваються на вихід DOUT. По кожному імпульсу на виведенні PD_SCK 1 біт даних висувається цифровий вихід DOUT, причому старшими розрядами вперед. Так відбувається до тих пір, поки всі 24 біти не будуть використані для висунення даних. Двадцять п'ятий імпульс на вході PD_SCK знову поверне на виході DOUT високий рівень сигналу.

Завершується передача даних подачею певної кількості імпульсів на вхід PD_SCK для вибору входу та коефіцієнта посилення при наступному зборі даних на АЦП. Для того, щоб не виникали помилки при послідовній передачі даних, кількість імпульсів, що подаються на вхід PD_SCK, повинна бути в діапазоні 25-27 в межах інтервалу (або циклу) обробки.

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Структура даних, що передаються, показана на схемі нижче:

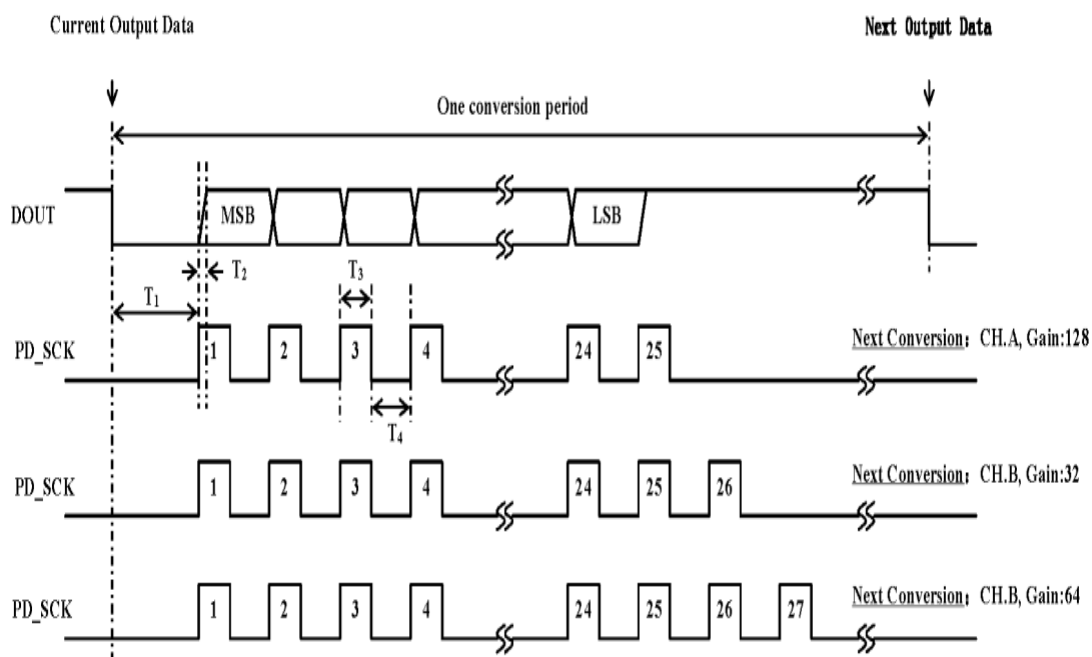


Рисунок 2.6 - Візуалізація даних, що передаються

Щоб працювати з тензодатчиком необхідно скористатися бібліотекою NX711.h. Оскільки на виході вимірювального моста змінюється напруга, то саме воно перетворюється в бінарний код. Діапазон контрольованої напруги залежить від обраного коефіцієнта посилення. Якщо коефіцієнт дорівнює 128, діапазон вимірюваних напруг варіюється від - 20 mV до +20 mV, вибір коефіцієнта посилення 64 визначає межі вимірювання від - 40 mV до +40 mV і при коефіцієнті рівному 32 межі вимірювання визначаються величинами - 80 mV і + 80 mV. Ці дані будуть коректними тільки при напрузі живлення +5 V. Якщо вхідна напруга вийде за нижню межу діапазону, АЦП видасть код 800000h, а якщо за верхню, то код буде 7FFFFFFh.

Перед тим, як почати користуватися датчиком, його необхідно відкалібрувати [10].

Калібрування датчика ваги – це налаштування або набір виправлень, які виконуються на датчику або приладі (підсилювачі), щоб переконатися, що датчик працює якомога точніше або без помилок.

Кожен датчик ваги схильний до помилок вимірювання. Ці структурні

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

невизначеності є просто алгебраїчною різницею між значенням, яке вказує вихідний сигнал датчика, проти фактичного значення вимірюваної змінної або відомих еталонних ваг. Помилки вимірювання можуть бути викликані багатьма факторами:

Зсув нуля (або нульовий баланс датчика ваги): зсув означає, що вихідний сигнал датчика при нульовій вазі (справжній нуль) вищий або нижчий за ідеальний вихідний сигнал. Крім того, нульова стабільність пов'язана зі ступенем, до якого перетворювач підтримує свій нульовий баланс, коли всі умови навколишнього середовища та інші змінні залишаються незмінними.

Лінійність (або нелінійність): деякі датчики мають повністю лінійну характеристичну криву, що означає, що вихідна чутливість (нахил) змінюється з різною швидкістю в усьому діапазоні вимірювань. Деякі з них досить лінійні в бажаному діапазоні та не відхиляються від прямої лінії (теоретично), але деякі датчики вимагають більш складних обчислень для лінеаризації виходу. Таким чином, нелінійність датчика ваги — це максимальне відхилення фактичної калібрувальної кривої від ідеальної прямої лінії, проведеної між вихідними сигналами без тиску та номінальним тиском, виражене у відсотках від номінального вихідного сигналу.

Гістерезис: максимальна різниця між вихідними показаннями датчика для однакової прикладеної ваги; одне показання отримано шляхом збільшення ваги від нуля, а інше — шляхом зменшення ваги від номінальної потужності. Зазвичай вимірюється на половині номінальної потужності та виражається у відсотках від номінальної потужності. Вимірювання слід проводити якомога швидше, щоб мінімізувати повзучість.

Повторюваність (або неповторюваність): максимальна різниця між вихідними показаннями перетворювача для повторюваних вхідних даних за однакової ваги та умов навколишнього середовища. Це перетворюється на здатність датчика ваги підтримувати постійний вихід при багаторазовому застосуванні однакової ваги.

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Діапазон температурного зсуву та нуль: зміна вихідного та нульового балансу відповідно через зміну температури перетворювача.

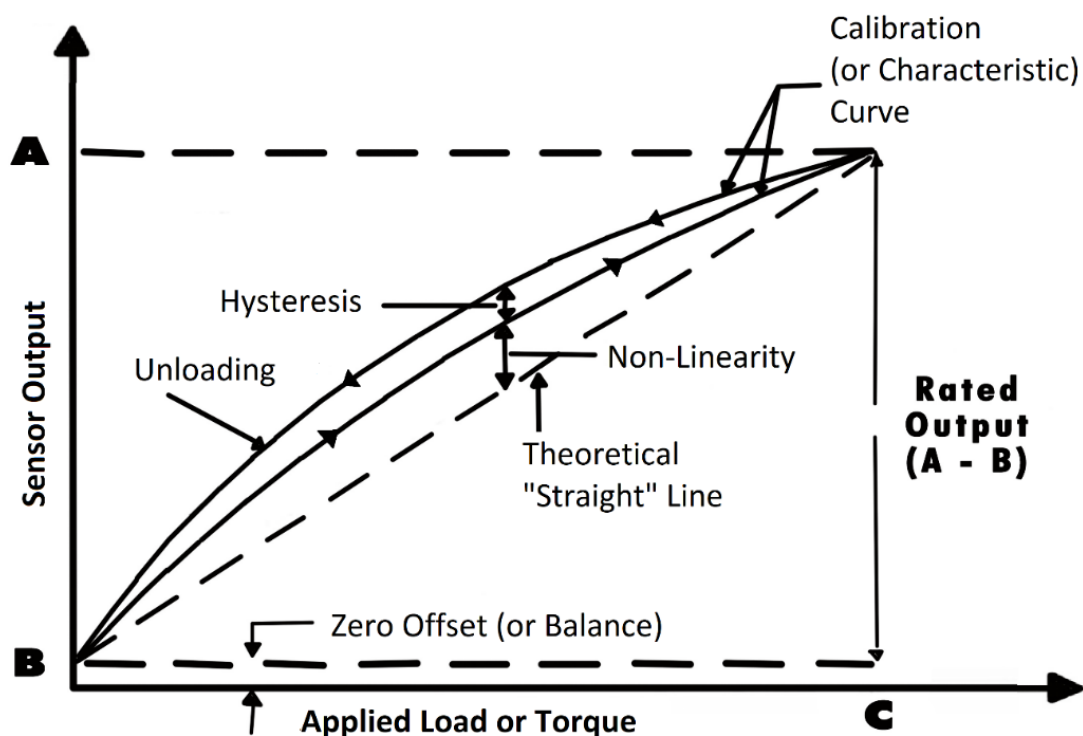


Рисунок 2.7 - Крива калібрування датчика датчика ваги

Кожен датчик ваги має «характеристичну криву» або «калібрувальну криву», яка визначає реакцію датчика на вхідний сигнал. Під час регулярного калібрування за допомогою машини для калібрування датчика ваги ми перевіряємо зсув нуля датчика та лінійність, порівнюючи вихідний сигнал датчика під еталонними вагами та регулюючи відгук датчика до ідеального лінійного вихідного сигналу. Обладнання для калібрування датчика ваги також перевіряє гістерезис, повторюваність і температурний зсув, коли клієнти запитують це для деяких критичних застосувань вимірювання ваги.

Для цього завантажуюмо скетч, представлений нижче, на Arduino, відкриваєм монітор порту [20,21]

```
1 // Підключаємо бібліотеку HX711
2 #include "HX711.h"
3
4 // Визначаємо піни для підключення датчика
```

```

5 const uint8_t DATA_PIN = 2;
6 const uint8_t CLOCK_PIN = 2;
7
8 // С Створюємо об'єкт my_scale для роботи з датчиком
9 HX711 my_scale;
10
11 void setup()
12 {
13     // Ініціалізуємо послідовне з'єднання на швидкості 9600 бод
14     Serial.begin(9600);
15
16     // Ініціалізуємо датчик, вказуючи піни для підключення
17     my_scale.begin(DATA_PIN, CLOCK_PIN);
18     my_scale.tare(20);
19
20     Serial.println("Калібрування датчика HX711...");
21     Serial.println("Переконайтеся, що на терезах нічого не лежить і натисніть
22 Enter");
23
24     // Чекаємо на підтвердження
25     while (Serial.available()) Serial.read();
26     while (Serial.available() == 0);
27
28     Serial.println("Визначення усунення...");
29
30     // Отримуємо зміщення датчика
31     uint32_t offset = my_scale.get_offset();
32
33     Serial.print("Зміщення: ");
34     Serial.println(offset);

```

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

35 Serial.println();
36
37 Serial.print("Покладіть еталонний зразок на ваги та введіть його вагу в гра-
38мах (округліть вагу до цілого числа): ");
39 while (Serial.available()) Serial.read();
40
41 // Ініціалізуємо змінну для зберігання ваги
42 size_t weight = 0;
43
44 // Читаємо вагу із введення користувача
45 while (Serial.peek() != '\n')
46 {
47     if (Serial.available())
48     {
49         char user_input = Serial.read();
50
51         // Перекладаємо введену вагу до числа
52         if (isdigit(user_input))
53         {
54             weight *= 10;
55             weight = weight + (user_input - '0');
56         }
57     }
58 }
59
60 Serial.print("Вага зразка: ");
61 Serial.println(weight);
62
63 // Калібруємо датчик
64 my_scale.calibrate_scale(weight, 20);

```

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36


```

65
66 // Отримуємо коефіцієнт масштабування
67 float scale = my_scale.get_scale();
68
69 Serial.print("Коефіцієнт масштабування: ");
70 Serial.println(scale, 6);
71
72 Serial.print("\nВикористовуйте scale.set_offset(");
73 Serial.print(offset);
74 Serial.print("); и scale.set_scale(");
75 Serial.print(scale, 6);
76 Serial.print("); ");
77 Serial.print("у налаштуваннях вищого проєкту.");
78}
79
80void loop()
81{
    // loop()порожній, оскільки калібрування виконується лише один раз під
    час ініціалізації
    }

```

Для подальшої обробки і передачі інформації здійснюється підключення HX711 до *Ардуіно UNO*. Для цього контакти живлення GND і VCC HX711 підключаються до точок GND і 5V роз'єму POWER модуля *Arduino UNO*, а контакти DT і SCK підключаються до точок A1 і A0 роз'єму ANALOG IN. Тензодатчик HX711 через контролер *Arduino UNO* можна підключити до рідкокристалічного дисплею LCD 1602 або комп'ютера, використовуючи USB порт і стандартні бібліотеки для *Ардуіно* [20,21].

Розглянемо, як отримувати вимірювання ваги з відкаліброваного датчика:

```

1 // Підключаємо бібліотеку HX711

```

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

2 #include "HX711.h"
3
4 // Створюємо об'єкт my_scale для роботи з датчиком
5 HX711 my_scale;
6
7 // Визначаємо піни для підключення датчика
8 const uint8_t DATA_PIN = 2;
9 const uint8_t CLOCK_PIN = 2;
10
11// Дані, отримані під час калібрування
12uint32_t calibrated_scale = 1;
13float calibrated_offset= 1.1;
14
15void setup()
16{
17  // Ініціалізуємо послідовне з'єднання на швидкості 115200 бод
18  Serial.begin(115200);
19
20  // Ініціалізуємо датчик, вказуючи піни для підключення
21  my_scale.begin(DATA_PIN, CLOCK_PIN);
22
23  // Встановлюємо отримані значення масштабування та усунення
24  my_scale.set_scale(calibrated_scale);
25  my_scale.set_offset(calibrated_offset);
26
27  // Скидаємо датчик до нуля
28  my_scale.tare();
29}
30
31void loop()

```

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

32{
33  // Отримуємо вимірювання ваги від датчика
34  float measurement = my_scale.get_units(10);
35
36  // Виводимо виміряну вагу
37  Serial.print("Вес: ");
38  Serial.println(measurement);
39
40  // Пауза перед наступним виміром
41  delay(100);
42}

```

2.4 Висновки до розділу

З аналізу наукових робіт за темою дослідження було прийнято спосіб удосконалення тензOMETричного методу контролю маси технологічної сировини тензOMETричним методом. Таким способом є удосконалення роботи самої системи та розширення системи додатковими модулями.

Для вирішення цього питання запропоновано застосовувати швидкодіючі тензодатчики, а система автоматизованого керування процесом контролю маси технологічної сировини будуватися на основі мікроЕОМ та мікропроцесорів.

Для перетворення сигналів прийнято, обробляють сигнал із датчика та відправляють його в підсистему АЦП. Для більш точних вимірювань прийнято НХ711 - 24-бітний двоканальний АЦП модуль для прецизійного вимірювання

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

аналогового сигналу від датчиків ваги (тензодатчиків) та перетворення його на цифрове значення для використання мікроконтролером. Вихідний інтерфейс – I2C.

3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ КОНТРОЛЮ МАСИ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИРОВИНИ

3.1 Вибір параметрів систем контролю й керування

Автоматизація виробничих процесів у сільському господарстві - використання автоматизованих та автоматичних систем та пристроїв, здатних частково чи цілком звільнити персонал від вирішення трудових завдань щодо контролю та управління різними процедурами виробництва продукції.

Сільськогосподарські організації, зайняті роботою із різноманітною масою технологічної сировини, можуть придбати для зернових терміналів та

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

елеваторів інтелектуальні програмно-апаратні комплекси, що дозволяють досягати таких результатів:

- запобігання крадіжці продукції (завдяки автоматичному зважуванню та нагляду над усіма господарськими процедурами);
- своєчасне пред'явлення претензій тим постачальникам, які постачають товарно-матеріальні цінності у менших, ніж потрібно за документами, кількостях;
- виявлення та усунення помилок працівників складів та цехів при прийманні, відвантаженні, зважуванні зернових культур; зниження витрат на оплату праці персоналу;
- зниження витрат на оплату праці персоналу;
- отримання актуальної інформації в режимі онлайн за фактом здійснення різних виробничих або бізнес-операцій [22,23].

Застосування ваго контрольних пристроїв складає виробництві, де необхідно фасувати чи відвантажувати чітку масу технологічної сировини. В даний час на підприємствах широко застосовуються моделі, які не обладнані контрольними системами відпустки та керуються вручну. За допомогою системи, що дозволяє контролювати вагу продуктів, що завантажуються і відвантажуються, легко зробити процес автоматизованим.

Слід враховувати, що під час створення нових типів вагоконтрольних пристроїв повинна підвищуватися ступінь автоматизації та точність приладів, зменшуватись маса та габарити. Повинен застосовуватися принцип агрегування вагових пристроїв технологічним обладнанням, що є необхідною умовою для роботи технологічних ліній в автоматичному режимі.

Система керування може знайти своє застосування на підприємствах, де існує необхідність точного виміру маси технологічної сировини, що відсипається з дозатора. Система створена на базі сучасних цифрових технологій, що дозволяють проводити обробку аналогових сигналів та передачу даних каналами зв'язку. Високу точність вимірювань з урахуванням температурних компенсацій вдалося досягти за рахунок застосування мікроконтролерів.

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Будь-яка САК складається з регулятора й об'єкта керування. У свою чергу, регулятор містить первинний вимірювальний перетворювач (датчик), пристрою: що задає, підсумовуюче, підсилювальне, формуюче (формує закон керування-регулювання) [24,25,26,27,28].

Властивості об'єктів керування можуть бути найрізноманітніші. Отже, регулювальний орган, виконавчий механізм і вимірювальний перетворювач також будуть відрізнятися всілякими конструктивними рішеннями, тому що їх установлюють безпосередньо в об'єктах керування [27,28,29,30].

3.2 Технологічна схема контролю маси технологічної сировини

Процес автоматизованого керування контролю маси технологічної сировини є невід'ємною часткою сучасних технологічних процесів підприємств гірничодобувної, хімічної та харчової промисловостей. Визначення таких параметрів технологічного процесу, як вага та витрата матеріалу, дозволяє контролювати та реєструвати дані цього процесу, а також безпосередньо керувати ним та впливати на нього. Підвищення ефективності керування технологічним процесом неможливе без впровадження автоматизованих систем [22,23].

В основі автоматизації контролю маси технологічної сировини лежать комплексна механізація та електрифікація технологічних операцій, що дозволяє частково чи навіть повністю виключити участь людини, замінивши її технічними засобами управління та контролю. Скорочення частки ручної праці благотворно позначається на продуктивності підприємства.

Для автоматизованого контролю маси технологічної сировини була розроблена схема за нестандартною технологією. Замість старої технології, при якій використовується метод безперервного дозування і змішування компонентів [23], упроваджена нова технологія, що використовує метод порційного дозування і змішування [26,27]. Основна відмінність від загальновизнаних технологій полягає в тому, що: як дозатори дискретної дії використані вагові стрічкові дозатори, які використовуються в режимі вагів; перед змішувачем дискретної дії встановлені тензометричні ваги такого ж об'єму, як і змішувач;

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ваги використовуються для додаткового контролю ваги компонентів, що поступають з дозаторів і з ЦПС через механізми відповідних маршрутів.

Склад функційної схеми контролю маси технологічної сировини включає (рис.3.1): витратний бункер; ваговий дозатор порційного дозування; воружник; бункерні ваги; змішувач; маршрути для транспортування продукту. Бункерні ваги встановлені на 4 паралельно сполучених тензодатчиках. Дозований агент - будь-яка маса технологічної сировини.

Матеріал, призначений для дискретного дозування, подається у витратний бункер. Осьова спіраль захоплює матеріал з бункера і подає його у бік, протилежний приводу.

Використання крокового двигуна обґрунтовується тим, що ці пристрої мають низку переваг, а саме [28,29,30,31]: кут повороту ротора визначається кількістю імпульсів, що подаються на двигун; двигун забезпечує повний крутний момент в режимі зупинки (якщо обмотки знаходяться під напругою); точність позиціонування та повторюваність.

Крокові двигуни мають точність 3-5% від значення кроку, і ця похибка не накопичується від кроку до кроку; можливість швидкого старту/зупинки/реверсу; висока надійність, пов'язана з відсутністю щіток, а термін служби крокового двигуна фактично визначається терміном служби підшипників; однократна залежність положення від вхідних імпульсів забезпечує позиціонування без зворотного зв'язку; можливість отримання дуже низьких швидкостей обертання навантаження, підключеного безпосередньо до валу двигуна, без проміжного редуктора; швидкість в досить великому діапазоні пропорційна частоті вхідних імпульсів.

Кроковий двигун, дозволяє з високою точністю дозувати матеріал, за рахунок регульованого числа обертів робочого валу в широкому діапазоні. Таким чином якщо на матеріал не впливають навколишні фактори (вологість, температура), матеріал не змінює свої фізико хімічні властивості (залежно від партії) можна використовувати дозатор без необхідності постійного контролю ваги кожної дози.

Змн.	Арк.	№ дт



Витратний
бункер

Мотор-редуктор
воружника

000000ПЗ

Арк.

43

Рисунок 3.1 – Функційна схема контролю маси технологічної сировини

Ворушник призначений для розпушування та подачі матеріалу з видаткового бункера до живильника дозатора. Далі дозований матеріал потрапляє у бункерні ваги на тензодатчиках, де після набору певної дози та перемішування готова суміш подається шнеком до приймального бункеру.

3.3 Розробка схеми структурної керування процесу контролю маси технологічної сировини

Безпосереднє керування дозатором (підтримка заданої продуктивності і дозування заданої порції продукту) здійснюється програмованою мікросхемою *STM STM32F407* [32] (рис. 3.2). Система керування має можливість проводити процес калібрування тензOMETричних датчиків. Для зберігання налаштувань встановлено мікросхему *EEPROM* за сигналом на дискретному вході в автоматизованому режимі.

Дозована порція по певному маршруту, керування яким також ведеться контролером поступає у ваговий бункер. Для керування кроковим двигуном дозатору встановлено стандартний модуль на *DRV8825*. Для введення порції

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

сумішей, які готуються у бункері незалежно від даної системи, передбачено керування відповідним маршрутом. Керування даним маршрутом побудоване таким чином, що автоматично виконується синхронізація роботи лінії дозування. Блок керування має можливість оновлення мікропрограм з USB носія.

У такий спосіб можна здійснювати розфасовку різних комбікормів, зерна, пелет, гранульованого пластику, насіння.

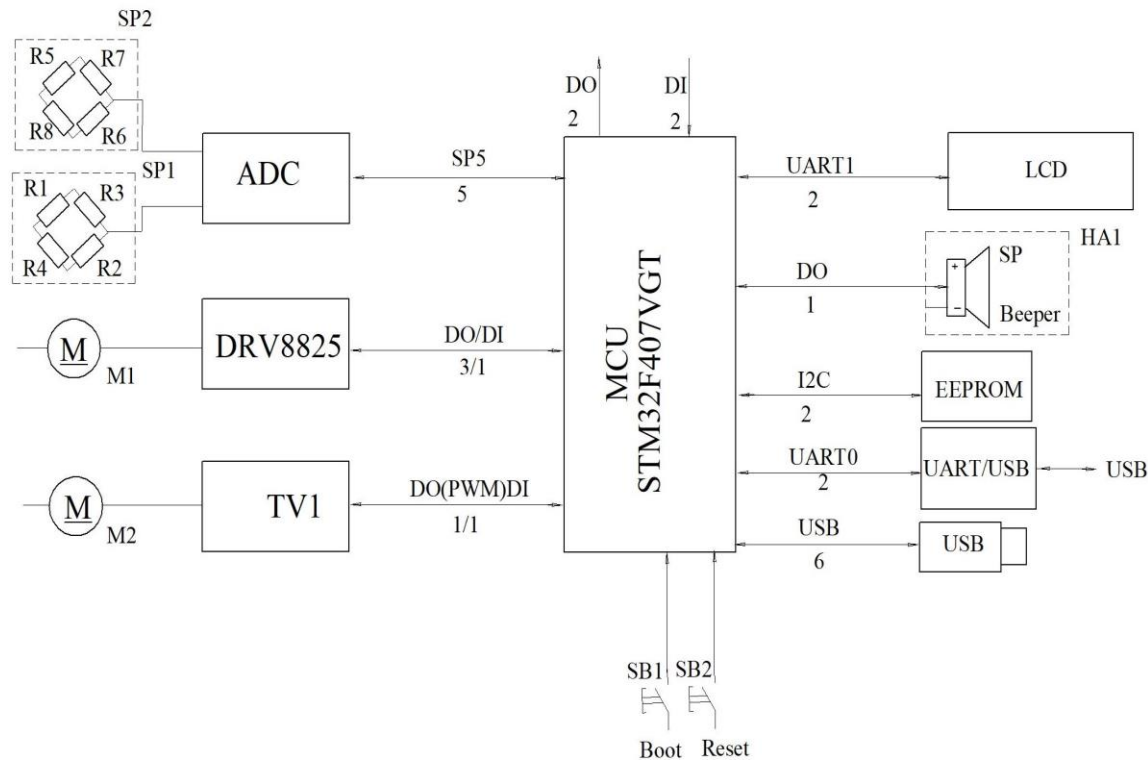


Рисунок 3.2 - Структурна схема системи керування процесу контролю маси технологічної сировини

3.4 Розробка схеми електричної принципової керування системою контролю маси технологічної сировини

Описувана нижче схема призначена для автоматизованого керування виконавчими механізмами, що беруть участь в роботі системи з безперервним контролем їх роботи; візуального контролю роботи системи на екрані дисплея; звукового сповіщення (HAI) обслуговуючого персоналу у разі виникнення аварійної (нестандартної) ситуації; збереження в архів повної інформації про

роботу системи; зв'язки по комп'ютерній мережі з іншими системами (комп'ютерами) для оперативного обміну інформацією (отримання рецепту і тому подібне).

Робота оператора зводиться до мінімуму - подачі пускової команди, після якої починає процес виготовлення продукту. Простий і зручний інтерфейс програми дозволяє зробити установку параметрів і стежити за процесом виготовлення в режимі реального часу на моніторі. Параметри задаються диспетчерською службою, технологічний процес відбувається згідно закладеної циклограми, яку оператор змінити не може, не маючи прав доступу до зміни параметрів технологічного процесу.

Схема працює у двох режимах : ручному (*P*) та автоматизованому (*A*). Перемикання режимів роботи здійснюється перемикачем *SA1*.

Живлення до схеми подається включенням автоматичного вимикача *QF1*. Далі включають автоматичні вимикачі кожної з робочих машин, а також автоматичний вимикач *SF1* схеми керування.

В ручному режимі (положення “*SA1*” в “*P*”) керування лінією здійснюється за допомогою кнопок постів *SB1.2- SB2.2*- “Пуск”; *SB1.1- SB2.1*- “Стоп “. Ручний режим призначений для перевірки роботи кожної технологічної машини.

В автоматизованому режимі (положення “*SA1*” в “*A*”). Автоматичні вимикачі кожної робочої машини *QF2 – QF5*, а також автоматичний вимикач *SF1* схеми керування включені. Якщо маса технологічної сировини у приймальному бункері 1 готова для подачі, то датчик *SP3* замкнений. Подається живлення до системи керування процесу контролю маси технологічної сировини. Введення завдань на дозування здійснюється контролером *STM32F407*. Відповідно до сигналів, значення ваги (тензодатчики *SP1, SP2*) і поточного режиму керування, контролер здійснює дії на виконавчі механізми вагів і маршрутів.

При наявності продукту для змішування у бункері 2 (датчики *SP4*, замкнений) сигнал від контролеру (контакт *A1.1*) подає живлення до приводу

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

M1 шнеку завантаження. Далі при відкритті клапану *YA1* завантажується продукт до вагового бункеру 4.

Контроль за масою технологічної сировини та вмиканням приводу *M2* змішувача здійснює датчик *SP5*.

3.5 Висновки до розділу

Таким чином розроблена система контролю маси технологічної сировини дозволяє підвищити контроль по витраті компонентів, що дає можливість контролювати залишки того або іншого матеріалу на складі для своєчасного поповнення, а також ефективно боротися з можливими розкраданнями. Дає можливість контролювати роботу автоматизованої системи через персональний комп'ютер (*PC*).

Пропонована система дозволяє вести автоматизований облік, інформація про приготовану продукцію зберігається в незалежній пам'яті контролера /або комп'ютера з вказівкою часу, номери зміни, прізвища оператора, рецепту і інших даних.

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Система управління охороною праці на підприємстві

Згідно з Законом «Про охорону праці» [34] роботодавець зобов'язаний створювати у кожному структурному підрозділі та на робочому місці умови праці відповідно до вимог нормативних актів, а також забезпечувати дотримання прав працівників, гарантованих законодавством про охорону праці.

Із цією метою роботодавець забезпечує функціонування системи управління охороною праці на підприємстві, для чого [34,35,36,37]:

- створює відповідні служби і призначає посадових осіб, які вирішують конкретні питання охорони праці, затверджує інструкції про їхні обов'язки, права і відповідальність за виконання покладених на них функцій;

- розробляє за участі профспілок і реалізує комплексні заходи для дотримання встановлених нормативів з охорони праці, впроваджує прогресивні технології, досягнення науки і техніки, засоби механізації та автоматизації виробництва, вимоги ергономіки, позитивний досвід з охорони праці тощо;

- забезпечує усунення причин, що викликають нещасні випадки, професійні захворювання, контролює виконання профілактичних заходів, визначених комісіями на основі підсумків розслідування цих причин;

- організовує проведення аудиту охорони праці, лабораторних досліджень умов праці, атестації робочих місць на відповідність нормативним актам з охорони праці в порядку й у терміни, встановлювані законодавством, вживає на основі цих підсумків заходів для усунення небезпечних і шкідливих для здоров'я виробничих факторів;

- розробляє і затверджує положення, інструкції, інші нормативні акти про охорону праці, що діють у межах підприємства і встановлюють правила

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виконання робіт та поведінки працівників на території підприємства, у виробничих приміщеннях, на будівельних майданчиках, робочих місцях відповідно до державних міжгалузевих і галузевих нормативних актів з охорони праці, забезпечує безкоштовно працівників нормативними актами з охорони праці;

- здійснює постійний контроль за дотриманням працівниками технологічних процесів, правил роботи на машинах, устаткуванні та з іншими засобами виробництва, за використанням засобів колективного й індивідуального захисту, виконанням робіт з охорони праці;

- організовує пропаганду безпечних методів праці.

Роботодавець за свої (підприємства) кошти організовує медичні огляди працівників, зайнятих на важких роботах, роботах зі шкідливими чи небезпечними умовами праці. Медичні огляди проводяться при прийомі на роботу (попередній), протягом трудової діяльності (періодичний), при необхідності проведення професійного відбору, а також щорічно-обов'язковий медичний огляд осіб у віці до 21 року.

Служба охорони праці входить до структури підприємства, організації або установи як одна з основних виробничо-технічних служб. Ліквідація цієї служби допускається лише у випадку ліквідації самого підприємства.

Служба охорони праці підпорядковується безпосередньо роботодавцю і залежно від кількості працівників може функціонувати як самостійний структурний підрозділ або у вигляді одного співробітника, у тому числі й за сумісництвом. Комплектується служба Фахівцями, що мають вищу освіту і стале роботи за профілем цього виробництва не менше трьох років.

Про створенні служби охорони праці враховують сферу діяльності підприємства і кількість працівників. Так, на підприємствах із кількістю працівників 50 осіб і більше, роботодавець створює службу охорони праці. На підприємстві з кількістю працівників менше 50 осіб функції служби охорони праці можуть виконувати в порядку сумісництва особи, які мають відповідну підготовку. На підприємстві з кількістю працюючих менше 20 осіб для виконання функцій служби охорони праці можуть залучатися сторонні спеціалісти на до-

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

говірних засадах, які мають відповідну підготовку. Служба охорони праці підпорядковується безпосередньо роботодавцю. Керівники та спеціалісти служби охорони праці за своєю посадою і заробітною платою прирівнюються до керівників і спеціалістів основних виробничо-технічних служб. Роботодавець несе безпосередню відповідальність за порушення вимог законодавства.

Організаційна структура системи управління охороною праці на підприємстві (СУОПП) формується на основі діючої на цьому підприємстві структури управління виробництвом і підпорядковується усім властивим їй принципам управління [35].

Координація робіт у галузі охорони праці здійснюється шляхом розподілу обов'язків і порядком взаємодії осіб, структурних підрозділів і служб, що беруть участь у реалізації задач СУОПП. а також прийняття ними рішень і їх реалізацію. До таких рішень належать накази, розпорядження, вказівки тощо.

Для нормального функціонування СУОПП на кожному підприємстві наказом розподіляють функції з реалізації завдань управління охороною праці між керівними і виконавчими функціональними службами та структурними підрозділами підприємства. В управлінні охороною праці, крім штатних посадових осіб і структурних підрозділів, бере участь також і комісія з питань охорони праці, створена рішенням трудового колективу і профспілкової організації, а також уповноважені трудових колективів структурних підрозділів підприємства.

Основні завдання управління охороною праці - це:

- відпрацювання заходів, що стосуються державної політики з охорони праці на регіональному і галузевому рівнях;
- підготовка, прийняття і реалізація заходів із забезпечення безпечних умов праці, утримання у належному стані обладнання, споруд, інженерних мереж; організація і проведення навчання працівників охороні праці та проведення професійного відбору; облік, аналіз і оцінка стану умов безпеки праці; забезпечення страхування працівників від нещасних випадків на виробництві та від профзахворювань;

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- організаційно-методичне керівництво на регіональному і галузевому рівнях;
- стимулювання інтеграції управління охороною праці в єдину систему загального управління організацією виробництва;
- широке впровадження позитивного досвіду у галузь охорони праці.

Основні функції СУОП, пов'язані з її функціонуванням, передбачають: планування робіт; розробку, прийняття і скасування нормативних актів; професійний відбір; навчання з питань охорони праці; регламентацію процесу праці: атестацію робочих місць, щодо умов праці; паспортизацію об'єктів; реєстрацію та облік; експертизу; ліцензування і сертифікацію; забезпечення безпеки устаткування, процесів, будинків, споруд і територій; забезпечення санітарно-гігієнічних умов праці, санітарно - побутового, лікувально-профілактичного і медичного обслуговування; узгодження і видача дозволів; попередження про виникнення небезпечних ситуацій; розслідування та облік нещасних випадків; розслідування та облік хронічних професійних захворювань: розслідування та облік аварій; фінансування робіт з охорони праці; стимулювання охорони праці; пропаганда і виховання безпечної поведінки; контроль та інспектування; наукове забезпечення: міжнародне співробітництво.

Аналіз потенційних небезпек виникаючих унаслідок дії небезпечних і шкідливих виробничих чинників, і заходи, застережливі їх небезпечну дію приведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Потенційні небезпеки і заходи їх попередження

Технологічні операції, устаткування, інструмент	Вид небезпеки	Джерела небезпеки	Вимоги безпеки		Вимоги виробничої санітарії	Особи, що здійснюють контроль над дотриманням ТБ
			До персоналу	До устаткування		
Контроль маси технологічної сировини	Попадання речами в частини, що обертаються	Привід технологічних машин	Інструктаж по ТБ. Застебнутий і заправлений одяг	Захисні кожухи, контраст рухомих частин	$E = 100$ лк $t = 23^{\circ} \text{C}$ $\gamma = 60-75\%$	Бригадир

4.1.1 Сталість роботи об'єктів господарювання (ОГ) у надзвичайних ситуаціях

Під сталістю об'єкта розуміють здатність його будівель і споруд, комунально-енергетичних мереж, верстатів та обладнання (тобто всього інженерно-технічного комплексу) протистояти впливові різних несприятливих факторів.

Під сталістю роботи ОГ розуміють його здатність випускати встановлені види продукції у необхідних обсягах і номенклатура в умовах надзвичайних ситуацій мирного і воєнного часу, а при незначних і середніх руйнуваннях і при частковому порушенні зв'язків по кооперації і поставках відновлювати своє виробництво в мінімально короткі терміни. Для об'єктів галузей, які не виробляють матеріальних цінностей (транспорт, зв'язок, торгівля тощо), сталість їх роботи передбачає здатність безперебійно виконувати свої функції.

На сталість роботи ОГ у надзвичайних ситуаціях впливають такі фактори:

- ступінь надійності захисту робітників і службовців від впливу шкідливих факторів надзвичайних ситуацій;
- здатність інженерно-технічного комплексу об'єкта протистояти певною мірою наслідкам надзвичайних ситуацій мирного і воєнного часу;
- ступінь захищеності об'єкта від вторинних вражаючих факторів (пожеж, вибухів, затоплень, зараження СДОР і т.д.);
- ступінь надійності системи постачання об'єкта усім необхідним для виробництва продукції (сировиною, паливом, електроенергією, водою тощо);
- сталість і безперервність управління виробництвом та цивільною обороною;
- підготовленість об'єкта до ведення РІНР і робіт по відновленню порушеного виробництва.

Досвід показує, що на тих об'єктах, де завчасно проведені відповідні інженерно-технічні заходи, спрямовані на підвищення опірності цих об'єктів до

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

впливу уражаючих факторів надзвичайних ситуацій, збитки виявляються значно менші, а терміни введення в дію коротші, ніж у решти.

Основні вимоги, що визначають сталість, шляхи і способи підвищення сталості економіки країни в цілому і окремих об'єктів, викладені в нормах проектування інженерно-технічних заходів Цивільної оборони (ІТЗ ЦО). Норми — перелік обов'язкових вимог, які ставляться в інтересах ЦО до проектування і будівництва міст-ОГ — це керівництво для завчасної підготовки в інженерному відношенні міст та об'єктів до захисту від зброї масового знищення (ЗМЗ) і від негативного впливу СЛАК. Втілення їх у життя має на меті три основні цілі [36]:

- захист населення на всій території країни від СЛАК і ЗМЗ;
- підвищення сталості роботи промислових об'єктів у випадку виникнення надзвичайних ситуацій;
- створення сприятливих умов для проведення рятувальних та інших невідкладних робіт.

Для досягнення даних цілей вимоги норм повинні виконуватися на всіх етапах від проектування до забудови і реконструкції міст та ОГ, їх застосування повинно здійснюватися диференційовано з урахуванням розташування ймовірних об'єктів ядерних ударів з боку противника і зон можливих руйнувань довкола них, а також з урахуванням ймовірності реалізації стихійних лих у даному регіоні.

Основні вимоги норм проектування ІТЗ ЦО викладені у будівельних нормах і правилах (СНІП 11-10-74, СНІП 11-11-77), у додатках до них, у деяких постановах уряду.

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

4.1.2 Вимоги до будівництва та експлуатації енергетичних об'єктів і систем

Для забезпечення надійного енергопостачання в умовах надзвичайних ситуацій мирного і воєнного часу під час будівництва об'єктів і систем енергетики повинні бути враховані такі основні вимоги, що впливають із завдань цивільної оборони:

- великі електростанції слід розташовувати одну від одної і від великих міст на значних відстанях;
- при розташуванні атомних електростанцій (АЕС) на території України одночасно з господарсько-економічними факторами повинні враховуватися фактори безпеки.

Мінімально допустимі відстані від АЕС до міста з населенням від 500 тис. до 1 млн. чоловік — 30 км, а з населенням понад 2 млн. чоловік — 100 км.

Відстань від АЕС до міст з чисельністю населення не вище 1,5 млн. чоловік — не менше 5 км. Густота населення в 30-кілометровій зоні повинна бути не більше 100 чол./км.

При розміщенні АЗС (АСТ) повинні враховуватися сейсмічність зони, її геологічні, гідрологічні та ландшафтні особливості.

Спеціальні заходи по обмеженню розповсюдження викиду радіоактивних речовин включають конструктивні способи запобігання викидів та локалізації реактора, встановлення санітарно-захисних зон (СЗЗ), спеціальні заходи по локалізації радіоактивних продуктів. Радіус СЗЗ. АЕС (АСТ) повинен визначатися розрахунком потужності викиду радіонуклідів у повітря та метеорологічних умов.

Спеціальні заходи щодо захисту персоналу і населення становлять:

- створення автоматизованих систем контролю радіаційної обстановки;
- створення локальної системи оповіщення персоналу та населення в 30-кілометровій зоні;

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- першочергове будівництво захисних споруд у радіусі 30 км навколо ЕС, а також використання підвальних та інших приміщень, що легко герметизуються;
- створення запасів медикаментів, 313 та інших засобів, необхідних для захисту населення та його життєзабезпечення;
- створення на АЕС спеціальних формувань;
- розробка оптимальних режимів поведінки населення і підготовка його до дій під час аварії;
- періодичне проведення навчань ЦО на АЕС та прилеглої території.

Для забезпечення надійного електропостачання потрібно здійснювати його від енергосистем, до складу яких входять електростанції, що працюють на різних видах палива. Робочі знижуючі станції, диспетчерські пункти енергосистем та лінії електропередач необхідно розміщувати розосереджено, і вони повинні мати достатній ступінь захищеності.

Постачання електроенергії у великі міста і ОГ необхідно здійснювати від двох незалежних джерел.

При електропостачанні об'єкта від одного джерела повинно бути не менше двох введів з різних напрямків.

Трансформаторні підстанції необхідно надійно захищати, їх сталість повинна бути не нижче сталості самого об'єкта.

Електроенергію до ділянок виробництва слід підводити по незалежних електрокабелях, прокладених у землі. Система електропостачання повинна мати захист від впливу електромагнітного імпульсу (ЕМІ) ядерного вибуху чи природного явища.

Для підвищення сталості роботи енергетичних систем у надзвичайних ситуаціях необхідно створювати автономні резервні джерела електропостачання. Для цього можна використати пересувні електростанції на залізничних платформах та судах.

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У містах, розташованих на берегах морів та річок, необхідно створювати берегові пристрої для приймання електроенергії від суднових енергоустановок [36].

4.1.3 Оцінка можливості виникнення пожежі

Можливість виникнення осередків спалахування і горіння встановлюють за даними займистості матеріалів; при цьому необхідно враховувати вплив вторинних факторів ураження, обумовлених ударною хвилею (руйнування печей, газопроводів, розриви і пробиття електропроводки, кабелів тощо).

Розвиток пожеж значною мірою залежить від ступеня вогнестійкості будинків і споруд і пожежонебезпеки технологічних процесів.

За пожежною небезпекою об'єкти відповідно до характеру технологічного процесу підрозділяють на категорії «А», «Б», «В», «Г», Д».

Об'єкти категорії «А» — нафтопереробні заводи, хімічні підприємства, цехи фабрик штучного волокна, склади бензину, цехи обробки і застосування металічного натрію, калію тощо.

Об'єкти категорії «Б» — цехи підготовки і транспортування вугільного пилу і деревного борошна, розмелювальні відділення млинів, цехи обробки синтетичного каучуку, виготовлення цукрової пудри, склади кіноплівки тощо.

Пожежі на підприємствах категорії «А» і «Б» можливі при середніх і навіть слабких руйнуваннях; найбільш вражаючими на цих об'єктах є повітряні комунікації.

Об'єкти категорії «В» — лісопильні, деревообробні, столярні, модельні і лісотарні цехи, відкриті склади олії, мазутне господарство електростанцій, цехи текстильного виробництва тощо.

Об'єкти категорії «Г» — металургійні виробництва, підприємства гарячої обробки металів, термічні цехи, котельні.

Об'єкти категорії «Д» — підприємства холодної обробки металів й інші, пов'язані зі збереженням і переробкою вогнетривких матеріалів.

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На об'єктах категорій «В», «Г» і «Д» можливість виникнення окремих пожеж залежить від ступеня вогнестійкості будинків, а утворення суцільних пожеж — від густоти забудови.

Будинки і споруди по вогнестійкості поділяються на п'ять ступенів:

I — основні елементи виконані з матеріалів, що не горять, несучі конструкції мають підвищену опірність до впливу вогню;

II — основні елементи виконані з матеріалів, що не горять;

III — стіни кам'яні (цегляні), перегородки і перекриття дерев'яні оштукатурені;

IV — дерев'яні оштукатурені будинки;

V — дерев'яні не оштукатурені будівлі.

Найбільш небезпечними є будинки і споруди, виконані з матеріалів, що згорають, — III, IV і V ступенів вогнестійкості. Орієнтовний час розвитку пожежі до повного охоплення вогнем: для будинків і споруд I і II ступенів — не менше 2 год., III ступеня — не менше 1,5 год., IV та V ступенів — не менше 1 год.

На розвиток пожеж впливає також ступінь руйнування будинків, споруд і технологічних ліній ударною хвилею. Окремі і суцільні пожежі можливі на підприємствах, які одержали в основному слабкі й середні руйнування. Так, у будинках I, II і III ступенів вогнестійкості виникнення і розвиток пожежі (але не тління чи горіння в завалах) спостерігається при одержанні руйнувань від надлишкового тиску у фронті ударної хвилі порядку 30-50 кПа, в у будинках IV і V ступенів — при руйнуваннях від ΔP_{ϕ} приблизно в 20 кПа.

Поширення пожеж і перетворення їх у суцільні істотно залежить від густоти забудови території об'єкта. Вогонь швидко поширюється на ділянках, на яких переважно розташовані будинки I та II ступенів вогнестійкості з густотою забудови 30 %, або будинки III ступеня вогнестійкості з густотою 20 %, або будинки IV и V ступенів вогнестійкості при густоті забудови 10 %.

При збільшенні густоти забудови будинками III, IV і V ступенів ще на 10 % створюються сприятливі умови для виникнення вогняного шторму.

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

Оцінюючи можливість виникнення пожеж, вивчають усі будинки, споруди, виробничі установки на території об'єкта (цеху) і визначають місця можливого загоряння, а також наслідки, що виникають від пожежі з урахуванням характеру виробництва.

За вогнестійкістю окремих будинків і споруди та характером технологічного процесу робиться висновок про пожежостійкість кожного цеху і об'єкта в цілому та на його основі виробляються заходи щодо підвищення пожежної безпеки.

4.2 Інструкція по техніці безпеки при роботі

До роботи в установках допускається тільки спеціально навчений персонал з I кваліфікаційною групою допуску по техніці безпеки [35,36,37].

Перед початком роботи з ручними електричними машинами і електричним інструментом слід проводити [38]:

- перевірку чіткості роботи вимикача;
- перевірку роботи на холостому ході.

Ручні електричні машини і електричний інструмент дефекти, що мають, видавати для роботи забороняється.

При користуванні ручними електричними машинами і електричним інструментом їх кабелі повинні по можливості підвішуватися.

При припиненні подачі напруги під час роботи з електричними машинами і електричним інструментом або перегріву в роботі електричний інструмент від'єднується від мережі.

Для контролю над збереженням і справністю ручних електричних машин і електричного інструменту вони повинні піддаватися періодичної перевірки в терміни встановлені ДСТУ [38].

Особам, ручним, що користуються, електричними інструментами забороняється:

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

- передавати електричні машини і електроінструмент навіть на короткочасне користування іншим особам;
- розбирати електричні машини і електроінструмент або самостійно проводити який або ремонт (як самого інструменту, так і приводів, штепсельних з'єднань і т.п.);
- триматися за кабель ручних електричних машин і електроінструменту або стосуватися ріжучого інструменту, що обертається;
- залишати електричні машини і електроінструмент без нагляду включеними в мережу.

За порушення вимог інструктажу по експлуатації електроустановок персонал несе дисциплінарну відповідальність.

4.3 Висновки по розділу

Запропоновані заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях спрямовані на виключення травматизму та зниження загальних та професійних захворювань, підвищення культури виробництва та зросту продуктивності праці.

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ

5.1 Загальні положення

Формування новітньої концепції проєктного аналізу потребує суттєвого оновлення підходів до визначення та формування проєктних рішень, їх обґрунтування та чіткого розмежування техніко-економічних показників, які визначають доцільність та ефективність їх реалізації [39,40].

Проєктне рішення в результаті аналітичної роботи ґрунтується на системі показників, які мають не лише забезпечити його економічну характеристику, але, насамперед, визначити техніко-технологічні можливості його реалізації.

Саме тому не втрачають своєї актуальності системне обґрунтування техніко-економічних особливостей проєкту, розробка системи показників, які стають основою прийняття рішень щодо реалізації проєктного рішення.

При виборі найкращого технічного рішення використовують порівняльну економічну ефективність капітальних вкладень, обумовлену наведеними витратами по кожному варіанті автоматизації або відношенням різниці поточних витрат до різниці капітальних вкладень (або відношенням зниження поточних витрат до приросту капітальних вкладень).

Наведені витрати по кожному варіанті являють собою суму поточних витрат і капітальних вкладень, виражених в однаковій розмірності відповідно до нормативу порівняльної ефективності.

До складу поточних витрат входять:

- витрати на оплату праці персоналу, зайнятого на порівнюваних варіантах виробництва;
- відрахування на амортизацію (включаючи капітальний ремонт і відновлення) машин, електродвигунів, устаткування, засобів автоматики, будинків і спеціальних технологічних споруджень;
- витрати на поточний ремонт машин, устаткування й будівельних

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конструкцій;

- оплата електроенергії, палива й мастильних матеріалів;
- інші витрати.

Витрата на оплату праці персоналу, зайнятого виконанням процесу за допомогою того або іншого комплексу машин, визначають, виходячи з витрат праці працівників різних категорій і годинних ставок їхньої заробітної плати (розрахованих по нормах оплати праці з урахуванням надбавок за збільшення кількості й підвищення якості продукції й нарахувань на заробітну плату, а також доплат за класність).

Відрахування на амортизацію (капітальний ремонт і відновлення) знаходять у відсотках від балансової вартості машин, двигунів, засобів автоматики, будинків і т.д. відповідно до діючих норм амортизаційних відрахувань по основних фондах народного господарства країни.

Витрати на поточний ремонт машин, двигунів, устаткування, засобів автоматики й будинків визначають у відсотках від балансової вартості основних засобів виробництва.

Витрати на електроенергію визначають за значенням річного електроспоживання й тарифу на електроенергію й паливо-мастильні матеріали для виробничих цілей.

При розрахунку капітальних вкладень по варіантах потрібно враховувати витрати: на придбання машин й устаткування; торгово-транспортні й складські витрати; монтаж машин й устаткування; внутрішню електропроводку; будівництво й реконструкцію спеціальних технологічних приміщень і споруджень; інші капітальні витрати, викликані автоматизацією.

Витрати на придбання машин й устаткування знаходять по діючих оптових цінах. Торговельно-транспортні й складські витрати становлять установлений відсоток від преїскурантної ціни машин. Витрати на монтаж машин й устаткування варто визначати по діючих ціниках на монтажні роботи.

Витрати на внутрішню електропроводку містять у собі вартість кабелю

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

й витрати на його прокладку від силового щита до електрифікованої машини.

Витрати на будівництво спеціальних приміщень, пов'язаних з автоматизацією виробництва, або на виконання спеціальних будівельно-монтажних робіт визначають по кошторисах проектів цих споруджень, а якщо їх ні, те по кошторисах для об'єктів однакового призначення й однакової конструкції.

Після розрахунків різних варіантів приймають той, у якого наведені витрати найменші.

Для визначення ефективності автоматизації виробництва можуть бути використані показники, до яких ставляться:

- підвищення продуктивності праці, що характеризує економію праці, зниження трудомісткості виробництва продукції й скорочення потреби в робочій силі;
- зниження собівартості продукції, що характеризує скорочення трудових і матеріально-грошових витрат на виробництво продукції в порівнянні з витратами до автоматизації;
- збільшення прибутку;
- підвищення рентабельності виробництва.

Як додаткові показники можуть бути використані: загальні й питомі капіталовкладення, необхідні для автоматизації процесів, які виражають витрати праці, упередметнені в основних засобах виробництва для скорочення майбутніх витрат праці;

- строк окупності капітальних вкладень в автоматизацію об'єкта, знижуваних за рахунок скорочення виробничих витрат, обумовлених застосуванням автоматичного керування.

5.2 Розрахунок економічної ефективності системи

Для розрахунку техніко-економічного обґрунтування відповідно до прийнятої методики [17] необхідне знання деяких показників, виражених у грошових одиницях (вартість електроенергії, устаткування, вартість витрат

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

праці на виконання технологічного процесу й т.д.). Через невизначеність цін ці показники складно визначити. По цьому розрахунок зробимо в натуральних показниках.

Споживання електричної енергії:

$$E = P \cdot T \cdot \kappa_0 \cdot \kappa, \quad (5.1)$$

де P - встановлена потужність струмоприймачів, кВт, $P = 5,05$ кВт;

T - час роботи електроустаткування, год.;

κ_0 - коефіцієнт одночасної роботи електроустаткування;

κ - коефіцієнт, що враховує зниження витрати електроенергії, викликаний автоматизацією технологічного процесу; для базового варіанта $\kappa = 1$, для розробленого $\kappa = 0,93$.

Час роботи T установки визначається за наступними розрахунками.

Час роботи установки за добу складає 2 години тоді за рік:

$$T = 2 \cdot 365 = 730 \text{ год.}$$

Визначаємо кількість споживаної електричної енергії по варіантах:

$$E_6 = 5,05 \cdot 730 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 3686,5 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

$$E_6 = 5,05 \cdot 730 \cdot 0,93 \cdot 1,0 = 3428,5 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Зниження витрат на електроенергію:

$$E_3 = E_6 - E_n; \quad (5.2)$$

$$E_3 = 3686,5 - 3428,5 = 258 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Капітальні вкладення в розробку:

$$K_6 = K_p + K_y; \quad (5.3)$$

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де K_p - вартість обладнання, грн.(табл.5.1);

K_y - витрати на монтажні роботи, грн., 12% K_p .

$$K_g = 65100 + 7812 = 72912 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.1 – Вартість обладнання

Технологічне обладнання	Електросилове обладнання			Загальна вартість, грн.
Тип	Тип електродвигуна	Кількість, шт.	P_n , кВт	
Ваговий мікро дозатор МК.ВН Standart	мотор-редуктор кроковий двигун	1	3,0	15 200 грн
Шнековий транспортер	мотор-редуктор	1	1,5	29 900
Ваговий бункер з мішалкою	мотор-редуктор	1	0,55	20 000
Вартість установки				65100

Економія електроенергії складе,

$$C_{ел.} = E_z \cdot P_z; \quad (5.4)$$

де P_z – вартість однієї кВт год. ел. енергії, грн, $P_z = 4,32$ кВт год.

$$C_{ел.б} = 3686,5 \cdot 4,32 = 15925,7 \text{ грн.}$$

$$C_{ел.б} = 3428,5 \cdot 4,32 = 14811,1 \text{ грн.}$$

Економія фонду оплати праці $\Phi_{оп}$ складає:

$$\Phi_{оп} = T_{см} \cdot 12 \cdot m; \quad (5.5)$$

де $T_{ср}$ – заробітна платня одного робітника, грн./м, $T_{ср} = 11200$ грн/м;

m – кількість робітників, $m_b = 2$; $m_n = 1$.

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Phi_{\text{зп.б}} = 11200 \cdot 12 \cdot 2 = 268800 \text{ грн.}$$

$$\Phi_{\text{зп.п}} = 11200 \cdot 12 \cdot 1 = 134400 \text{ грн.}$$

Економічний ефект від впровадження розробки:

$$E_{\text{еф}} = C_{\text{ел}} + \Phi_{\text{ел}} \quad (5.6)$$

$$E_{\text{еф}} = 1114,6 + 134400 = 135514,56 \text{ грн}$$

Термін окупності розробки:

$$T_o = \frac{K_6}{E_{\text{еф}}} \quad (5.7)$$

$$T_o = \frac{72912}{135514,56} = 0,6 \text{ року}$$

Показники економічної ефективності наведені в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Показники економічної ефективності

Найменування показників	Варіанти		
	базовий	проект	відх.
Споживання ел.енергії, кВт/год	3686,5	3428,5	- 258
Зниження витрат на електроенергію, грн	-	1114,56	-
Фонд оплати праці, грн.	268800	134400	134400
Економічний ефект грн./рік	-	135514,56	-
Термін окупності розробки, рік	-	0,5	-

5.3 Висновки по розділу

Впровадження системи контролю маси технологічної сировини дозволить:

- зменшити витрати на електроенергію в розмірі 1114,56 грн.;
- підвищити експлуатаційні характеристики, і як наслідок надійність електрообладнання, що використовується;

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- отримати економічну ефективність від впровадження в розмірі 135514,56 грн.;
- капітальні вкладення нового обладнання окупляться протягом 0,5 років.

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі наведено вирішення наукового завдання щодо удосконалення контролю маси технологічної сировини тензометричним методом. Подані в роботі результати досліджень дозволяють зробити наступні висновки.

1. Аналіз літературних досліджень показав, що одним із методів контролю маси технологічної сировини є тензометричний метод. Тензометричний метод вимірювання, заснований на ефекті тензометрії на даний момент є найбільш зручним і найчастіше використовуваним методом.

2. Тензодатчики (тензометричні датчики) є основним первинними пристроєм перетворення фізичної величини ваги в нормований електричний сигнал. Схема комутації дозволяє вимірювати дуже невеликі зміни опору ΔR , які відбуваються в тензодатчиках $R1$, $R2$, $R3$ і $R4$ встановлених у плечах моста Уїтстона. Прийнята додаткова схема для тензорезисторів, призначена для точного регулювання вихідного сигналу при різних навантаженнях.

3. Тензодатчик, як і більшість датчиків, видає аналоговий сигнал, який потім потрібно перетворити на цифровий для подальшої обробки або передачі. Перетворювачі сигналів приймають, обробляють сигнал із датчика та відправляють його в підсистему АЦП. Підключення тензодатчика *Arduino Uno* є важливим етапом, пов'язаного з вимірюванням сили. Для більш точних вимірювань прийнято HX711 - 24-бітний двоканальний АЦП модуль для прецизійного вимірювання аналогового сигналу від датчиків ваги (тензодатчиків) та перетворення його на цифрове значення для використання мікроконтролером. Вихідний інтерфейс – I2C.

4. Для автоматизованого контролю маси технологічної сировини була розроблена схема за нестандартною технологією. Замість старої технології, при якій використовується метод безперервного дозування і змішування компонентів, упроваджена нова технологія, що використовує метод порційного дозування і змішування.

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5. Розроблена принципова електрична схема керування технологічною лінією контролю маси технологічної сировини, що забезпечить роботу технологічного обладнання в заданих режимах та з урахуванням вимог до технологічного процесу.

6. Для захисту обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом запропоновано заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

7. Доцільність прийнятих рішень підтверджена відповідними техніко-економічними розрахунками. Річний економічний ефект від впровадження технологічної лінії контролю маси технологічної сировини складає 135514,56 грн. при терміні окупності 0,5 років.

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пілюшенко В.Л., Шкрабак І.В., Славенко Е.І. Наукове дослідження: організація, методологія, інформаційне забезпечення: Навчальний посібник. Київ: Лібра, 2004. С. 52-60.
2. Сусліков Л.М. Основи метрології: Навчальний посібник. Ужгород: Видавництво УжНУ, 2006. 180 с.
3. Вагове обладнання. Загальні відомості. *Асвік Центр* веб-сайт. URL: <https://asvik.kiev.ua/ua/articles/4> (дата звернення: 03.12.2024).
4. Бункерні ваги. *Автoves* веб-сайт. URL: <https://www.avtoves.ua/ukr/catalog/bunkernyye-vesy/> (дата звернення: 03.12.2024).
5. Андреев А. Г., Львов Г. І., Щепкін О. В. Тензометрія: підручник. Харків : НТУ «ХПІ», 2017. 232 с.
6. A Guide to Strain Gauges. *RS Components*. веб-сайт. URL: <https://uk.rs-online.com/web/content/discovery/ideas-and-advice/straingaugesguide?srsId=AfmBOoqNb65ZDDuNx4BNSl0GKbg1RbOD4p6kqe6WlGuz903RlEXlZaAb> (дата звернення: 27.11.2024).
7. Проценко І.Ю. Шумакова Н.І. Технологія та фізика тонких металевих плівок. Суми: Вид-во СумДУ, 2000. 194с
8. Hall, S.R. (1989). A Practical Methodology for Assessing the Validity of Strain Gauge Data Obtained from Advanced Composite Structures. In: Marshall, I.H. (eds) Composite Structures 5. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-009-1125-3_53
9. Оптимізація вимірювальних засобів напружено-деформованого стану за допомогою тензодатчиків / Л.В. Кузьмич, Д.П. Орнатський, В.П. Квасніков // Науково-технічний журнал «Авіаційно-космічна техніка і технологія». Харків: ХАІ, 2019. Вип. 3(155). С.50-56. doi: 10.32620/aktt.2019.3.06.

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

10. Фідровська Н. М., Пономаренко Р. В., Слепужніков Є. Д., Козодой Д. С. Обґрунтування проведення тарировки тензорезисторів у комплексі з вимірювальним обладнанням // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. УкрДУЗТ. 2020. №194. С. 75-83.

11. Strain Gauge Applications - Practical Uses of Strain Gage Sensors. [Dewesoft](https://dewesoft.com/blog/strain-gauge-applications) веб-сайт. URL: <https://dewesoft.com/blog/strain-gauge-applications> (дата звернення: 27.11.2024).

12. Analog vs Digital Load Cells: A Comprehensive Guide. *Microtess* веб-сайт. URL: <https://www.micro-tess.com/analog-vs-digital-load-cells/> (дата звернення: 27.11.2024).

13. Araromi, O.A., Graule, M.A., Dorsey, K.L. *et al.* Ultra-sensitive and resilient compliant strain gauges for soft machines. *Nature* **587**, 219–224 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2892-6>

14. Ramírez J, Urbina AD, Kleinschmidt AT, et al. Exploring the limits of sensitivity for strain gauges of graphene and hexagonal boron nitride decorated with metallic nanoislands. *Nanoscale*. 2020;12(20):11209-11221. doi:10.1039/d0nr02270e

15. Load cell sensor. *FUTEK* веб-сайт. URL: <https://www.futek.com/load-cell-sensor> (дата звернення: 27.12.2024).

16. Experimental-Computational Methods For Determination Of The Stress-Strain State Of Structural Components. Razumovskii I.A., Chernyatin A.S., Fomin A.V. *Inorganic Materials*. 2014. Т. 50. № 15. С. 1528-1536.

17. How to Select the Right Load Cell. *Group Four* веб-сайт. URL: https://www-groupfourtransducers-com.translate.google.com/resources/articles/how-to-select-the-right-load-cell/?x_tr_sl=en&x_tr_tl=ru&x_tr_hl=ru&x_tr_pto=sc (дата звернення: 27.12.2024).

18. Гавран, В. (2024). Визначення ваги вичавленої олії шнековим пресом з використанням тензометричного датчика, модуля HX711 та ARDUINO. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 331(1), 73-76. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-331-12>

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

19. Механічний вплив. *Arduino* веб-сайт. URL: <https://arduino.ua/cat147-mehanicheskie-vozdviizhiya> (дата звернення: 27.12.2024).
20. Модуль тензорного датчика HX711 для електронних ваг Arduino. *Arduino* веб-сайт. URL: <https://arduinka.biz.ua/modul-tenzornogo-datchika-hX711-dlya-elektronnih-vag-arduino-p347c74.html> (дата звернення: 07.01.2025).
21. Upload a sketch in Arduino IDE. *Arduino* веб-сайт. URL: <https://support.arduino.cc/hc/en-us/articles/4733418441116-Upload-a-sketch-in-Arduino-IDE> (дата звернення: 09.01.2025).
22. Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК : підручник / І. І. Мартиненко, В. П. Лисенко, Л. П. Тищенко, І. М. Болбот, П. В. Олійник. К. : НМЦ Мін-ва аграрної політики України, 2008. 330 с.
23. Богомолів О.В., Гурський П.В., Богомолів В.П. Курсове та дипломне проектування обладнання харчових і переробних підприємств. Х.: Еспада, 2004. 432с.
24. Чаусов, С. В. Напрямки удосконалення параметрів автоматизованих систем керування змінної структури. Енергозабезпечення технологічних процесів: матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції пам'яті І. І. Мартиненка та з нагоди 85-річчя Таврійського державного агротехнологічного університету (Мелітополь, 8-9 червня 2017 р.); С. 94-95 <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/5156>
25. Болтянський, Б., Гвоздєв, О., & Дереза, С. (2019). Обґрунтування конструктивного виконання змішувача компонентів комбикормів на основі побудови його морфологічної моделі. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного*, 18(2), 155-163. <https://doi.org/10.31388/10.31388/2078-0877>
26. Калашніков Є. Є. Моделі та засоби автоматизації процесів керування дозуванням сипких матеріалів : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.07 "Автоматизація процесів керування". Харк. нац. ун-т радіоелектроніки. Х. : ХНУРЕ, 2011. 21с. URI <http://openarchive.nure.ua/handle/document/3118>

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

27. Діордієв В. Т., Чаусов С. В. Енергозберігаючі режими функціонування малогабаритних комбікормових установок. Праці Таврійської державної агротехнічної академії : наук. фах. видання / ТДАТА. Мелітополь, 2002. Вип. 9. С. 77-81.

28. Попова І. О., Чаусов С. В. Підвищення точності роботи мікропроцесорного пристрою захисту асинхронного двигуна. Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету : електронне наукове фахове видання. Запоріжжя : ТДАТУ. 2023. Вип. 13, том 1. С.379-389. <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/16798>

29. Діордієв, В. Т., & Вовк, О. Ю. (2024). ЛАЗЕРНА ПЕРЕДПОСІВНА ОБРОБКА НАСІННЯ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного*, 24(3), 105-113. <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2024-24-3-9>

30. Кандяк Н. М., Коломієць А. Б., Котовський О. О. Засоби керування кроковим двигуном та вимірювання зусиль під час дослідження процесу згинання аркушевого матеріалу. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2023. Вип. 7 (38), ч.1. С.37-44. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7\(38\).1.37-44](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.7(38).1.37-44)

31. Косяк І.В., Цубін О.А. Результати дослідження застосування мікропроцесорного режиму при керуванні кроковим двигуном. Реєстрація, збирання і обробка даних. 2022. Вип. 24(1).С.66 -73. <https://doi.org/10.35681/1560-9189.2022.24.1.262939>

32. STM32F407G-DISC1 User Manual Datasheet by STMicroelectronics. DigiKey Österreich веб-сайт. URL: https://www.digikey.at/htmldatasheets/production/1864260/0/0/1/stm32f407g-disc1-user-manual.html?srsId=AfmBOopCA4-IDnU4J_lbMErH47nZ7m6O2N_Puz_tihnpbBr-A2OaE47 (дата звернення: 19.01.2025).

33. Попова І. О., Чаусов С. В. Реалізація пристрою захисту трифазного симетричного динамічного навантаження на сучасній апаратній базі. Innovative development of science, technology and education. Proceedings of the 8th International scientific and practical conference. Perfect Publishing. Vancouver,

<http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/17679>

34. Закон України від 14.10.1992 № 2694-XII. ПЛАТФОРМА LIGA360 веб-сайт. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/T269400?an=1> (дата звернення: 29.01.2025).

35. Правила улаштування електроустановок. ПУЕ. Нова редакція. Станом на 21.07.2017 р. К. : Міненерговугілля України, 2017. 617 с.

36. Основи охорони праці: Підручник. 21ге видання, доповнене та перероблене. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний, Д. В. Зеркалов, Р. В. Сабарно, О. І. Полукаров, В. С. Коз'яков, Л. О. Мітюк. За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. К.: Основа, 2006. 448 с.

37. Зоря М.В., Євтушенко Г.О. Управління охороною праці в сучасних умовах розвитку аграрного сектору економіки Агроекологічні аспекти виробництва та переробки продукції сільського господарства : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (Мелітополь-Кирилівка, 7-8 червня 2018 р.); <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/4431>

38. ДСТУ EN 60745-2-1:2014 Інструмент ручний електромеханічний. Вимоги щодо безпеки. Частина 2-1. Додаткові вимоги до дрилів та ударних дрилів (EN 60745-2-1:2010, IDT) (Чинний від 2016-01-01]. К.: ДП «УкрНДНЦ» 2016. 16 с. (Національний стандарт України).

39. Пушкар, Т. (2021). ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЄКТНИХ РІШЕНЬ. *Економіка та суспільство*, (28). <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-28-33>

40. Методичні рекомендації по виконанню 6 розділу дипломного проєкту «Техніко-економічна оцінка проєктних рішень» для здобувачів ступеня вищої освіти «Бакалавр» зі спеціальності 208 «Агроінженерія». Мелітополь, ТДАТУ, 2018. 15 с.

41. Коваленко О. І., Гулевський В. Б., Квітка С. О., Постол Ю. О. Виконання і захист кваліфікаційної роботи зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» : Методичний

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

посібник для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти.
Запоріжжя : ТДАТУ, 2025. 113 с.

					21ЕМД.11260369.02.25.000000ПЗ	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		