

**Веселовська Н.Р.**

д.т.н., професор

Возняк О.М.

к.т.н., доцент

Богатюк М.О.

аспірант

Тихоненко С.В.

аспірант

**Вінницький національний
аграрний університет****Veselovska N.**Doctor of Technical Science,
Professor**Voznyak O.**

Ph.D., Associate Professor

Bohatiuk M.

graduate student

Tykhonenko S.

graduate student

**Vinnitsia National Agrarian
University****УДК 681:621****DOI: 10.37128/2306-8744-2024-1-4**

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВАГИ РУДИ У СКІПІ ШАХТНОЇ ПІДЙОМНОЇ УСТАНОВКИ

Стаття описує розробку комп'ютеризованої системи вимірювання ваги руди у скіпі шахтної підйомної установки. Метою цієї системи є забезпечення оперативної інформацією автоматизованої системи управління залізорудним комбінатом. Робота включає проектування як апаратного, так і програмного забезпечення системи.

Апаратне забезпечення включає в себе сенсори ваги, які здійснюють вимірювання та передачу даних до центрального обчислювального блоку. Програмне забезпечення включає в себе алгоритми обробки даних, які аналізують інформацію про вагу руди та передають результати до системи управління.

Один з ключових аспектів статті - це можливість подальшої доводки проекту та випробування дослідного зразка системи в умовах промислового виробництва. Це дозволить перевірити ефективність та надійність системи в реальних умовах роботи, а також здійснити необхідні налаштування та вдосконалення перед завершенням проекту.

Узагальнюючи, розроблена система має потенціал стати важливим елементом для оптимізації та підвищення ефективності діяльності залізорудного комбінату, а також демонструє перспективи впровадження подібних технологій в інші галузі промисловості.

Робота наголошує на потенційних перевагах використання цієї комп'ютеризованої системи вимірювання ваги руди. Серед цих переваг можуть бути зазначені підвищення точності вимірювань, зменшення людського втручання та відповідно підвищення рівня безпеки на виробництві, а також можливість оперативного отримання та аналізу даних для прийняття управлінських рішень.

Крім того, інтеграція цієї системи в управління залізорудним комбінатом може сприяти зменшенню втрат матеріалу, оптимізації використання ресурсів та підвищенню загальної ефективності виробництва. Ці аспекти важливі для підприємства з точки зору економічної ефективності та стійкості на ринку.

Таким чином, розроблена комп'ютеризована система вимірювання ваги руди у скіпі шахтної підйомної установки є перспективним та важливим кроком у напрямку вдосконалення технологічних процесів у промисловості та підвищення її конкурентоспроможності.

Ключові слова: шахтна підйомна установка, розробка, технічне обладнання, програмне забезпечення, автоматизовані системи управління технологічними процесами, транспортування руди, вимірювання ваги, пластична деформація, міцність, металургія.



Вступ. В сучасному світі автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУТП) стають все більш важливим елементом в індустріальній сфері, сприяючи підвищенню продуктивності, ефективності та безпеки виробництва. Одним з найкритичніших аспектів у таких системах є точне вимірювання різноманітних параметрів технологічних процесів, що є ключовим для забезпечення їхньої оптимальної роботи. Зокрема, вимірювання ваги руди у скіпі шахтної підйомної установки має вирішальне значення для контролю та управління добувними процесами в промисловості, зосереджуючись на потребах галузі добувної промисловості. Ця розробка спрямована на створення ефективного та надійного інструменту для вимірювання ваги руди, який може бути успішно використаний на шахтах.

Розробка присвячена вирішенню усіх цих задач, пов'язаних з вимірюванням ваги руди у скіпі шахтної підйомної установки, через впровадження сучасних комп'ютеризованих та мікропроцесорних систем вимірювання.

Завдяки інтегрованій системі проектування та використанню передових програмно-апаратних засобів автоматизації, ця розробка має покращити якість вимірювання, забезпечуючи точність та стабільність результатів, що в свою чергу сприятиме ефективному контролю та управлінню процесами транспортування руди, зменшенню втрат матеріалу та підвищенню продуктивності роботи шахтної установки. Такий підхід не лише забезпечить покращення вимірювання ваги руди, але і сприятиме загальній оптимізації добувних

процесів, зменшенню ризиків аварій та підвищенню ефективності виробництва.

Крім того, розробка цієї інтегрованої системи вимірювання ваги руди у скіпі шахтної підйомної установки спрямована на зниження витрат часу та ресурсів, пов'язаних з обслуговуванням та підтримкою обладнання. Застосування сучасних програмно-апаратних засобів автоматизації також дозволить покращити процеси моніторингу та діагностики, що в свою чергу забезпечить оперативне виявлення можливих проблем та їх швидке усунення.

Загалом, впровадження цієї розробки має на меті створення комплексного рішення, яке не лише забезпечить точне вимірювання ваги руди, але і підвищить загальну ефективність та надійність процесів добування в промисловому секторі. Це стане важливим кроком у напрямку модернізації та оптимізації гірничодобувних технологій, що сприятиме не лише збільшенню прибутковості підприємств, але й зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Технічна проблема, що виникла на сучасному етапі розвитку добувної промисловості досліджується і аналізується науковцями [1-6].

Розглянемо технічну проблему, що виникла в добувній промисловості, на прикладі реального залізорудного комбінату. Цей комбінат має в своєму складі чотири добувні шахти, які віддалені від корпусів комбінату на значні відстані.

На рис. 1 схематично наведено територіальне розташування основних виробничих потужностей комбінату.

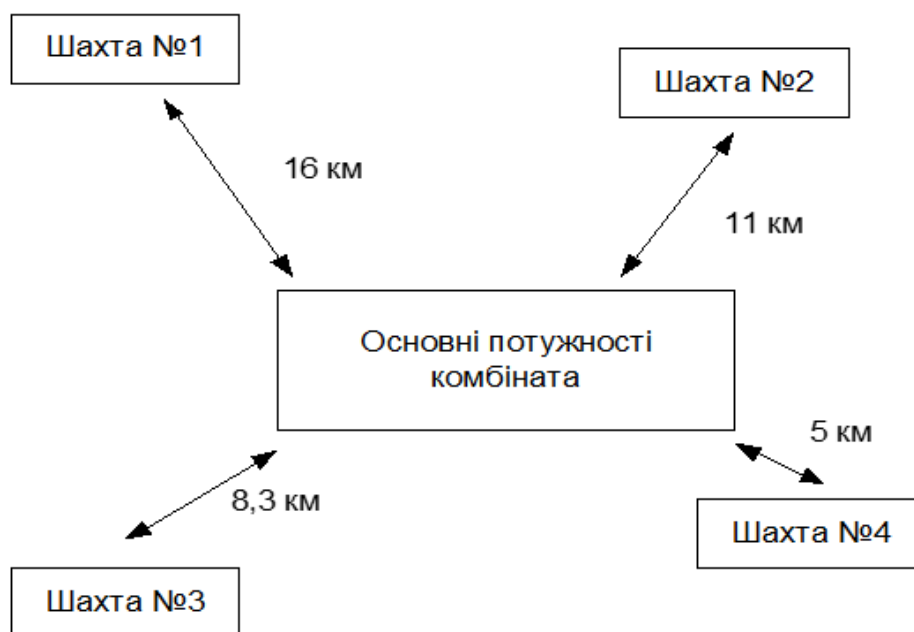


Рис.1.Територіальне розміщення виробничих потужностей комбінату



На комбінаті постійно провадяться роботи по вдосконаленню як самого технологічного устаткування, так і систем управління ним. При цьому важливе значення для ефективного управління комбінатом приділяється заходам по постачанню керівників будь-якого рангу оперативною інформацією про виробництво кінцевого продукту. Для умов комбінату це стосується технологічного і комерційного обліку здобутої і відвантаженої споживачу руди.

На комбінаті впроваджена автоматизована система управління технологічними процесами, яка також відповідає і за облік готової продукції та відвантаження її споживачам. Цей комерційний облік виконується на залізничних вагах і його достатньо для розрахунків із споживача, хоча цей вид обліку і не є оперативним.

Проте зараз виступає на передній план проблема відсутності будь-яких засобів для технологічного обліку здобутої на шахтах руди, який би виконувався як можна оперативніше.

Аналіз та обґрунтування вибору засобів вимірювання ваги. Прилади для вимірювання ваги та маси знаходять широке застосування при автоматизації різних технологічних процесів та використовуються у

пристроях та системах технологічного і комерційного обліку [1-6].

За функціональною ознакою та за конструктивними особливостями засоби для вимірювання ваги та маси бувають порціонними, транспортними, монорейковими, безперервної дії та спеціальними технологічними. Таке різноманіття засобів вимірювання ваги та маси пов'язане з різними фізичними властивостями речовин, що зважуються, а також із багатоманітністю технологічних процесів, в яких необхідно зважувати речовини. Більшість систем, що призначені для оперативного зважування сипучих матеріалів, якою є руда, використовують тензометричні датчики ваги. Приклади розміщення таких датчиків при зважуванні піску, руди й вугілля у промислових умовах наведені на рисунку 2. Як правило, зважування виконується в бункерах дозаторів, які встановлюються на опори (три та більше) з закріпленими тензодатчиками ТД (рис. 2, а), або підвішується через тензодатчик (рис. 2, б). Сигнали тензодатчиків, що приведені до нормованих значень, передаються до блоків вторинної обробки інформації, які зараз виконуються на основі мікропроцесорних пристроїв.

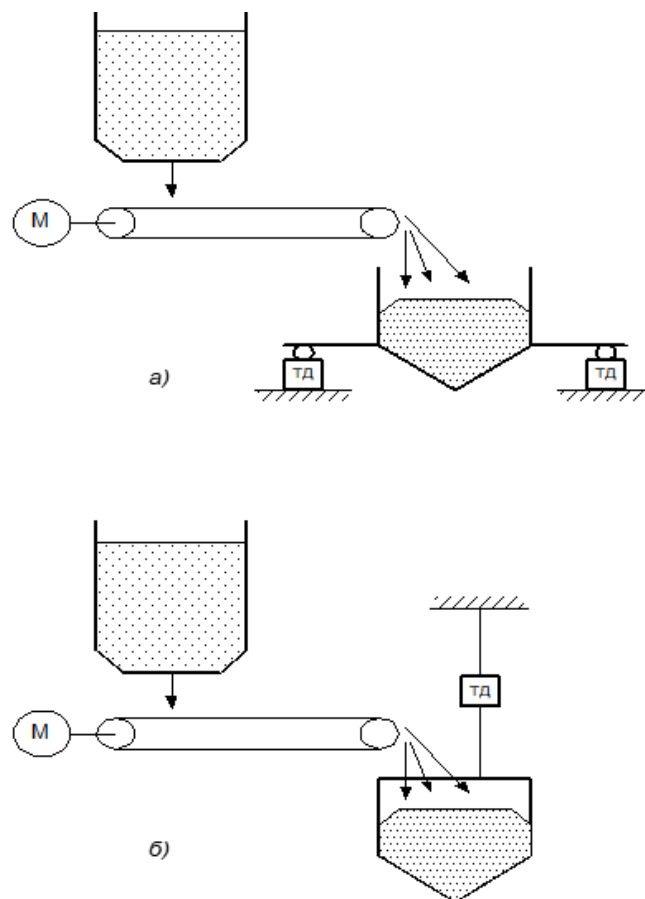


Рис. 2. Приклади зважування піску, руди й вугілля у промислових умовах



Тензорезисторні перетворювачі зусилля ваги за принципом дії є безпосередніми перетворювачами механічних деформацій. Внаслідок того, що механічні деформації - векторні величини, тензорезистор має бути наклеєним на поверхню опори у напрямку її дії. Вихідним інформативним параметром тензорезисторів є відносна зміна опору, і тому їх найчастіше вмикають у мостове вимірювальне коло. При вимірюванні ваги її зусилля перетворюється на переміщення Δl . Переміщення за допомогою тензорезистора, виконаного у вигляді окремої конструкції, перетворюється у відносну зміну опору ΔR . Таким чином, пристрій вимірювання ваги може бути зображений у вигляді узагальненої структурної схеми, що містить датчик, аналоговий вимірювальний канал (АВК) і

мікропроцесорну систему МПС. Така структурна схема наведена на рис. 3.

Датчик складається з тензометричного перетворювача, джерела струму і вимірювального підсилювача.

Принцип дії тензометричного перетворювача ґрунтується на використанні тензоефекту у напівпровідниках. Під дією деформації опори виникає відносна зміна опорів тензорезисторів перетворювача, що веде до розбалансування вимірювального мосту і появи на вході вимірювального підсилювача певного сигналу. Вимірювальний підсилювач повинен мати диференціальний вхід, великий коефіцієнт підсилення, низький зсув нульового рівня і дуже великий (як правило, більше 80 дБ) коефіцієнт послаблення синфазного сигналу.

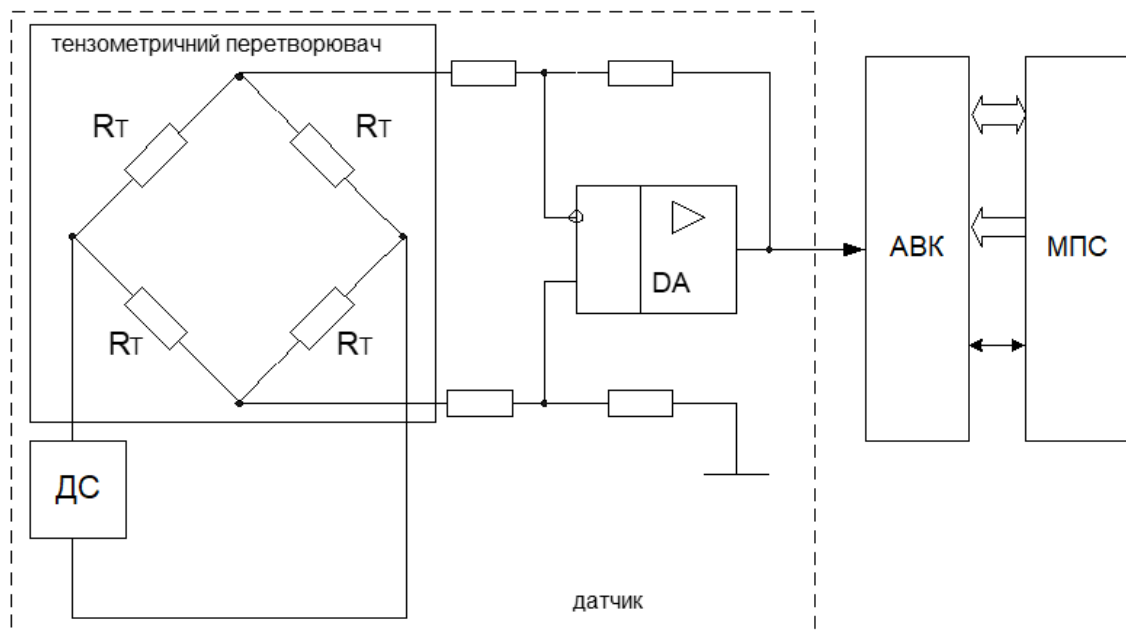


Рис. 3. Узагальнена структурна схема пристрою вимірювання ваги

Тут диференціальний вхідний сигнал це вихідна напруга мосту. Підсилений вимірювальним перетворювачем диференціальний вхідний сигнал надходить на вхід аналогового вимірювального каналу, де перетворюється або у нормоване значення напруги чи струму, або у цифровий код. Саме цей код вводиться до мікропроцесорної системи.

Конструкція приладів передбачає встановлення та зберігання коду нуля, масштабного коефіцієнта параметрів настроювання (найбільшої границі важення, дискретності перетворення) на лінійці мікроперемикачів, що підвищує надійність роботи приладів при провалах та відключеннях напруги живлення.

Прилади переналагоджуються на будь-яку верхню границю перетворення, що заявлені у технічній документації – 10000, 15000, 20000, 30000, 40000, 50000 чи 60000 одиниць. Границі перетворення приведені у безрозмірних одиницях: формування необхідної найбільшої границі важення у кілограмах проводиться встановленням потрібної позиції коми на індикаторі приладу.

Нормувальні перетворювачі сигналів тензодатчиків типу ПНТ, що виготовляються тим самим підприємством, призначені для живлення тензорезисторних датчиків напругою постійного струму та перетворення їх сигналів в уніфіковані сигнали постійного струму 0-5 мА або 4-20 мА.

ПНТ працюють з усіма типами тензорезисторних датчиків з номінальним значенням напруги живлення 10 В та робочим



коефіцієнтом передачі (РКП) до 3 мВ/ В. Основна приведена похибка перетворення сигналу тензодатчика у сигнал постійного струму не перевищує 0,2 %.

Перетворювачі тензометричні з безпечним за виникненням іскри входом (ПТИ) призначені для живлення тензорезисторних датчиків напругою постійного струму 12 В та перетворення їх сигналів у пропорційний сигнал постійного струму. Кола живлення тензорезисторних датчиків перетворювача ПТИ мають захист від вибуху виду “Іскробезпечне електричне коло”.

Перетворювач ПТИ має конструктивний рівень захисту від вибуху “ІА” та призначений для встановлення за межами вибухонебезпечних зон.

У комплекті з перетворювачем можуть використовуватися серійно виготовлені тензорезисторні датчики. Верхня границя робочих коефіцієнтів передачі тензорезисторних датчиків – 2 мВ/ В. Основна приведена похибка перетворення сигналу тензодатчика у частотний сигнал не перевищує 0,1 %.

Основний елемент датчиків - спеціальна пружна речовина, яка еластично деформується під дією вантажу, викликаючи зміну опору. Це в свою чергу змінює вихідну напругу, яка є пропорційною до зміни ваги. Вимірювальний елемент є кільцем, зробленим з неіржавіючої сталі. Дві вимірювальні спіралі, що розширюються, застосовуються на верхній і нижній стороні кільця. Під впливом діючого навантаження кільце згинається, внаслідок чого діаметр верхньої сторони кільця скорочується, а нижньої - збільшується. При вигині кільця воно деформується, що сприяє появі напруги вимірюваного параметра, пропорційного навантаження, що змінюється[1-6].

Проаналізуємо можливість використання оглянутих тензометричних датчиків ваги при зважуванні руди в скіпі шахтної підйомної установки. На рисунку 4 наведений варіант розміщення в ній тензодатчиків.

Тензодатчики можуть розміщуватися під опорами лебідки шахтної підйомної установки, яка приводиться до дії електричним приводом. Лебідка через систему тросів рухає в протилежних напрямках два скіпи – один з рудою вверх до поверхні, а пустий, навпаки, вниз.

Вихідний сигнал тензодатчиків буде визначатися вагою руди в скіпі, що підіймається. Але крім цієї ваги на роботу датчика буде діяти і ваги обох скіпів, лебідки, тросів та іншого обладнання, що зв'язане з лебідкою. Тобто зважування ваги руди буде здійснюватися на фоні значного неінформативного сигналу, що призведе до значної похибки вимірювання. Крім того, розміщення самих датчиків під опорами лебідки вимагає проведення досить складних робіт із зупинкою обладнання шахти, що не припустимо.

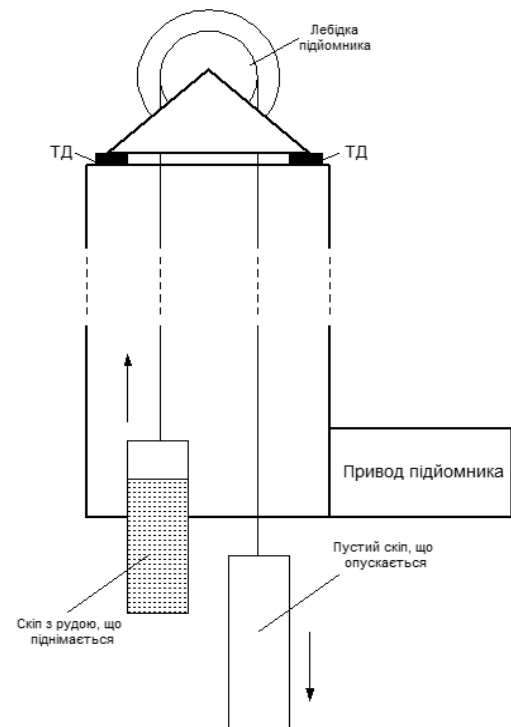


Рис.4. Варіант розміщення тензодатчиків в шахтній підйомній установці

Тому цей варіант зважування руди у скіпі не доцільно використовувати в проєктованій системі. Треба шукати більш простий і ефективний спосіб вимірювання.

Лебідка приводиться до дії електричним приводом на основі потужного електродвигуна постійного струму. Регулювання його швидкості та напрямку обертання виконується за допомогою системи “генератор-двигун”. На рис. 5 показана схема цього електроприводу.

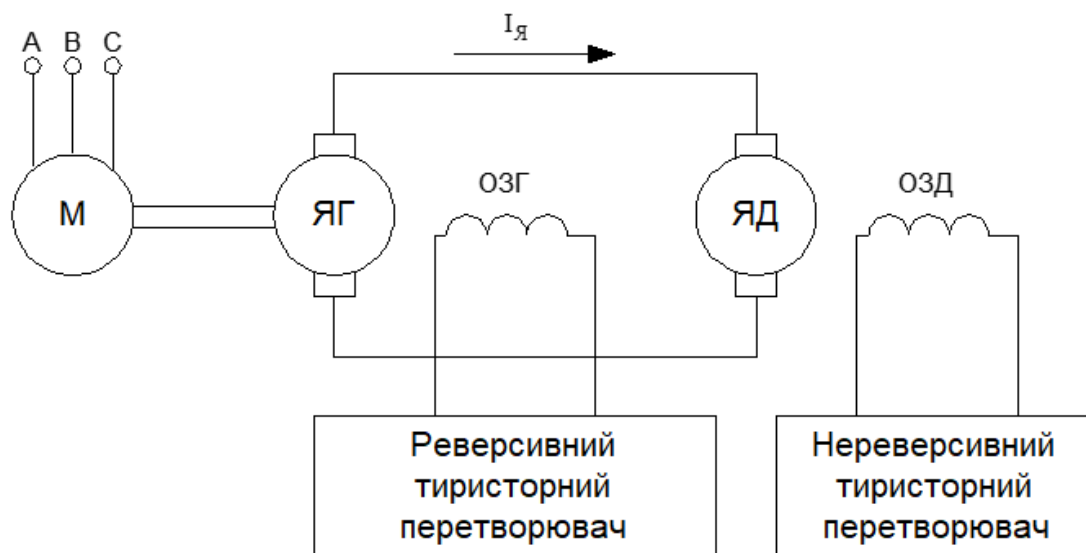
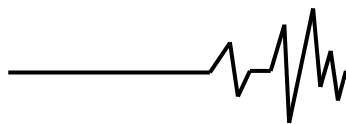


Рис.5. Схема електроприводу підйомної установки

Якір генератора ЯГ обертається приводним асинхронним двигуном М. В якірній обмотці генератора наводиться ЕРС, яка утворює струм якоря $I_{я}$ двигуна лебідки ЯД. Швидкість обертання двигуна та напрямок цього обертання визначається величиною і знаком цього струму.

Збудження генератора створюється через обмотку збудження генератора ОЗГ, яка живиться від реверсивного тиристорного перетворювача. Змінюючи силу струму або напрямок струму цієї обмотки можна здійснювати плавний пуск, регулювання швидкості на реверс обертання електродвигуна лебідки.

Збудження електродвигуна лебідки здійснюється через обмотку збудження двигуна ОЗД, яка живиться від окремого нереверсивного тиристорного перетворювача.

Якщо струм обмотки збудження генератора підтримувати постійним, то струм якоря двигуна лебідки буде визначатися тільки навантаженням на його валу, тобто вагою скіпів, що висять на тросах лебідки. При цьому у певні моменти ваги самих скіпів можуть врівноважувати одна одну (точка переваження) і тоді навантаження на двигун лебідки буде здійснювати тільки вага руди, що підіймається.

Іншими словами, можна організувати непряме вимірювання ваги руди в скіпі шахтної підйомної установки по струму якоря приводного електродвигуна, яке виконується в точці переваження, коли ваги пустих скіпів, що висять на тросах лебідки, врівноважують одна одну. Такий спосіб не вимагає жодних переробок самої підйомної установки і може бути впроваджений без зупинки обладнання шахти. Тому вибираємо саме цей спосіб

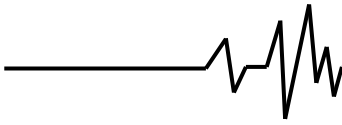
вимірювання ваги руди для комп'ютеризованої системи вимірювання.

Основні результати дослідження. Розробка електричної структурної схеми системи. Комп'ютеризована система вимірювання ваги руди в скіпі підйомного механізму шахти має складатися з трьох основних частин: мікропроцесорного контролера (МК), комп'ютера диспетчера шахти (КДШ) та комп'ютера диспетчера залізорудного комбінату (КДЗРК). Оригінальною частиною цієї системи, що вимагає детальної розробки, є мікропроцесорний контролер.

Сучасні мікропроцесорні системи, до яких відноситься МК, будуються за магістрально - модульним принципом. Окремі блоки являють собою функціонально закінчені модулі зі своїми вбудованими схемами управління, що виконуються у вигляді одного чи кількох кристалів великих інтегральних схем (ВІС). Зв'язки та обмін інформацією між модулями здійснюється через колективні шини (магістралі), до яких мають доступ усі основні модулі системи. Для сучасних мікропроцесорних пристроїв характерна 3-шинна структура, яка містить шину адреси ША, двонапрявлену шину даних ШД та шину управління ШУ.

Виходячи з цього, мікропроцесорний контролер системи будемо будувати на основі однокристальної мікро-ЕОМ.

Бажаним варіантом її виконання є мікро – ЕОМ з вбудованим перепрограмованим постійним запам'ятовувальним пристроєм (ПЗП) з ультрафіолетовим стиранням інформації, що дозволило би швидко перепрограмувати прилад у випадку зміни типу датчика, діапазону вимірювання або властивостей контрольованого середовища.



Розробка електричної структурної схеми комп'ютеризованої системи виконувалась шляхом аналізу варіантів та вибору організації каналів, за якими відбувається передавання інформації. Такими каналами є такі:

- канал введення до МК аналогового сигналу з датчика струму якорної обмотки електродвигуна підйомної установки;
- канал введення до МК аналогового сигналу з датчика струму обмотки збудження генератора електроприводу підйомної установки;
- канал введення до МК дискретного сигналу з датчика положення скіпів, що сигналізує про момент проходження точки їх перевантаження;
- канал виведення з МК інформації на вбудований пристрій відображення (мінімальний та максимальний допуски на вагу руди у скіпі підйомної установки, мінімальний та максимальний допуски на значення струму обмотки збудження генератора, поточне значення ваги руди у скіпі, поточне значення струму обмотки збудження, номер каналу виміру, номери каналів з порушенням встановлених допусків);
- канал передавання з МК результатів вимірювання через послідовний

порт до КДШ і отримання інформації з нього про встановлені границі контролю;

- канал виведення з МК сигналів управління тиристорним перетворювачем блоку живлення обмотки збудження генератора;
- канал виведення з КДШ до КДЗРК оперативної інформації про вагу руди, що піднімається скіпом.

Усі складові частини проекрованої системи розміщуються у відповідних приміщеннях шахти та комбінату: у приміщенні підйомної установки шахти (датчики), в приміщенні машиніста шахти (МК), в приміщенні диспетчера шахти (КДШ) та в приміщенні диспетчера залізорудного комбінату.

Канал введення дискретного сигналу положення скіпів, що сигналізує про проходження скіпами точки перевантаження, містить дискретний датчик 1 та формувач сигналу 4. Датчик виробляє на виході імпульсний сигнал у момент проходження скіпами точки перевантаження, а формувач виробляє при цьому дискретний сигнал, що за рівнем узгоджений з входом центрального мікропроцесорного пристрою 8 МК.

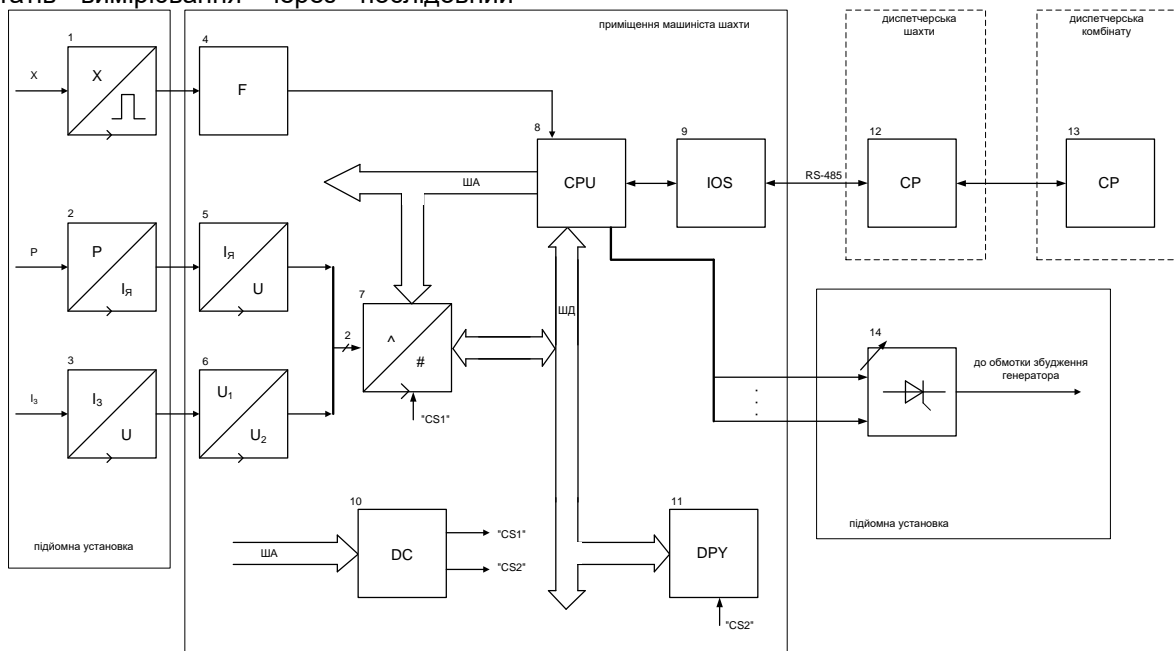
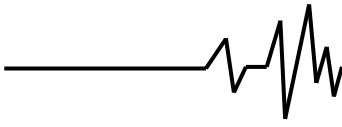


Рис.6. Запропонована електрична структурна схема комп'ютеризованої системи

Канал введення до МК сигналу з датчика струму якорної обмотки містить саму якорну обмотку електродвигуна 2, що перетворює вагу руди в скіпі у струм $I_{я}$, а також датчик цього струму 5, який є вимірювальним електричним шунтом, ввімкненим в коло обмотки якоря. Цей шунт перетворює струм якорної обмотки в значення напруги, пропорційне вазі руди в скіпі. Для

подальшого перетворення цієї напруги в цифровий код призначений 2-канальний аналого-цифровий перетворювач 7. Вибір вхідного каналу для перетворення виконується за адресою, що подається на перетворювач через шину адреси МК.

Канал введення до МК сигналу з датчика струму обмотки збудження генератора



електроприводу підйомної установки містить саму обмотку збудження, електричний вимірювальний шунт 3, що ввімкнений в коло обмотки, та перетворювач рівнів напруги 6, який узгоджує рівень напруги з шунта з рівнем напруги на вході 2-канального аналого-цифрового перетворювача 7.

Центральний мікропроцесорний пристрій МК виконаний у вигляді мікро-ЕОМ 8, яка через шину даних виконує послідовне у часі завантаження до своєї резидентної пам'яті двох кодів сигналів аналогових датчиків з виходу аналого-цифрового перетворювача 7. Програма мікро-ЕОМ виконує первинну обробку цієї інформації, а саме: перевірку відповідності кожної вимірюваної величини встановленим границям контролю і, у разі їх порушення, виведення відповідної аварійної інформації на вбудований індикатор 11. На індикатор послідовно виводиться і інформація про поточні значення вимірюваних величин (вага руди в скіпі – канал 1, струм збудження обмотки генератора – канал 2). Крім того, програма, при необхідності, розраховує моменти появи керуючих імпульсів на тиристорі перетворювача 14 блоку живлення обмотки збудження генератора і виводить їх у вигляді імпульсних сигналів через шину управління.

Для активізації окремих пристроїв МК під час виконання мікро-ЕОМ своєї програми в схемі передбачений дешифратор адреси пристроїв 10. Цей пристрій за адресою з шини адреси мікро-ЕОМ формує два сигнали вибору пристроїв мікроконтролера: "CS1" – сигнал вибору 2-канального аналого-цифрового перетворювача 7 та "CS2" – сигнал вибору пристрою індикації 11.

Для взаємодії МК з комп'ютером 12 диспетчера шахти (КДШ) з метою обміну інформацією в схемі передбачений послідовний порт 9 з інтерфейсом RS-485. Через цей порт МК отримує інформацію про поточні границі контролю вимірюваних величин, про момент початку процесу вимірювання та його зупинку, а також передає оперативну інформацію про поточні значення вимірюваних величин та аварійну інформацію у випадку порушень встановлених границь їх контролю.

Для передавання оперативної інформації про вагу руди, що піднімається скіпом, з комп'ютера диспетчера шахти 12 до комп'ютера 13 диспетчера залізничного комбінату (КДЗРК) в схемі передбачений окремий канал передавання цифрової інформації на відстань 5-16 км.

На основі цієї електричної структурної схеми комп'ютеризованої системи вимірювання можна розробити більш детальну електричну функціональну її схему.

Розробка схеми основної програми сучасного мікроконтролера. Для розміщення кодів програм будемо використовувати тільки вмонтований ПЗП, але початок основної програми розмістимо так, що першою коміркою буде 00E8 H.

В мікроконтролері передбачено використання переривання від таймеру T/C0 та апаратні зовнішні переривання по входах "INT0" та "INT1". В пам'яті мікро-ЕОМ необхідно розмістити відповідні підпрограми обслуговування цих переривань.

Тому виконуємо таке розподілення області ПЗП:

- зарезервована пам'ять: з адреси 0000H до 00E7H;
- область для основної програми: з адреси 00E8H до 0D00H;
- область для розміщення підпрограм: з адреси 0D01H до 0E00H;

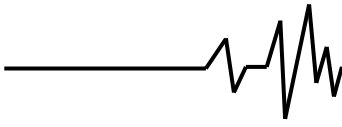
Для роботи мікроконтролера та розробки його програми розподілимо і область пам'яті ОЗП. Для зберігання поточних даних будемо використовувати область регістрів загального призначення R0-R7 та область регістрів з прямою адресацією з адресами від 0020H до 002FH (16 байтів).

Схему основної програми розробляємо з використанням модульного принципу побудови програмного забезпечення.

Починається програма з процедури ініціалізації змінних програми та адрес пристроїв.

Змінними програми є такі:

- "MES" – сигнал запам'ятовування поточних значень аналогових сигналів з двох датчиків системи (струму обмотки якоря та струму обмотки збудження);
- "STA" – сигнал пуску АЦП;
- "TS1" – сигнал управління тиристором №1 перетворювача блоку живлення обмотки збудження;
- "TS2" – сигнал управління тиристором №2 перетворювача блоку живлення обмотки збудження;
- "TS3" – сигнал управління тиристором №3 перетворювача блоку живлення обмотки збудження;
- "TS4" – сигнал управління тиристором №4 перетворювача блоку живлення обмотки збудження;
- "TS5" – сигнал управління тиристором №5 перетворювача блоку живлення обмотки збудження;
- "TS6" – сигнал управління тиристором №6 перетворювача блоку живлення обмотки збудження;
- "RMAX2" та "RMAX1" – двійкові еквіваленти двох розрядів максимального допуску на вагу руди в скіпі;
- "RMIN2" та "RMIN1" – двійкові еквіваленти двох розрядів мінімального допуску на вагу руди в скіпі;
- "RIMAX2" та "RIMAX1" – двійкові еквіваленти двох розрядів максимального допуску на струм збудження;



- "RIMIN2" та "RIMIN1" – двійкові еквіваленти двох розрядів мінімального допуску на струм збудження;

- "RSR2" та "RSR1" – двійкові еквіваленти двох розрядів поточного вимірюваного значення;

- "BCH1", "BCH2" – двійкові коди поточних значень аналогових сигналів в каналах №1 і №2;

- "RCH12" та "RCH11" – двійкові еквіваленти двох десяткових розрядів поточного значення ваги руди в скіпі (канал №1);

- "RCH22" та "RCH21" – двійкові еквіваленти двох десяткових розрядів поточного значення струму збудження (канал №2);

- "NCYC" – кількість виконаних циклів при формуванні періоду опитування датчика струму збудження;

- "ZVIT" – байт звітної інформації про результати вимірювання;

- "MES_UP" – байт дозволу на початок вимірювань.

Адресами основних пристроїв, якими управляє мікро-ЕОМ, є такі: "ADC" – адреса АЦП для читання результату; "CH1", "CH2" – адреси схем вибірки/ зберігання каналів №1 і №2; "MAX2" та "MAX1" – адреси індикаторів двох десяткових розрядів максимальної уставки; "MIN2" та "MIN1" – адреси індикаторів двох десяткових розрядів мінімальної уставки; "SR2" та "SR1" – адреси індикаторів двох десяткових розрядів поточного вимірюваного значення; "NK" – адреса індикатора номера контрольованого каналу; "EX1", "EX2" – адреси індикаторів аварійного висвітлення номеру каналів №1 та №2.

При ініціалізації призначаються також початкові адреси основної програми та підпрограми обслуговування переривання, а також виконується настройка основних пристроїв мікро-ЕОМ (таймерів/лічильників, вбудованого послідовного порту тощо).

Після ініціалізації виконується перевірка стану кнопки скидання мікроконтролера. У разі її натискання програма знов переходить до виконання процедури ініціалізації. У іншому випадку програма переходить до очікування переривання від УАПП, що викликане прийомом даних від комп'ютера (ПК) диспетчера шахти. Ці дані можуть бути або наказом мікроконтролеру на початок вимірювання, або границями контролю вимірюваних величин. Як тільки дані від ПК отримані, програма переходить до їх аналізу (підпрограма аналізу даних з УАПП).

Якщо ці дані є границями контролю, то виконується прийом цих даних від ПК у вигляді чотирьох байтів. Два з них несуть інформацію про границі контролю ваги руди в скіпі, а інші два – інформацію про границі контролю струму збудження обмотки генератора. Ці байти

розміщуються у відповідних регістрах пам'яті мікроконтролера.

Після завантаження границь контролю програма знов переходить до очікування даних від ПК диспетчера шахти. Наступними даними може бути або нові границі контролю, або наказ на початок вимірювання. В останньому випадку програма перевіряє наявність сигналу переривання "INT0", який формується за сигналом контактного датчика положення скіпів. Якщо переривання немає, то програма починає виконання циклів вимірювання струму обмотки збудження генератора та управління тиристорними перетворювачами її блоку живлення.

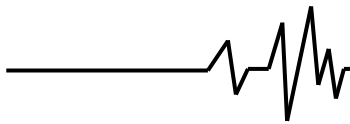
Формується часова затримка у 7 с, яка є періодом вимірювання струму. Формування цього періоду здійснюється апаратними засобами за рахунок лічення імпульсів тактової частоти таймером/ лічильником ОЕОМ.

Після формування часового періоду програма формує команду на запам'ятовування сигналів двох аналогових датчиків в мікросхемах вибірки/ зберігання (встановлюється сигнал "MES"). Програма витримує певний часовий проміжок для надійного запам'ятовування вихідних напруг датчиків в цих мікросхемах. Потім дає команду на аналого-цифрове перетворення напруги каналу №2 (виставляється адреса "CH2" і встановлюється сигнал "STA"). При отриманні сигналу переривання "INT1", який свідчить про готовність даних АЦП, виконується введення коду струму збудження I_3^* у ОЕОМ і його розміщення у ОЗП.

Після введення коду значення струму збудження програма порівнює поточне значення струму з встановленими границями контролю та виконує індикацію результату виміру на вбудованому пристрої відображення мікроконтролера.

Для індикації значення струму збудження виконується попереднє переведення отриманого двійкового коду струму збудження у двійково-десятькове його значення. Останнє значення виводяться на вбудований індикатор мікроконтролера (разом з відповідним номером каналу). Ця індикація потрібна лише для режимів пусконаладжувальних робіт на підйомній установці шахти, коли настроюється точність роботи вимірювальної системи.

Якщо допуски на струм збудження витримані, то програма формує байт звітної неаварійної інформації (у другий розряд байту записується логічний "нуль"). Якщо ж допуски порушені (струм збудження менший або більший ніж потрібно), то програма формує байт звітної аварійної інформації, де другий біт, номер якого відповідає номеру каналу вимірювання струму збудження, встановлюється у логічну "одиницю". Крім того, на вбудований індикатор



мікроконтролера виводяться номер цього аварійного каналу.

Якщо ОЕОМ отримує сигнал переривання по входу "INT0", сформований контактним датчиком положення скіпів (знаходяться в точці перевантаження), то програма виконує вимірювання струму якірної обмотки електродвигуна і розрахунок по ньому ваги руди в скіпі.

Для цього формується команда на запам'ятовування сигналів двох аналогових датчиків в мікросхемах вибірки/ зберігання

(встановлюється сигнал "MES"). Програма витримує певний часовий проміжок для надійного запам'ятовування вихідних напруг датчиків в цих мікросхемах. Потім дає команду на аналого-цифрове перетворення напруги каналу №1 (виставляється адреса "CH1" і встановлюється сигнал "STA"). При отриманні сигналу переривання "INT1", який свідчить про готовність даних АЦП, виконується введення коду струму якірної обмотки I_я* у ОЕОМ і його розміщення у ОЗП (рис.6).

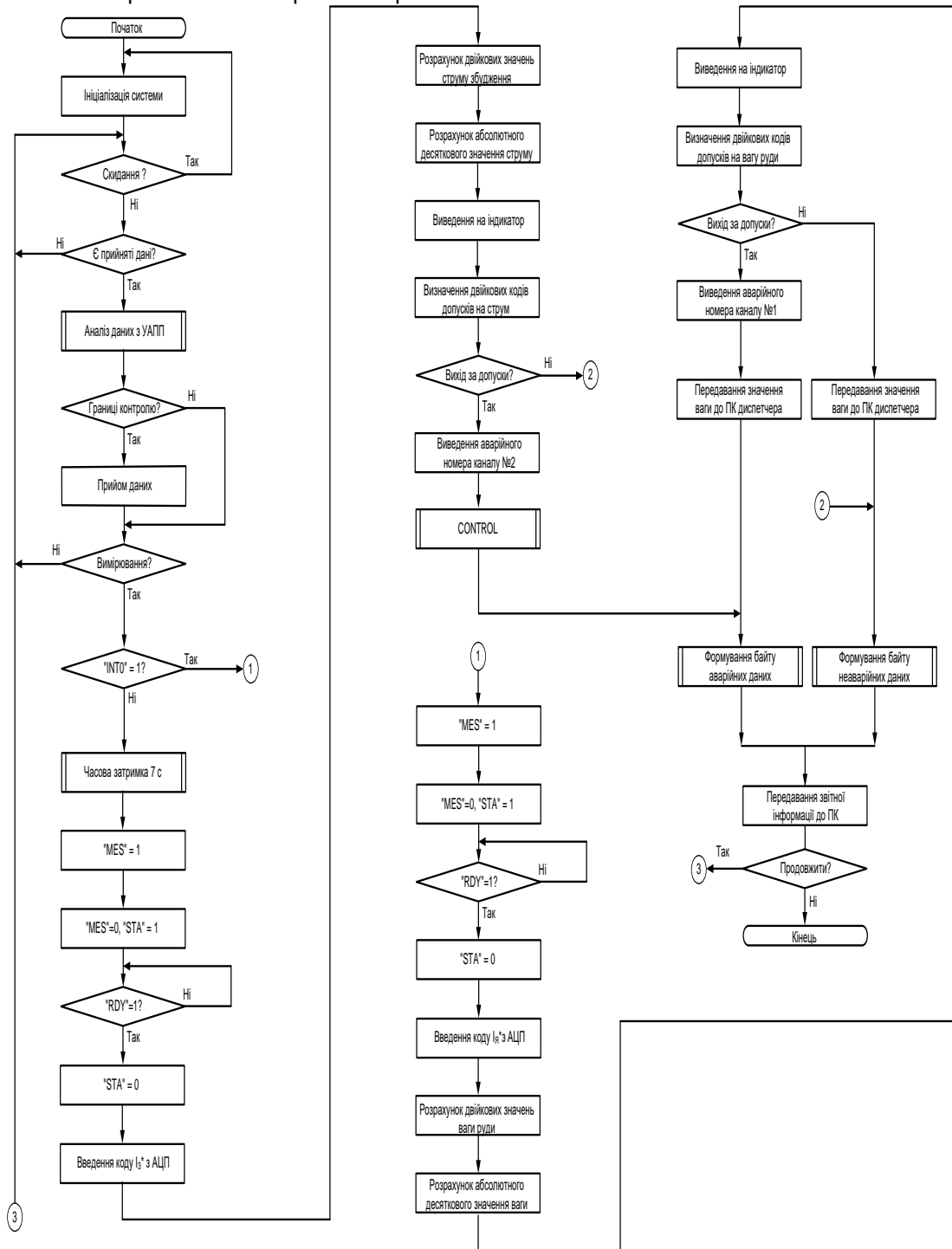


Рис. 6. Схема основної програми сучасного мікроконтролера



Після введення коду значення струму якірної обмотки програма розраховує по ньому код ваги руди, порівнює поточне значення цієї ваги з встановленими границями контролю та виконує індикацію результату виміру на вбудованому пристрої відображення мікроконтролера. Для індикації значення ваги руди виконується попереднє переведення отриманого двійкового коду струму якірної обмотки у двійково-десятькове значення ваги руди. Останнє значення виводяться на вбудований індикатор мікроконтролера (разом з відповідним номером каналу). Ця індикація потрібна лише для режимів пусконаладжувальних робіт на підйомній установці шахти, коли настраюється точність роботи вимірювальної системи. Після індикації ваги руди виконується обов'язкове передавання коду ваги руди до ПК диспетчера шахти. Якщо допуски на вагу руди витримані, то програма формує байт звітної неаварійної інформації (у перший розряд байту записується логічний "нуль"). Якщо ж допуски порушені (вага руди в скіпі менша або більша ніж потрібно), то програма формує байт звітної аварійної інформації, де перший біт, номер якого відповідає номеру каналу вимірювання струму якірної обмотки, встановлюється у логічну "одиницю". Крім того, на вбудований індикатор мікроконтролера виводяться номер цього аварійного каналу. По завершенню будь-якого циклу вимірювання (ваги руди або струму збудження) сформований байт звітної інформації (аварійної або неаварійної) передається до ПК диспетчера шахти.

Процес вимірювання та контролю контролюється кількома засобами відображення: на зображеннях скіпу та електроприводу підйомної установки розміщені кольорові прямокутні індикатори. Вони можуть бути або зеленого, або червоного кольору. Якщо вага руди в скіпі чи струм збудження відповідає встановленим допускам, то колір індикаторів зелений. Якщо навпаки, то червоний.

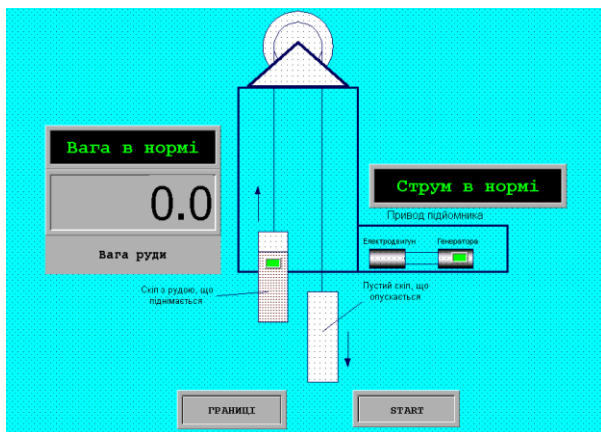


Рис.7. Зовнішній вигляд основного екрану "DYSP1"

Біля зображення скіпу розміщений цифровий індикатор поточного значення ваги руди, що піднімається скіпом в даний момент. Крім того, на екрані розміщені текстові індикатори, які змінюють свій напис в залежності від результатів контролю. Якщо вага руди або струм збудження не виходять за границі допуску, то на індикаторах з'являється відповідний напис – "Вага в нормі" або "Струм в нормі". Якщо ж навпаки, то напис змінюється – він стає червоного кольору і містить або "Вага не відповідає нормі", або "Струм не відповідає нормі". Диспетчер приймає рішення або про хибність результату виміру ваги руди (якщо струм збудження вийшов за границі норми), або про прийняття заходів щодо точного завантаження скіпу підйомної установки.

Висновки. В роботі розроблена комп'ютеризована система вимірювання ваги руди в скіпі шахтної підйомної установки. Система призначена для постачання оперативною інформацією автоматизовану систему управління залізрудним комбінатом. Спроектовано усе апаратне та програмне забезпечення системи. При подальшій доводці проекту дослідний зразок системи може бути випробуваний в умовах промислового виробництва.

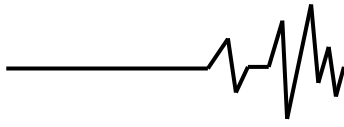
Підвищення якісних показників вимірювання ваги руди у скіпі шахтної підйомної установки за допомогою інтегрованої системи проектування та сучасних програмно-апаратних засобів автоматизації може мати значний вплив на метрологічні характеристики процесу вимірювання:

1. Точність вимірювання: використання сучасних сенсорів ваги та автоматизованого зчитування даних може покращити точність вимірювання ваги руди. Це дозволить знизити помилки вимірювання та підвищити точність результату.

2. Надійність системи: впровадження програмно-апаратних засобів автоматизації дозволить створити більш надійну систему вимірювання, що зменшить ризик виникнення помилок та аварійних ситуацій під час роботи установки.

3. Стабільність результатів: інтеграція системи проектування дозволить забезпечити стабільність та однаковість результатів вимірювання в різних умовах роботи установки, що важливо для забезпечення консистентності та достовірності отриманих даних.

4. Ефективність контролю процесів: покращення якості вимірювання дозволить більш ефективно контролювати процеси транспортування руди, що в свою чергу сприятиме зниженню втрат матеріалу та підвищенню продуктивності роботи шахтної установки.



Отже, в результаті впровадження інтегрованої системи проектування та сучасних програмно-апаратних засобів автоматизації очікується покращення всіх основних метрологічних характеристик, що значно підвищить ефективність та надійність процесу вимірювання ваги руди у скіпі шахтної підйомної установки.

Список використаних джерел

1.Скидан Ю.А., Папінов В.М., Лисогор В.Г. Засоби автоматизації комп'ютерних систем управління : Навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ - УНІВЕРСУМ, 2006. 321 с.
2.Дорожовець М. Основи метрології та вимірювальної техніки: Підручник. Львів: Видавництво національного університету «Львівська політехніка». 2005. Основи метрології. 532 с.
3.Shatokhin V., Ivanchuk Y., Dvirna O., Veselovskaya N., Jurczak W. Dynamic Processes Modeling in a Peristaltic Pump with a Hydraulic Drive for the Bingham Fluid. *Advances in Science and Technology Research Journal*. 2022. Vol. 16 (4). P. 256-269.
4.Папінов В.Н., Скидан Ю. А. Инструментальні засоби автоматизації проектування комп'ютеризованих систем управління. Навчальний посібник для студентів спеціальності «Комп'ютеризовані системи управління та автоматики». Вінниця: ВДТУ, 1999. 137 с.
5.Васюра А.С., Кривоғубченко С.Г., Кулик А.Я., Компанець М.М. Елементи локальних систем автоматики. Навчальний посібник. Вінниця: ВДТУ, 1998.103с.
6.Васюра А.С., Кривоғубченко С.Г., Кулик А.Я., Компанець М.М., Возняк О.М. Мікропроцесорні засоби передавання інформації. Навчальний посібник. Вінниця: ВДТУ, 1998.103 с.

References

1. Skydan YU.A., Papinov V.M., Lysohor V.H. Zasoby avtomatyzatsiyi komp'yuternykh system upravlinnya : Navchal'nyy posibnyk. Vinnytsya: VNTU - UNIVERSUM, 2006. 321 s. [in Ukrainian].
2. Dorozhovets' M. Osnovy metrolohiyi ta vymiryval'noyi tekhniki: Pidruchnyk. L'viv: Vydavnytstvo natsional'noho universytetu «L'vivs'ka politekhnika». 2005. Osnovy metrolohiyi. 532 s. [in Ukrainian].
3. Shatokhin V., Ivanchuk Y., Dvirna O., Veselovskaya N., Jurczak W. Dynamic Processes Modeling in a Peristaltic Pump with a Hydraulic Drive for the Bingham Fluid. *Advances in Science and Technology Research Journal*. 2022. Vol. 16 (4). P. 256-269. [in English].

4. Papinov V.N., Skydan YU. A. Instrumental'ni zasoby avtomatyzatsiyi proektuvannya komp'yuteryzovanykh system upravlinnya. Navchal'nyy posibnyk dlya studentiv spetsial'nosti «Komp'yuteryzovani systemy upravlinnya ta avtomatyky». Vinnytsya: VDTU, 1999. 137 s. [in Ukrainian].

5. Vasyura A.S., Kryvohubchenko S.H., Kulyk A.YA., Kompanets' M.M. Elementy lokal'nykh system avtomatyky. Navchal'nyy posibnyk. Vinnytsya: VDTU, 1998.103s. [in Ukrainian].

6. Vasyura A.S., Kryvohubchenko S.H., Kulyk A.YA., Kompanets' M.M., Voznyak O.M. Mikroprotsesorni zasoby peredavannya informatsiyi. Navchal'nyy posibnyk. Vinnytsya: VDTU, 1998.103 s. [in Ukrainian].

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED SYSTEM FOR MEASURING THE WEIGHT OF ORE IN THE SKIP OF A MINE ELEVATOR

The article describes the development of a computerized system for measuring the weight of ore in the skip of a mine hoist. The purpose of this system is to provide operational information for the automated management system of the iron ore plant. The work includes the design of both hardware and software of the system.

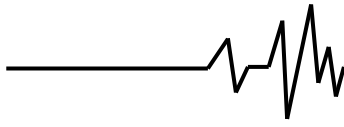
The hardware includes weight sensors that measure and transmit data to a central computing unit. The software includes data processing algorithms that analyze ore weight information and transmit the results to the control system.

One of the key aspects of the article is the possibility of further refinement of the project and testing of the prototype system in the conditions of industrial production. This will make it possible to check the efficiency and reliability of the system in real working conditions, as well as to make the necessary adjustments and improvements before the end of the project.

Summing up, the developed system has the potential to become an important element for optimizing and improving the efficiency of the iron ore plant, and also demonstrates the prospects of introducing similar technologies in other industries.

The work highlights the potential benefits of using this computerized ore weight measurement system. Among these advantages can be noted an increase in the accuracy of measurements, a decrease in human intervention and, accordingly, an increase in the level of safety in production, as well as the possibility of prompt acquisition and analysis of data for management decision-making.

In addition, the integration of this system into the management of an iron ore plant can help reduce material losses, optimize the use of



resources and increase the overall efficiency of production. These aspects are important for the enterprise from the point of view of economic efficiency and stability in the market.

Thus, the developed computerized system for measuring the weight of ore in the skip of a mine hoist is a promising and important step in the

direction of improving technological processes in industry and increasing its competitiveness.

Keywords: mine hoist, development, technical equipment, software, automated process control systems, ore transportation, weight measurement, plastic deformation, strength, metallurgy.

Відомості про авторів

Веселовська Наталія Ростиславівна – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Машин та обладнання сільськогосподарського виробництва» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: wnatalia@ukr.net).

Возняк Олександр Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, email: alex.voz1966@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0986-6869>).

Богатюк Максим Олегович – аспірант кафедри «Машин та обладнання сільськогосподарського виробництва» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: bogatyuk1998@gmail.com).

Тихоненко Сергій Володимирович – аспірант кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008, e-mail: galtuh@gmail.com).

Veselovska Nataliia – Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Machines and Equipment of Agricultural Production of Vinnitsa National Agrarian University (3 Soniachna St., Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: wnatalia@ukr.net).

Voznyak Oleksandr – candidate of Science (Engineering), Associate Professor of the Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics of Vinnitsa National Agrarian University (3 Soniachna St., Vinnitsa, 21008, Ukraine, email: alex.voz1966@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0986-6869>).

Bohatiuk Maksym – graduate student of the Department "Machinery and Equipment of Agricultural Production" of Vinnytsia National Agrarian University (3 Sonyachna Street, Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: bogatyuk1998@gmail.com).

Tykhonenko Serhii – graduate student of the Department of "Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics" of the Vinnytsia National Agrarian University (Sonyachna St., 3, Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: galtuh@gmail.com).