

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою АВП
к.т.н., доцент
_____ О.К. Дідик
“ ____ ” _____ 2024 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

**«Удосконалення системи керування процесом
сепарації зерна»**

«Improving grain separation process control system»

Виконав здобувач вищої освіти
II курсу, групи АК-23М-1
спеціальності 174 «Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

_____ А.В. Барбул
« ____ » _____ 2024 р.

Керівник роботи
доц, канд.техн.наук
_____ О.М. Сербул
« ____ » _____ 2024 р.

Рецензент
доц. каф. ЕТС та ЕМ, к.т.н

« ____ » _____ 2024 р.

м. Кропивницький

Зміст

Вступ.....	4
1 Огляд методів і машин сепарації зерна, як об'єктів автоматизації.....	6
1.1 Класифікація і характеристика способів сепарації зерна.....	6
1.2 Характеристика машин і стану автоматизації процесу сепарації зерна	13
2 Обґрунтування вибору елементів проектованої системи.....	20
2.1 Встановлення залежності положення заслонки в сепараторі від вологості зерна.....	20
2.2 Вибір типу датчика.....	26
2.3 Обґрунтування вибору виконавчого органу.....	36
3 Опис обраних рішень автоматизації процесу сепарації зерна.....	47
3.1 Розробка функціональної схеми системи.....	47
3.2 Розробка структурної схеми системи.....	52
3.3 Розробка електричних принципових схем системи автоматичного управління сепарацією.....	53
3.4 Побудова алгоритму роботи системи.....	57
3.5 Розробка схеми з'єднань компонентів.....	59
3.6 Вибір пульта керування.....	61
4 Розрахунки, що підтверджують працездатність виробу.....	63
4.1 Моделювання процесу сепарації зерна.....	63
4.1.1 Визначення зон встановлення датчиків.....	64
4.2 Визначення стійкості системи та показників якості.....	65
4.2.1 Дані для розробки системи.....	65
4.2.2 Будова, принцип регулювання та принцип дії системи.....	66
4.2.3 Функціональна схема системи при дослідженні на стійкість.....	67

4.2.4 Структурна схема системи при дослідженні на стійкість.....	68
4.2.5 Визначення передаточних функцій розімкнутої та замкнутої систем та характеристичного рівняння.....	69
4.2.6 Побудова АФЧ, ЛАЧ та ЛФЧ характеристик розімкнутої системи.....	70
4.2.7 Побудова дійсної частотної характеристики замкнутої системи.....	72
4.2.8 Визначення стійкості замкнутої системи і запасів стійкості.....	73
4.2.9 Оцінка якості регулювання замкнутої системи по ЛАЧХ розімкнутої системи.....	74
4.2.10 Побудова перехідного процесу замкнутої системи.....	77
5 Монтаж, налагодження системи і засобів автоматизації.....	79
5.1 Організація монтажних робіт.....	79
5.1.1 Заходи з монтажу.....	79
5.1.2 Техніка безпеки при здійсненні монтажних робіт.....	80
5.2 Проведення монтажних робіт.....	81
5.2.1 Здійснення монтажу електричних проводок.....	81
5.2.2 Здійснення монтажу пультів.....	83
5.2.3 Здійснення монтажу приладів і засобів автоматизації.....	83
5.3 Проведення налагоджувальних робіт.....	84
Висновок.....	85
Список літератури.....	86
Додатки.....	87

Вступ

На сучасному етапі розвитку сільськогосподарського виробництва в Україні важливим завданням є забезпечення ефективного та безперервного процесу вирощування основних зернових культур. Для цього необхідно використовувати високотехнологічну техніку, здатну виконувати механізовану роботу з автоматичним керуванням, що забезпечує оптимальну обробку та збір урожаю. Одним із найбільш складних і трудомістких етапів у виробництві зерна є післязбиральна обробка, що включає в себе низку процесів, таких як очищення, сушіння та зберігання зерна, які вимагають значних ресурсів та високого рівня технічної оснащеності для досягнення максимального результату та збереження якості продукції.

Для того, щоб довести зерно до відповідних посівних або споживчих кондицій, необхідно провести його очищення від сторонніх домішок, які потрапляють до складу зернового вороху, що утворюється після обмолоту на комбайнах або молотарках. Зерновий ворох є складною багатокomпонентною сумішшю, до складу якої, крім зерна, входять різноманітні сторонні матеріали, такі як солома, пил, інші рослинні залишки та інколи навіть насіння бур'янів. Для забезпечення високої якості зерна та його подальшого використання, ці домішки повинні бути ефективно видалені в процесі післязбиральної обробки.

Попереднє очищення зернових сумішей, як правило, проводиться на токах сільськогосподарських підприємств із використанням високопродуктивних, але великих і важких зерноочисних машин, таких як ЗАВ-40. Ці машини мають високу ефективність у обробці великих обсягів зерна, однак вони також відрізняються значними розмірами, високою металоємністю та значними витратами на експлуатацію, що робить їх економічно доцільними переважно для великих господарств, здатних забезпечити відповідну інфраструктуру для їхнього використання.

Одночасно малий та середній бізнес у сільському господарстві стикається з проблемами через обмежені економічні ресурси та відсутність розвиненої мережі технічного обслуговування. Це призводить до того, що вони не мають доступу до ефективної та мобільної техніки, що суттєво знижує їхню продуктивність і конкурентоспроможність. Відсутність необхідної техніки та сервісної підтримки обмежує можливості для оптимізації виробничих процесів, що в свою чергу негативно впливає на загальну ефективність господарств у малому та середньому секторі.

Дослідження прямоточних машин, призначених для використання в фермерських господарствах, було проведено вченими кафедри сільськогосподарського машинобудування Центральноукраїнського національного технічного університету. Ці наукові розробки спрямовані на покращення ефективності та мобільності техніки для малих і середніх підприємств, що займаються сільським господарством. В результаті досліджень були вивчені технічні характеристики і можливості застосування різних типів машин, що дозволяють підвищити продуктивність та знизити витрати при обробці сільськогосподарських культур на малих площах.

Однак питання, що стосуються контролю якості сепарації та впровадження автоматизованих систем управління, залишаються недостатньо вивченими. Тому залишається актуальною мета розробки автоматизованих систем для керування якістю роботи зерноочисних машин, які могли б ефективно використовуватися в малих агрофірмах та господарствах. Такі системи дозволять не лише покращити точність та ефективність процесу очищення зерна, але й знизити залежність від людського фактору, що підвищить загальну продуктивність та якість сільськогосподарської продукції на малих підприємствах.

1 ОГЛЯД МЕТОДІВ І МАШИН СЕПАРАЦІЇ ЗЕРНА, ЯК ОБ'ЄКТІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Класифікація і характеристика способів сепарації зерна

Сепарація зерна є однією з ключових операцій післяжнивної обробки зерна, що зазвичай виконується на елеваторах. Загальний вигляд типового елеватора представлений на слайді 01.00. Для очищення зерна та підвищення його якості на даний час використовуються різні методи сортування, зокрема: поділ насіння за допомогою повітряного потоку, сортування за розмірами на трієрах та решетах, а також сортування за щільністю та питомою вагою. Крім того, застосовуються методи, які ґрунтуються на електричних властивостях зерна та характеристиках його поверхні. Кожен з цих способів дозволяє досягти високої точності в процесі очищення зерна та видалення сторонніх домішок, що забезпечує його відповідність вимогам для подальшого використання.

Розподіл насіння за допомогою повітряного потоку базується на різниці в аеродинамічних властивостях насіння та домішок, таких як розміри, форма, маса, парусність і стан частинок (табл. 1.1). Основним параметром аеродинамічних властивостей є швидкість, при якій частинка може залишатися в підвішеному стані в потоці повітря. Одним з важливих показників є коефіцієнт парусності, який характеризує здатність частинки чинити опір повітряному потоку. Цей показник є важливим для точності сепарації, оскільки дозволяє ефективно відділяти частинки з різними аеродинамічними характеристиками, покращуючи процес очищення зерна.

Опір, який виникає при русі тіла через повітря, залежить від його форми, маси та інших характеристик, що визначають, як воно буде взаємодіяти з повітряним середовищем. Чим більший опір, тим швидше частинка або тіло впаде, оскільки підвищений опір призводить до зменшення швидкості його підйому в повітряному потоці. Повітряний потік для сепарації створюється в аспіраторах, які використовують всмоктувальні або нагнітальні вентилятори

діаметрального або відцентрового типу. Напрямок повітряного потоку може бути різним: горизонтальним, вертикальним або похилим, що дає змогу ефективно сортувати насіння та домішки залежно від їх аеродинамічних властивостей.

Таблиця 1.1 – Аеродинамічні властивості зерна

Культури	Питома вага	Критична швидкість U_B , м/с	Коефіцієнт опору k	Коефіцієнт парусності k_L	Число Рейнольдса Re
Пшениця	1,22	8,9-11,5	0,184-0,265	0,075-0,12	1810-3020
Жито	1,2	8,36-9,89	0,16-0,22	0,1-0,14	1620-2310
Овес	1,2	0,08-9,11	0,17-0,3	0,12-0,15	1650-2320
Ячмінь	1,3	8,41-10,77	0,19-0,27	0,084-0,138	1830-2520
Горох	1,26	15,5-17,5	0,19-0,23	0,03-0,04	7470-9280
Чечевиця	1,36	8,34-9,75	0,36-0,6	0,1-0,14	1690-2260
Кукурудза	1,24	12,48-14	0,16-0,23	0,05-0,06	5290-6170
Просо	1,06	9,83-11,8	0,04-0,07	0,07-0,1	1280-1710
Соя	1,09	17,2-20,1	0,11-0,15	0,02-0,03	7928-10015
Квасоля	1,22	12,4-1,4	0,15-0,25	0,05-0,06	5904-7158
Конопля	-	7,9-11,1	0,08-0,14	0,07-0,15	1811-2591
Гречка	1,25	7,2-9,5	-	0,132	-
Рис	1	10,1	-	0,1	-
Льон	1,15	5,2	-	0,36	-
Рапсове насіння	1,22	8,2	-	0,14	-
Насіння хлопка	1,06	9,5	-	0,11	-
Кукіль	1,1	6,8-9,8	-	0,1-0,2	-
Берізка	1,11	5,9-8	-	0,15-0,27	-
Овсюк	0,68	5,5-8,3	-	0,14-0,32	-
Гречишка	1,05	3,6-7,9	-	0,16-0,76	-
Пирій	0,8	4,8-7,2	-	0,19-0,43	-
Волошки	0,6	4,2-5,9	-	0,28-0,55	-

У горизонтальному або похилому повітряному потоці (рис. 1.1, а) зерновий ворох, що виходить із бункера, підхоплюється потоком повітря і розділяється на фракції. Важка фракція, що має більшу масу, переміщується в окреме відділення (відділення важкої фракції 2), тоді як легші домішки, завдяки меншому опору, потрапляють у відділення легкої фракції 1. Цей

процес дозволяє ефективно розділяти зерно та домішки за їх вагою та аеродинамічними властивостями, покращуючи якість очищення та сепарації.

У вертикальному повітряному потоці (рис. 1.1, б, в) легкі домішки, що потрапляють на решето 2, підхоплюються (рис. 1.1, в) або засмоктуються (рис. 1.1, б) повітряним потоком і виносяться в камеру осаджування. Тим часом зерно, завдяки своїй більшій масі, продовжує рухатися по поверхні решета. Розподіл вороху відбувається, коли критичні швидкості, при яких домішки та зерно перебувають у зваженому стані, відрізняються. Це дозволяє ефективно розділяти компоненти вороху на основі їх аеродинамічних властивостей, що покращує процес очищення зерна від сторонніх домішок.

Розмірами та розподіл насіння на решетах. Об'ємне тіло зазвичай має три розміри: товщину, ширину і довжину (рис. 1.2, а).

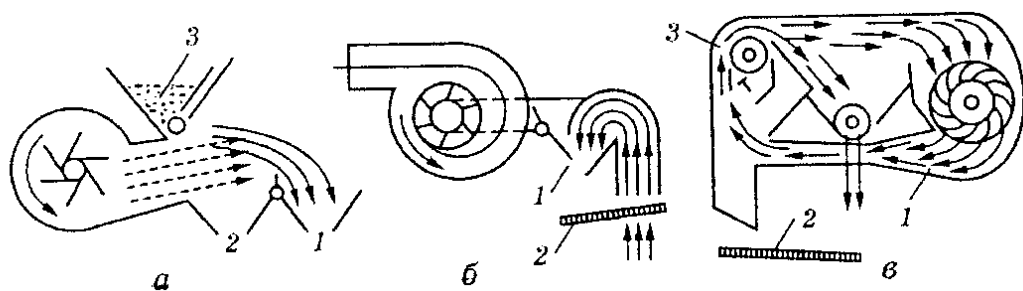


Рисунок 1.1 - Розподіл насіння повітряним потоком за аеродинамічними властивостями:

б) – аспіратор з відцентровим вентилятором:

1 – відокремлення легких домішок; 2 – решето;

а) – напірний похилий потік:

1 – відділення легкої фракції; 2 – відділення важкої фракції (зерна); 3 – ворох;

в) – аспіратор з діаметральним вентилятором:

1 – повітряний потік; 2 – решето; 3 – легкі домішки.

Потік зерна за шириною і товщиною розділяється за допомогою плоских та циліндричних решет. Плоскі решета можуть мати отвори різних форм, зокрема круглі (рис. 1.2, в), прямокутні (рис. 1.2, б) або трикутні (рис. 1.2, г). В залежності від конструкції, решета можуть бути сітчастими – плетеними (рис. 1.2, д), з отворами, пробитими в металевому листі, або тканими (рис. 1.2, е). Кожен тип

решета має свої переваги в залежності від типу оброблюваного матеріалу та специфікацій процесу очищення, що дозволяє забезпечити більш точне сортування зерна і домішок.

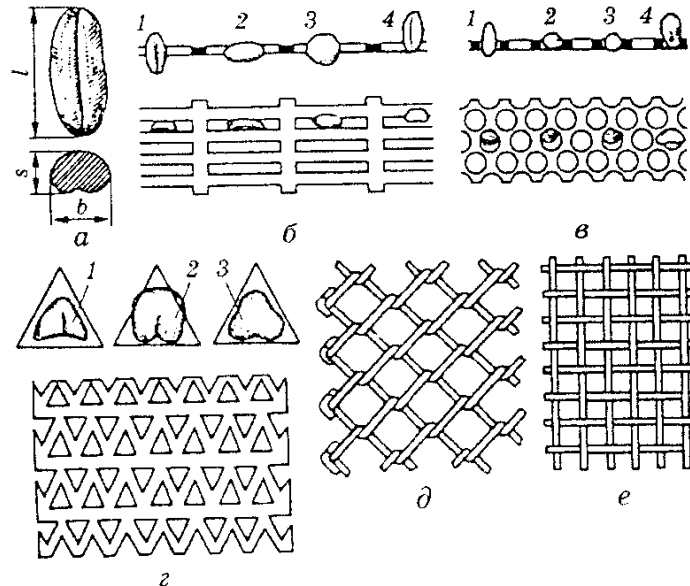


Рисунок 1.2 - Розподіл насіння на решетах за поперечним перерізом:
 а) основні розміри зернини; б) і в) розподіл зерна за шириною і товщиною на решетах з круглими і прямокутними отворами:
 1,2,3 – зернина проходить крізь отвір; 4 – зернина не проходить крізь отвір;
 г) розподіл зерна на решетах з трикутними і круглими отворами:
 1 і 3 – зернина проходить крізь отвір; 2 – зернина не проходить крізь отвір;
 д) плетені решета; е) ткані решета.

Розподіл насіння за довжиною здійснюється за допомогою трієрних циліндрів (рис. 1.3, а), поверхня яких оснащена карманоподібними комірками (рис. 1.3, б). Ці комірки виготовляються фрезеруванням або штампуванням і мають діаметри, що більші або менші за довжину насіння, що дозволяє ефективно сортувати матеріал. Для цих циліндрів передбачено 22 різних розміри комірок, діаметри яких варіюються від 1,6 до 12,5 мм. Така різноманітність дозволяє здійснювати очищення насіння зернових культур, льону, зернобобових, трав, а також калібрування кукурудзи, що забезпечує високу точність у процесі сортування.

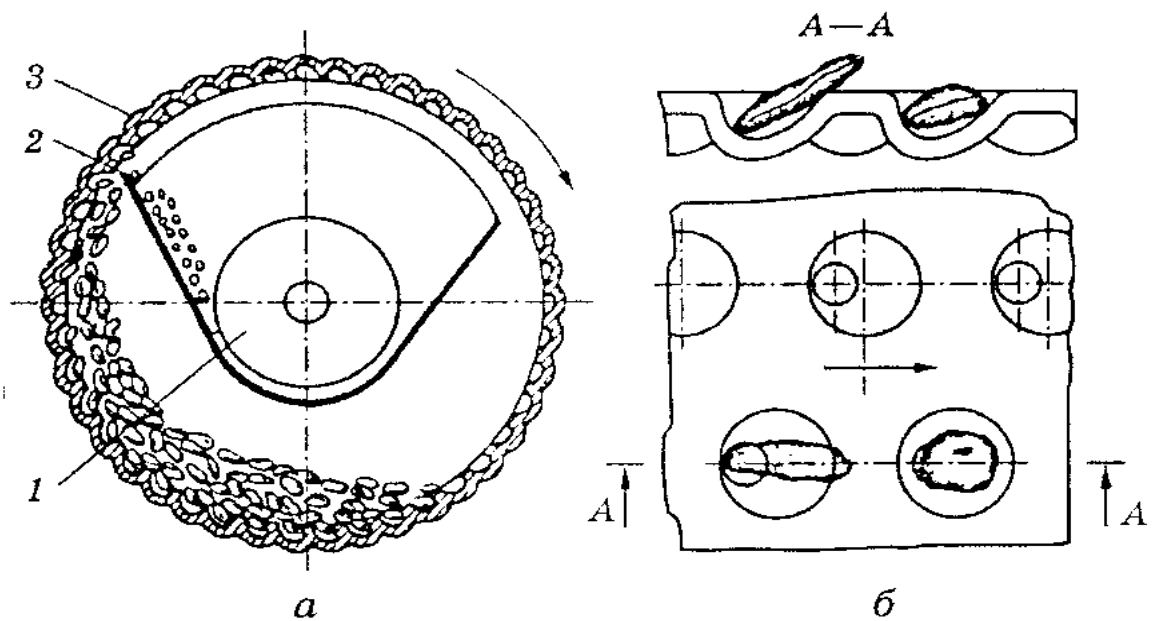


Рисунок 1.3. - Розподіл насіння на трієрах за довжиною:

а) схема трієра:

1 – шнек; 3 – трієрний циліндр; 2 – лотік;

б) розгортка трієрного циліндра.

Трієрні циліндри поділяються на вівсюжні та кукільні, і вони працюють у парі для досягнення більш ефективного очищення. Кукільний циліндр використовується для відділення дрібніших домішок, оскільки діаметр його комірок менший за довжину основного зерна. Вівсюжний циліндр, в свою чергу, відділяє довгі домішки, оскільки діаметр його комірок більший за довжину зерна. Ця комбінація циліндрів дозволяє точно розділяти насіння та домішки, забезпечуючи ефективне сортування в залежності від розмірів часток.

Розподіл насіння за питомою вагою і щільністю використовують для отримання насіння високої якості. Цей процес може бути здійснений як мокрим, так і сухим способами. Сухий спосіб реалізується за допомогою пневматичного сортувального столу та голчастого барабана, які ефективно розділяють насіння за щільністю та вагою. Мокрий метод передбачає використання води або розчинів з різною концентрацією, що дозволяє ще точніше відокремлювати насіння від домішок, оскільки різні частки мають різну здатність до осадження у рідкому середовищі. Ці методи дозволяють покращити якість насіння, забезпечуючи його відповідність стандартам для подальшого використання.

Голчастий барабан (рис. 1.4, а) використовується для виділення з насіння пошкоджених зерен, які мають меншу щільність. На внутрішній поверхні барабана 2 у шаховому порядку закріплені голки. Під час обертання барабана ці голки наколюють пошкоджені зерна, піднімаючи їх. Зверху над барабаном розташована металева щітка 1, яка зчищає зерна з голок і скидає їх у лоток. Звідти за допомогою шнека зерна виводяться назовні. Цей процес дозволяє ефективно відокремлювати пошкоджене зерно від здорових часток, покращуючи загальну якість обробленого насіння.

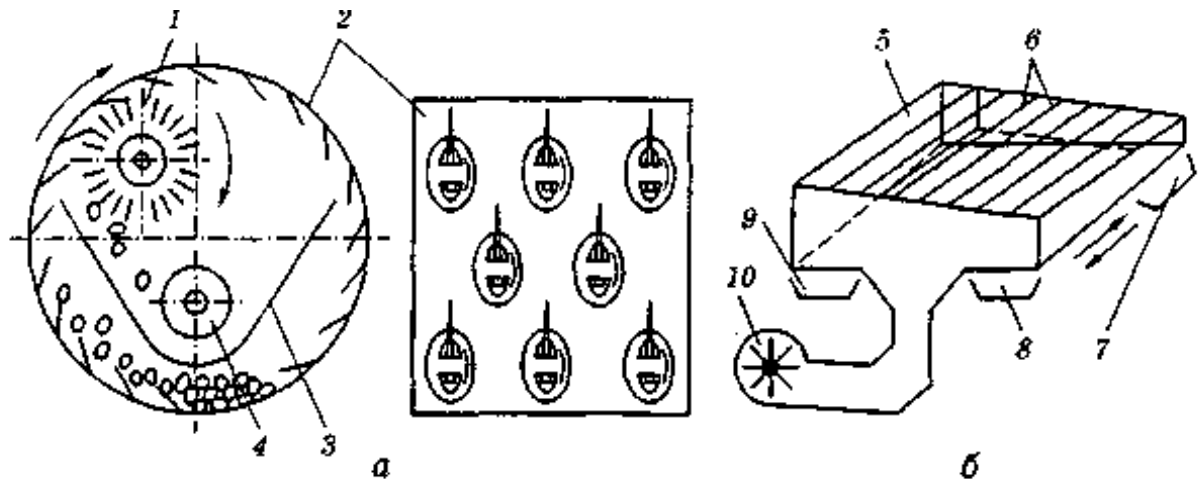


Рисунок 1.4 - Розподіл насіння за щільністю і питомою вагою:

а) голчастий барабан;

б) пневматичний сортувальний стіл;

1 – щітка; 2 – барабан; 3 – лоток; 4 – шнек; 5 – дека; 6 – рифи деки; 7, 8 і 9 – лотки для насіння легкої, середньої і великої питомої ваги; 10 – вентилятор.

Сортувальний стіл 5 (рис. 1.4, б) використовується для відокремлення насіння з найкращою зрілістю, ґрунтуючись на стані його поверхні, розташуванні часток та коливаннях сітчастої деки, а також на повітряному потоці, що створюється вентилятором 10 і спрямовується під неї. Коли матеріал потрапляє на деку, він продувається потоком повітря і знаходиться на ній у зваженому стані. В результаті цього процесу відбувається вертикальне розшарування матеріалу: важчі частки залишаються на сітчастій поверхні деки, а легші піднімаються вище. Зворотно-коливальний рух похилої сітчастої деки сприяє рівномірному розподілу матеріалу по поверхні столу, в результаті чого частки виходять з нього згідно з їх фракцією. Цей процес дозволяє досягти високої точності сортування за зрілістю та розмірами насіння.

Здатність розподілу матеріалу характеризується такими показниками, як коефіцієнти тертя кочення та тертя ковзання. Оскільки коефіцієнт тертя кочення є меншим, ніж коефіцієнт тертя ковзання, розподіл за допомогою тертя кочення є більш ефективним у випадках, коли важлива форма часток, а не їхній стан. Натомість, коли розподіл здійснюється на основі тертя ковзання, ефективність розподілу залежить більше від стану часток, ніж від їхньої форми. Ці два типи тертя мають суттєвий вплив на точність і ефективність сортування матеріалів в різних умовах.

Для розподілу зерна використовують різноманітні фрикційні сепаратори (рис. 1.5), серед яких є одно- та багатоярусні гірки з поздовжнім рухом конвеєра (рис. 1.5, а, б), лопатеві та гвинтові сепаратори (рис. 1.5, г, ж), а також пристрої з поперечним рухом (рис. 1.5, в). До того ж, застосовуються фрикційні трієри, магнітні та електромагнітні барабани (рис. 1.5, д, е, є). Кожен тип сепаратора має свої особливості та переваги, що дозволяють ефективно розділяти зерно від домішок, покращуючи якість обробки та сортування насіння різних культур.

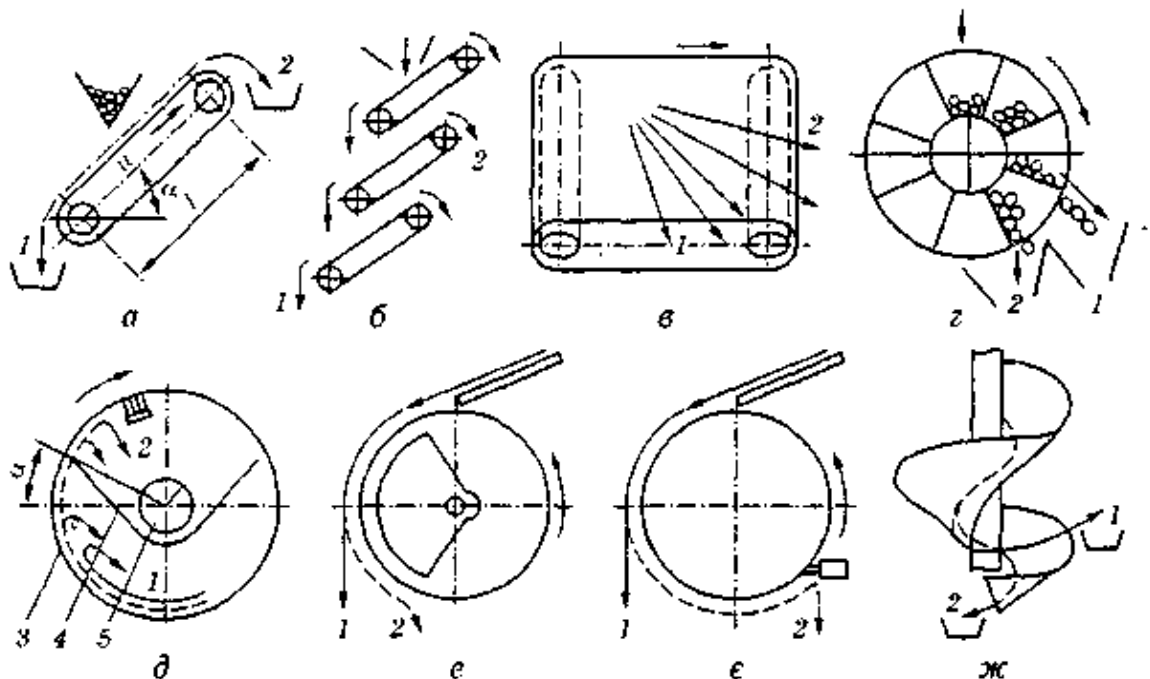


Рисунок 1.5 - Розподіл зерна за властивостями його поверхні та форми:
 а) похилий поздовжній конвеєр (гірка); з) лопатевий барабан; б), ярусні гірки; в) похилий поперечний конвеєр; д) фрикційний трієр; е) електромагнітний барабан;
 є) електричний барабан; ж) гвинтовий сепаратор (змійка):
 1 – кругле гладеньке зерно; 2 – плоске шорстке зерно; 3 – фрикційний циліндр; 4 – лотік; 5 – шнек.

Розподіл насіння за електричними властивостями (рис. 1.6) базується на різниці діелектричної проникності, електропровідності та інших електричних характеристиках часток. Для цього використовують електростатичний, діелектричний та коронний методи сортування. Застосування цих методів дозволяє ефективно виділяти домішки, дефектне та проросле насіння, а також кукіль, вівсюг та інші бур'яни. Такий підхід дозволяє досягти високої точності в процесі очищення та сортування насіння, зокрема для культур, що потребують ретельного відбору.

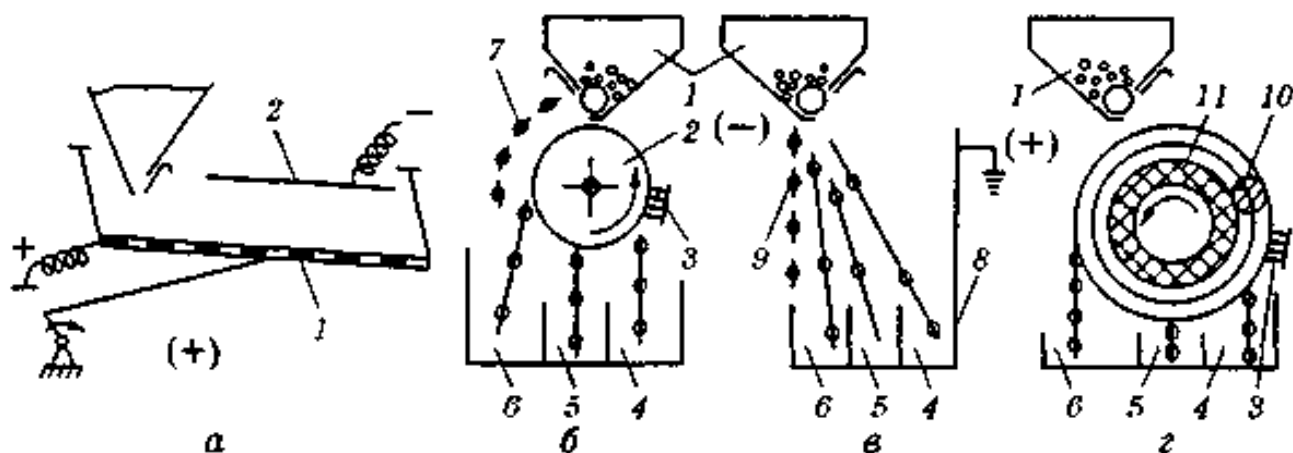


Рисунок 1.6 - Розподіл насіння за електричними властивостями:

а – решітна:

1 – решето; 2 – металевий щит;

б, в і г – в електростатичному полі, в полі коронного розряду і за діелектричною проникністю:

1 – бункер; 3 – щітка; 2 – барабан; 4, 5 і 6 – лотки; 7 – негативно заряджений електрод;

9 – перфорований електрод; 5 – коронувальний електрод; 10 – біфілярна обмотка; 11 – ізолятор.

1.2 Характеристика машин і стану автоматизації процесу сепарації зерна

Пневматична зерноочисна колонка ОПС-2 використовується для очищення зернобобових, зернових, круп'яних та інших культур від домішок, ґрунтуючись на їхніх аеродинамічних властивостях. Цей агрегат має продуктивність від 2 до 4 тонн на годину, вагою 266 кг, а потужність приводу становить 4,5 кВт. Зерноочисна колонка ОПС-2 забезпечує ефективне відокремлення домішок завдяки оптимальному використанню повітряних потоків для сортування матеріалу за його аеродинамічними характеристиками.

Будова. Колонка ОПС-2 складається з робочого повітряного каналу з перерізом 325×325 мм, відцентрованого вентилятора, осаджувальної камери, рами на чотирьох роликах і приймального бункера. Продуктивність цього обладнання визначається подачею матеріалу на сітку, яка, у свою чергу, залежить від розміру відкриття вхідного вікна, що регулюється заслінкою 2. Якість очищення зерна залежить від швидкості повітряного потоку в каналі (від 3 до 16 м/с), що контролюється зміною величини відкриття вікна кожуха вентилятора, яке регулюється за допомогою заслінки. Точність налаштувань дозволяє досягти оптимальних умов для ефективного відокремлення домішок і забезпечує високу якість очищеного насіння.

Повітряно-решітна машина ОВС-25 призначена для первинного очищення зернового вороху від домішок у колосових, зернобобових, круп'яних культурах, а також у кукурудзи та сорго. Очисник використовується для навантаження та перелопачування зерна, забезпечуючи ефективне очищення на початкових етапах обробки. Продуктивність агрегату складає 25 т/год при попередньому очищенні та 12 т/год при первинному очищенні. Робоча швидкість становить 9,5 м/год, а транспортна — 221 м/год. Ширина захвату живильника — 4,5 м. Маса машини — 2000 кг, а встановлена потужність — 9,5 кВт. Ці характеристики забезпечують високу ефективність і продуктивність машини, що робить її важливим елементом у процесі очищення зерна на різних етапах.

Основними робочими органами повітряно-решітної машини ОВС-25 є скребковий живильник, вивантажувальний конвеєр для очищеного зерна, завантажувальний шнек, приймальна камера, а також шнек для фуражних відходів. Машина оснащена електрообладнанням, яке забезпечує можливість роботи як в автоматичному, так і в ручному режимах, що дозволяє налаштовувати її роботу відповідно до конкретних потреб користувача та умов виробництва. Така конфігурація органів управління і механізмів забезпечує високий рівень ефективності та гнучкості в роботі з різними культурами та об'ємами обробки.

Технологічні регулювання

1. Якість очищення та оптимальна продуктивність машини значною мірою залежать від подачі вороху на решета. Ці параметри визначаються швидкістю руху вороху (в межах 10...240 м/с) та періодичністю зупинок обладнання. Правильне налаштування цих параметрів дозволяє досягти ефективного очищення зерна, забезпечуючи високу продуктивність та збереження якості оброблюваного матеріалу.

2. Рівномірність завантаження решіт залежить від налаштування подільника приймальної камери, чия позиція регулюється за допомогою повороту спеціального важеля. Це дозволяє оптимізувати процес подачі матеріалу на решета, забезпечуючи рівномірний розподіл зерна для ефективного очищення та покращення якості обробки.

3. Якість роботи повітряного очищення безпосередньо залежить від швидкості повітряного потоку у вертикальних каналах, яка може варіюватися в межах від 0 до 14 м/с. Ця швидкість регулюється заслінкою перехідника, що дозволяє точно налаштувати інтенсивність повітряного потоку для досягнення оптимальних умов очищення зерна.

4. Ефективність роботи решіт безпосередньо залежить від забруднення отворів, що виникає в процесі очищення. Це засмічення зазвичай усувають шляхом регулювання положення щіток очищувального пристрою, яке здійснюється поворотом колінчастого вала, з подальшою фіксацією за допомогою регулятора. Така настройка дозволяє підтримувати оптимальну прохідність решіт, покращуючи загальну ефективність процесу очищення.

Повітряно-решітно-трієрна машина СМ-4А призначена для очищення та сортування насіння зернових, технічних культур, зернобобових та трав з засміченістю до 10% і вологістю до 15%. Вона використовується для попереднього очищення з метою отримання продовольчого насіння та зерна. Машина має пересувну конструкцію, ширина захвату становить 3,35 м, а її маса складає 2000 кг. Загальна встановлена потужність машини – 5,2 кВт. Продуктивність обладнання: для насіннєвого матеріалу – 4 т/год, для продовольчого зерна – 6 т/год. Це дозволяє

ефективно здійснювати обробку зерна на різних етапах, забезпечуючи високу якість очищення та сортування.

Будова. Основними робочими органами машини є завантажувальний конвеєр, решітний стан із механізмом для очищення решіт, повітроочисна система, двопотоковий вивантажувальний елеватор, а також два трієрних циліндри. Ці компоненти взаємодіють між собою, забезпечуючи ефективне завантаження, очищення та сортування зерна, а також його вивантаження без затримок і з максимальною продуктивністю.

Технологічні регулювання. 1. Оптимальна продуктивність машини безпосередньо залежить від подачі зернового матеріалу, яка регулюється шляхом зміни притискання клапана живильного пристрою. Це налаштування здійснюється фіксацією і поворотом регульовального важеля, що дозволяє точно контролювати подачу зерна та забезпечити ефективну роботу машини з різними об'ємами матеріалу.

2. Якість очищення за допомогою повітряної системи значною мірою залежить від швидкості повітряного потоку в каналах, яка може варіюватися в межах 2–10 м/с. Для коригування цієї швидкості використовуються регульовальні заслінки першої та другої аспірації, а також зміна частоти обертання роторів вентиляторів. Ці налаштування дозволяють точно регулювати інтенсивність повітряного потоку, забезпечуючи ефективне очищення зерна від домішок.

3. Якість решітного очищення безпосередньо залежить від правильного підбору решіт. Для цього використовують лабораторні решета з прямокутними отворами діаметром від 1,5 до 3,6 мм та круглими отворами діаметром від 1,5 до 4,0 мм. Вибір конкретного типу решет залежить від характеристик зерна та домішок, що дозволяє забезпечити ефективне сортування та очищення матеріалу.

Трієрний блок БТ-5 призначений для очищення насіння зернобобових, зернових, круп'яних та олійних культур від довгих і коротких домішок після вторинної обробки. Він ефективно сортує та очищає зерно, забезпечуючи високу якість обробки. Продуктивність трієрного блоку по пшеничному зерну з

вологістю до 16% складає 5 т/год, що дозволяє здійснювати обробку значних обсягів сировини з високою ефективністю.

Будова. Блок БТ-5 складається з переднього та заднього розподільників, двох вівсюжних і двох кукільних циліндрів діаметром 600 мм і довжиною 1500 мм, які обертаються з частотою 30–45 об/хв. До складу блоку входить також рама, що забезпечує стабільність та надійність роботи, а також електродвигун потужністю 1,5 кВт для живлення всіх механізмів. Ця конструкція дозволяє ефективно очищати насіння від домішок, забезпечуючи високу продуктивність та надійність в експлуатації.

Технологічні налаштування блоку БТ-5 подібні до регулювань, застосовуваних для трієрного очисника насіннеочисної машини СМ-4А. Для оптимізації роботи можна змінювати частоту обертання циліндрів (30–34 об/хв.), налаштовувати положення лотка в циліндрах, регулювати подачу матеріалу, а також замінювати циліндри на інші з різними розмірами комірок, що дозволяє адаптувати машину до обробки різних видів насіння та домішок.

Пневматичний сортувальний стіл ПСС-25В призначений для сортування насіння за ключовими характеристиками, такими як розміри, аеродинамічні властивості, щільність і форма. Очищений матеріал повинен проходити попередню обробку на трієрних машинах або решітних механізмах. Продуктивність цього обладнання становить 2,5 т/год при сортуванні пшениці та 0,5 т/год для трав. Потужність агрегату складає 6,6 кВт, а його маса — 740 кг.

Будова. Основними робочими елементами пневматичного сортувального столу є вентилятор і дека. До складу машини також входять рама, механізм приводу деки, система регулювання кутів її нахилу, повітряна камера, витяжний зонд, приймач фракцій та вхідний фільтр. Ці компоненти працюють в комплексі для забезпечення ефективного сортування насіння за визначеними характеристиками.

Технологічні регулювання. 1. Подачу зерна на деку регулюють за допомогою шибера в завантажувальному лотку при вимкнених приводі деки та

вентиляторі. Це дозволяє змінювати товщину шару зерна на поверхні деки безпосередньо під завантажувальним вікном, що забезпечує рівномірне розподілення матеріалу для подальшого очищення та сортування.

2. Повздовжній та поперечний кути нахилу деки (в межах $0...8^\circ$) регулюються за допомогою гвинтових механізмів, що дозволяє змінювати її положення відносно рами та забезпечувати оптимальні умови для ефективного сортування і очищення зерна.

3. Амплітуду коливань деки регулюють за допомогою переміщення противаг у механізмі приводу деки, що дозволяє точно налаштувати інтенсивність руху для ефективного сортування та очищення зерна.

4. Частота коливань деки визначається швидкістю обертання ексцентрикового вала приводу, що регулюється за допомогою варіатора механізму піднімання електричного двигуна. Це дозволяє точно налаштувати коливання для оптимальної роботи при сортуванні та очищенні матеріалу.

5. Швидкість повітряного потоку налаштовують за допомогою заслінок на виході вентилятора, забезпечуючи, щоб очищений матеріал перебував у псевдокиплячому стані. Це дозволяє досягти рівномірного розподілу матеріалу та ефективного виділення домішок завдяки оптимальному впливу повітряного потоку.

У всіх згаданих зерноочисних машинах відсутня автоматизація, а контроль за якістю сепарації здійснюється вручну, через візуальний моніторинг робітником, при цьому регулювання технологічного процесу також є ручним. У цій бакалаврській роботі як об'єкт управління розглядається зерноочисний сепаратор ИСМ-100, який є сучасним агрегатом, широко представленим на ринку, але з тими ж обмеженнями, що й у попередніх машинах. Технологічна схема сепаратора ИСМ-100 представлена на слайді 02.00.

Спрощену схему сепаратора показано на рис. 1.7. Цю машину доцільно використовувати в малих господарствах завдяки її ефективності та економічності. Однак, як і в інших моделях, автоматизація на цьому сепараторі відсутня. Ступінь

очищення повітрям регулюється вручну за допомогою заслінок, а кількість домішок, які виносяться повітряним потоком до приймальних контейнерів легких домішок, контролюється візуально через спеціальні оглядові вікна.

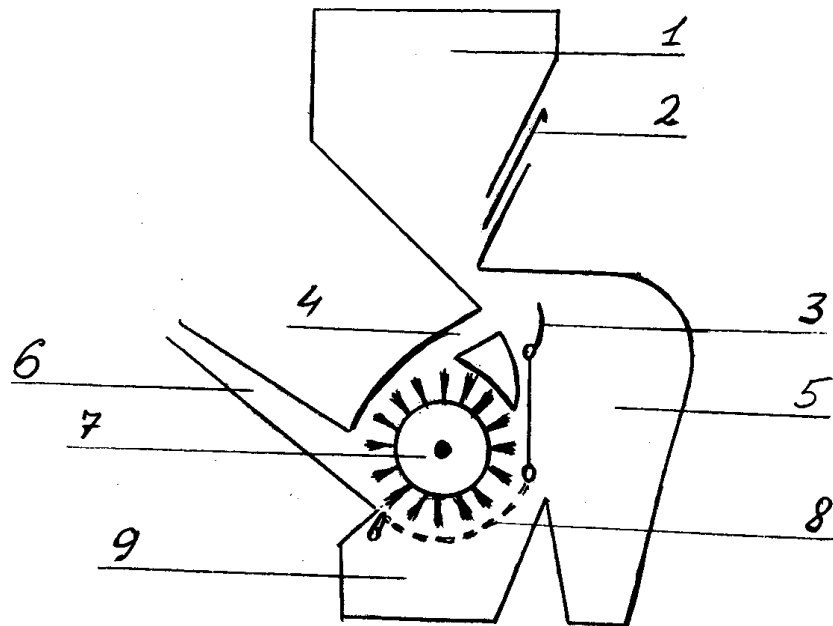


Рисунок 1.7 - Схема інерційного прямооточного сепаратора:

1 – бункер; 2 – заслінка подачі зернового вороху з бункера; 3 – заслінка якості видалення легких домішок; 4 – повітряний канал; 5 – Приймальник легких домішок; 6 – приймальник очищеного зерна; 7 – лопатево-щітчастий барабан; 8 – пруткове решето; 9 – приймальник важких домішок.

Отже, основною метою магістерської роботи є розробка простих автоматизованих систем для контролю та управління регулюючими елементами, що забезпечать оптимізацію подачі зернового вороху, регулювання інтенсивності впливу повітряного потоку на зерновий потік, а також управління процесом виділення дрібних фракцій зерна та інших домішок з вороху.

2 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЕЛЕМЕНТІВ ПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ

2.1 Встановлення залежності положення заслонки в сепараторі від вологості зерна

В ході переддипломної практики були отримані дані експериментальних досліджень, в яких визначалась вологість зерна, розмір зернин і встановлювалось певне положення заслінки сепаратора. В процесі роботи агрегату експериментальні дані заносили у таблицю. Залежність вологості зерна від положення заслонки в сепараторі в ув'язці із залежністю розмірів зернин від вологості зерна представлена у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Залежність положення заслонки в сепараторі від вологості зерна в ув'язці із залежністю розмірів зернин від вологості зерна

Положення, град	Розмір зернин, мм						
	12	11	10	9	8	7	6
10	22	21	19	17	17	16	16
12	21	20	18	17	16	16	15
14	20	19	17	16	16	15	15
16	19	18	17	16	15	15	14
18	18	17	16	15	15	14	14
20	17	16	15	15	14	14	13
22	16	15	14	14	14	13	13
24	15	14	14	14	13	13	12
26	14	13	13	13	13	12	12
28	13	13	13	13	12	12	12
30	12	12	12	12	12	12	12

Залежність вологості зерна від положення заслонки в сепараторі зерна може бути корисною для кількох цілей, які допомагають покращити процес сортування та обробки зерна. Ось кілька можливих застосувань цієї залежності:

1. Оптимізація сортування за допомогою вологості:

- Корекція процесу сортування: Зерно з різною вологістю може мати різні фізичні властивості. Наприклад, більш вологе зерно може бути важчим або менш рухомим, що може вплинути на його проходження через сепаратор.

Якщо система автоматично регулює заслонки залежно від вологості, можна забезпечити більш точне сортування зерна за розміром або вагою, не залежно від рівня його вологості.

- Покращення рівномірності сортування: У разі зміни вологості зерна в процесі обробки (наприклад, у результаті зберігання зерна при різних температурах чи вологості), можна налаштувати заслонки таким чином, щоб забезпечити більш рівномірне сортування незалежно від цих змін.

2. Запобігання забрудненню або пошкодженню зерна:

- Виявлення і відокремлення вологого зерна: Зерно з високим рівнем вологості може мати більший шанс псуватися або утворювати цвіль під час зберігання. Якщо система визначає, що зерно має надмірну вологість, заслонки можуть регулюватися таким чином, щоб відокремити його від іншої частини потоку, що дозволяє окремо обробляти або сушити вологі частини зерна.

- Сегментація потоків зерна: Залежно від вологості, можна розподіляти зерно в окремі потоки для подальшої обробки. Зерно з високою вологістю може бути перенаправлено в сушильні секції або на окремі лінії обробки для уникнення змішування з іншими зернами.

3. Покращення ефективності сушіння:

- Автоматичне налаштування для оптимальної вологості: Якщо в процесі сортування визначається, що зерно має надмірну вологість, система може автоматично регулювати заслонки для того, щоб зерно потрапляло на додаткові етапи обробки, наприклад, у сушильну камеру. Це дозволить покращити ефективність процесу сушіння і уникнути перенавантаження сушарки.

- Контроль вологості на етапах обробки: Рівень вологості зерна може змінюватися на різних етапах обробки. Якщо відомо, як зміщення положення заслонки впливає на вологість зерна, це може допомогти передбачити, коли зерно потребує додаткової сушіння або іншої обробки.

4. Моніторинг та прогнозування якості зерна:

- Раннє виявлення проблем з якістю: Залежність між вологою та положенням заслонки дозволяє своєчасно виявити зерно з проблемами, наприклад, підвищеною вологістю, і коригувати процес обробки для покращення загальної якості зерна.

- Прогнозування витрат енергії на сушіння: Визначення рівня вологості на різних етапах обробки допомагає прогнозувати потреби в енергії для подальшої обробки зерна, що може знижувати витрати на сушіння та інші операції.

5. Адаптація до умов навколишнього середовища:

- Адаптація до змінних погодних умов: Якщо зерно надходить в сепаратор в різні сезони, рівень вологості зерна може варіюватися в залежності від зовнішніх погодних умов (наприклад, після дощу чи в період високої вологості). Система, яка використовує цю залежність для регулювання заслонок, може забезпечити адаптацію до таких змін, зберігаючи ефективність роботи сепаратора.

Таким чином, залежність між вологою зерна та положенням заслонки допомагає підвищити точність сортування, зменшити ризик пошкодження зерна, покращити ефективність обробки та скоротити витрати на подальші етапи, такі як сушіння чи зберігання.

Залежність вологості зерна від положення заслонки в сепараторі для різних розмірів зернин наведена на рис. 2.1.

Залежність розмірів зернин від вологості зерна в сепараторі зерна може бути використана для кількох важливих цілей, що дозволяють підвищити ефективність сортування, покращити якість зерна та оптимізувати технологічні процеси. Ось основні можливі застосування цієї залежності:

1. Оптимізація сортування зерна

- Корекція для різних вологостей: Зерно з різним рівнем вологості може мати різні фізичні властивості, включаючи розмір. Вологе зерно зазвичай розширюється, а сухе — стискається. Це означає, що на одному етапі обробки зерно з високою вологістю може бути більшим за розміром порівняно з сухим зерном. Якщо система сепаратора враховує ці зміни, вона може

адаптувати положення заслонок або інших елементів для точнішого сортування за розмірами, враховуючи вологість.

- Точне сортування за розміром: Встановлення оптимальних параметрів для кожного розміру зерна дозволяє більш точно відокремлювати зерна різного розміру та якості. Наприклад, вологе зерно може здаватися більшим, ніж воно є насправді після висихання, тому використання цієї залежності допоможе уникнути помилок у сортуванні.

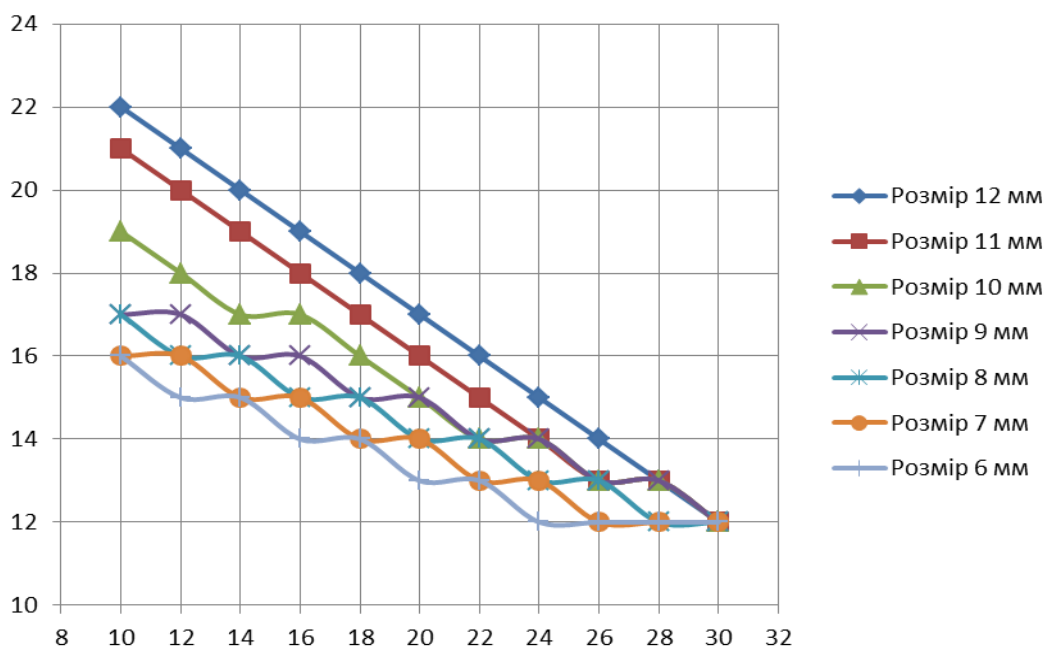


Рисунок 2.1 – Залежність вологості зерна від положення заслінки в сепараторі для різних розмірів зернин

2. Попередження забруднення та пошкодження зерна

- Виявлення пошкоджених зерен: Вологе зерно може бути більш сприйнятливим до пошкоджень під час обробки. Якщо сепаратор враховує зміну розміру зерна в залежності від вологості, він може автоматично відокремити зерна з підвищеною вологістю або пошкоджені частки від здорового зерна.

- Захист від механічних пошкоджень: Вологе зерно може бути більш м'яким або крихким, і неправильно налаштоване обладнання може призвести до його пошкодження. Якщо система знає, як вологість впливає на розмір зерна, вона може коригувати параметри роботи сепаратора для мінімізації механічного впливу на такі зерна.

3. Оптимізація процесу сушіння

- Адаптація до рівня вологості: Якщо зерно має різну вологість, його розмір може бути змінений внаслідок висихання або вбирання вологи. Система сепаратора, яка враховує залежність між розмірами зерна і вологістю, може краще адаптувати процес сушіння: наприклад, вологі зерна можуть потребувати додаткового сушіння перед сортуванням або відокремленням.

- Розподіл зерна на етапах обробки: Зерна з різним рівнем вологості можуть по-різному реагувати на процеси в сепараторі. Використання цієї залежності дозволяє розподілити зерно на групи, що полегшує визначення, яке зерно потрібно сушити більше, а яке — можна одразу відсортувати.

4. Управління якістю зерна

- Визначення оптимальних умов для обробки: Розуміння, як вологість впливає на розміри зерна, дозволяє системі автоматично коригувати процес обробки в реальному часі, забезпечуючи вищу якість сортування. Якщо зерно з певною вологістю має інший розмір, ніж при нормальній вологості, система може оптимізувати роботу сепаратора для досягнення кращих результатів.

- Зменшення втрат: У разі неправильного налаштування сепаратора, зерно може бути неправильно відсортоване або викинуте як відходи через зміну розміру в залежності від вологості. Врахування цієї залежності зменшує ймовірність таких втрат і покращує вихід якісного зерна.

5. Прогнозування та контролювання технологічних процесів

- Моніторинг вологості і розміру зерна: Встановлення залежності між вологою та розмірами зерен дозволяє проводити точний моніторинг стану зерна в різних етапах обробки. Це дозволяє заздалегідь прогнозувати, як зерно буде поводитися на наступних етапах і коригувати роботу обладнання.

- Збереження рівноваги в процесі обробки: Якщо вологість змінюється, розмір зерна також може змінюватися, тому важливо підтримувати постійний контроль за цими показниками. Регулювання

сепаратора з урахуванням цього дозволяє уникати нерівномірного оброблення зерна та забезпечити стабільність технологічного процесу.

6. Поліпшення екологічних і економічних аспектів обробки

- Зменшення енергетичних витрат: Якщо зерно, яке проходить через сепаратор, правильно сортується з урахуванням вологості і розміру, зменшуються витрати на сушіння та інші етапи обробки. Це дозволяє значно знизити енергетичні витрати та зменшити навантаження на обладнання.

- Зменшення відходів: Під час обробки зерна з різним рівнем вологості та розміру система може ефективніше розподіляти зерно, знижуючи кількість відходів, що є важливим економічним фактором.

Висновок: Залежність між розмірами зернин і вологістю зерна в сепараторі може використовуватися для покращення якості сортування, зменшення пошкоджень зерна, покращення ефективності сушіння та зниження витрат на етапах обробки. Вона дозволяє автоматично коригувати параметри сепарації, що веде до більш точної обробки зерна і зменшення втрат продукції. Залежність розмірів зернин від вологості зерна в сепараторі зерна наведена на рис. 2.2.

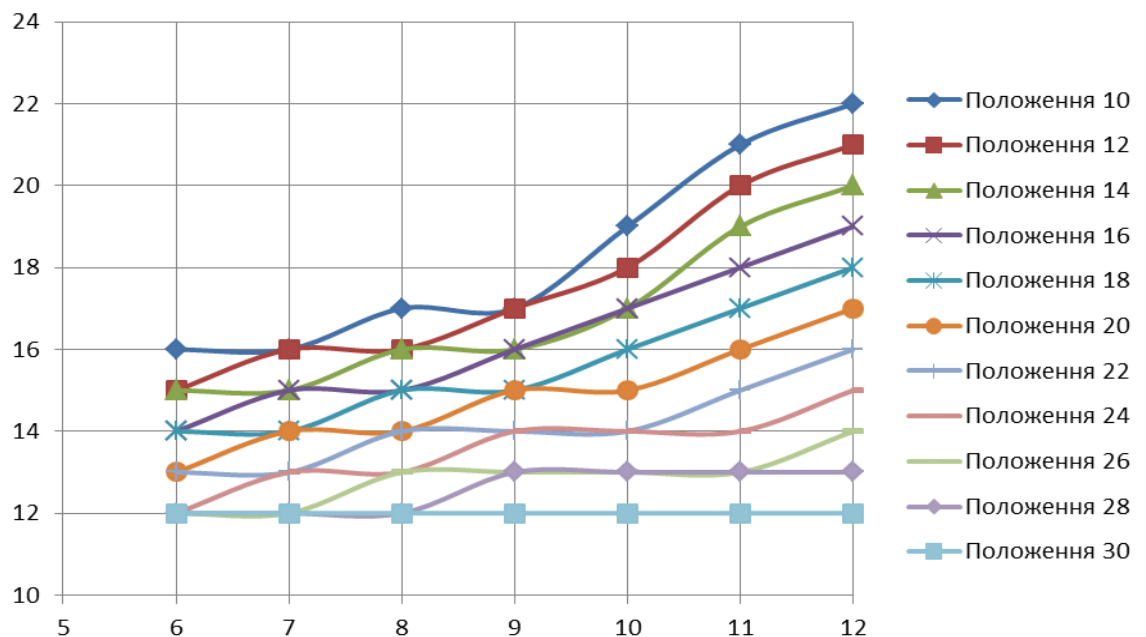


Рисунок 2.2 – Залежність розмірів зернин від вологості зерна в сепараторі при різних положеннях заслінки.

2.2 Вибір типу датчика

Вимірювальні перетворювачі сил і вібрацій класифікуються за принципом їх роботи на генераторні та параметричні. До генераторних перетворювачів відносяться п'єзоелектричні, індукційні, фотоелектричні та інші типи, які здійснюють пряме перетворення механічної енергії (в даному випадку сил чи вібрацій) в електричний сигнал. Параметричні вимірювальні перетворювачі змінюють свої електричні параметри, такі як опір, ємність або частота, під впливом механічних величин. Їхня особливість полягає в необхідності зовнішнього живлення для функціонування. До параметричних перетворювачів належать резистивні, реостатні, тензорезистивні, індуктивні та інші типи. Серед усіх видів вимірювальних перетворювачів найбільш поширеними є п'єзоелектричні, тензорезистивні, електромагнітні та ємнісні. Тепер розглянемо деякі з них детальніше.

Ємнісний перетворювач.

Ємнісний перетворювач являє собою конденсатор, електричні характеристики якого змінюються під впливом вхідної величини. Конденсатор складається з двох електродів, до яких підключаються вивідні дроти. Простір між електродами заповнений діелектриком. Коли змінюється взаємне розташування електродів або діелектрична проникність середовища в міжелектродному просторі, це призводить до зміни ємності конденсатора. Тому цей перетворювач дозволяє вимірювати різноманітні фізичні величини, що впливають на ємність, такі як відстань, тиск або вологість.

Ємнісні датчики працюють на змінному струмі. Розглянемо двотактний ємнісний датчик, що використовує диференційний плоский конденсатор, який підключений за мостовою схемою (рис. 2.3). Така схема дозволяє забезпечити високу точність вимірювань шляхом компенсації зовнішніх впливів, таких як зміни температури або вологості, що можуть впливати на точність вимірювання ємності. Цей тип датчика широко застосовується для вимірювання відстаней, рівня рідин та інших параметрів, що залежать від змін ємності.

Ємність одного плеча мосту:

$$C = \frac{\varepsilon_r \cdot \varepsilon_0 \cdot S}{\delta}, [\Phi]$$

де ε_r – відносна діелектрична проникність діелектрика;

ε_0 – електрична постійна

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{36\pi \cdot 10^9}, [\Phi/\text{м}]$$

де S – площа електродів $[\text{м}^2]$;

δ – відстань між електродами $[\text{м}]$.

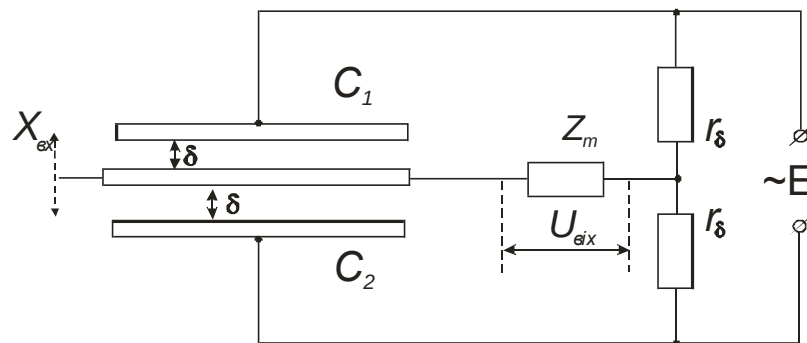


Рисунок 2.3 - Мостова схема двухтактного ємнісного датчика.

За конструктивними розрахунками ємність датчика зазвичай не перевищує 300–500 пФ. При таких значеннях ємності неможливо досягти високої потужності на виході. Для збільшення вихідної потужності використовують узгодження навантаження з внутрішнім опором схеми. Це дозволяє максимізувати передачу енергії між датчиком і навантаженням, забезпечуючи більш ефективну роботу системи. Статичну характеристику при узгодженому навантаженні можна побачити на рис. 2.4, де продемонстровано, як змінюється поведінка датчика при оптимальному співвідношенні навантаження та внутрішнього опору.

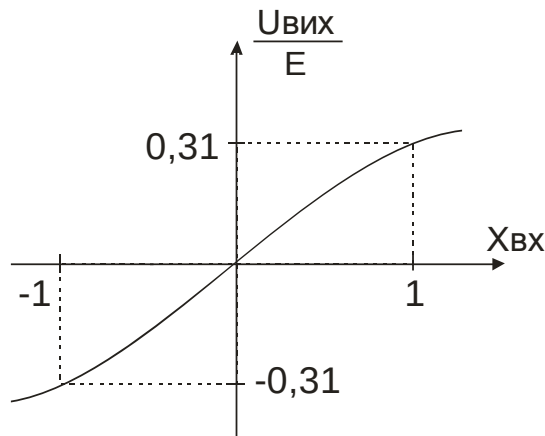


Рисунок 2.4 - Статична характеристика двухтактного ємнісного датчика при узгодженому навантаженні.

Реактивний опір навантаження обирають таким чином, щоб його величина була рівною внутрішньому опору датчика, але з протилежним знаком, що дозволяє налаштувати схему в резонанс. Однак досягнення такого узгодження стає складним у великих приміщеннях через наявність різних електричних впливів і складність точного налаштування в умовах великого простору. У таких випадках може знадобитися застосування додаткових коригуючих елементів або спеціальних технік для забезпечення належної роботи схеми.

Ємнісні перетворювачі мають ряд переваг і недоліків, що визначають їхні можливості та обмеження в різних сферах застосування. Однією з головних переваг є простота конструкції та компактні розміри, що забезпечують малу масу датчика. Завдяки жорстким рухомих електродам з високою власною частотою, ці датчики здатні вимірювати швидкозмінні величини з високою точністю. Крім того, ємнісні перетворювачі можуть мати як лінійну, так і нелінійну функцію перетворення, що дає змогу адаптувати їх під конкретні вимоги. Для зміни функції перетворення достатньо варіювати форму електродів, що забезпечує гнучкість у налаштуванні. Однією з характерних особливостей є мала сила притягування електродів, що робить їх чутливими до змін у навколишньому середовищі, але водночас це може бути обмеженням для застосувань, де потрібна велика механічна стабільність.

Основним недоліком ємнісних перетворювачів є їхня мала ємність і високий внутрішній опір. Для зниження опору часто застосовують живлення

високочастотною напругою, що призводить до ще одного обмеження — складності реалізації вторинних перетворювачів. Крім того, ємнісні датчики чутливі до впливу зовнішніх електричних полів, що може спотворювати вимірювання. Інші недоліки включають їхню уразливість до умов навколишнього середовища, таких як запиленість, зміни температури та вологості, що може впливати на точність і стабільність роботи датчика.

Тензорезисторний перетворювач

Тензорезистор — це матеріал, опір якого змінюється під впливом механічної деформації, такої як стискання або розтягнення. Під час деформації провідника відбувається зміна його довжини (l) і площі поперечного перерізу (Q). Крім того, механічне навантаження на провідник спричиняє деформацію його кристалічної решітки, що, в свою чергу, змінює питомий опір матеріалу (ρ). Ці зміни в структурі провідника призводять до загальної зміни його електричного опору, що і використовується в тензорезисторах для вимірювання механічних деформацій.

$$R = \frac{\rho \cdot l}{Q}$$

Зараз широко використовуються наклеювані дотові тензорезистори (рис. 2.5), які складаються з тонкого зигзагоподібного дроту 1 (тензочутливий елемент), що прикріплюється до еластичної смужки (підкладки). Ці тензорезистори монтуються на об'єкті, який підлягає дослідженню, таким чином, щоб вони разом із ним зазнавали механічних деформацій, таких як стискання чи розтягнення. Таким чином, зміна опору тензорезистора дозволяє вимірювати величину механічних деформацій об'єкта.

Рівняння перетворювача:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} (1 + R_\mu) \frac{\Delta \rho}{\rho},$$

де R — опір терморезистора [Ом];

ρ — питомий опір матеріалу [Ом·м];

l — довжина дроту [м];

μ — коефіцієнт Пуассона.

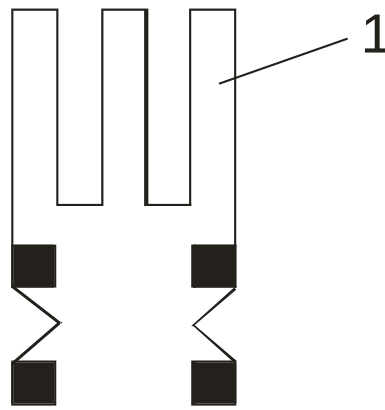


Рисунок 2.5 - Дротовий тензорезистор:
1 – тензочутливий елемент.

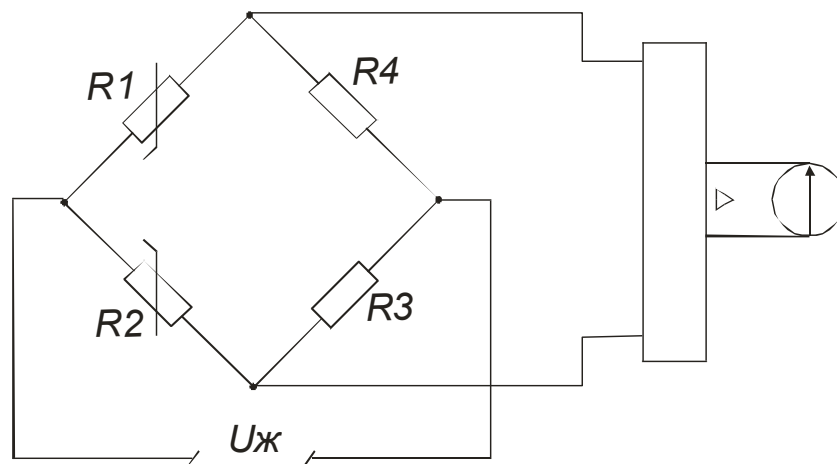


Рисунок 2.6 - Схема включення тензорезисторів.

Принципово нові можливості для розвитку тензорезисторних датчиків на основі напівпровідникових чутливих елементів з'явилися завдяки розробці та дослідженню структур типу «кремній на діелектрику». Серед них найбільш вивченою та технологічно освоєною є структура «кремній на сапфірі». Це тонка монокристалічна плівка кремнію, вирощена на монокристалічній сапфіровій підкладці з певною кристалографічною орієнтацією. Такі перетворювачі володіють відмінними пружними властивостями, низькою гістерезисною похибкою та широким діапазоном вимірювальних деформацій, що робить їх ефективними для точних і високоточних вимірювань.

Фотоелектричний перетворювач.

Фотоелектричний перетворювач — це фотоелектронний пристрій (фотоелемент), який застосовується як вимірювальний перетворювач. Існує три основних типи таких перетворювачів: перетворювачі з внутрішнім фото ефектом, перетворювачі з зовнішнім фото ефектом та фотогальванічні перетворювачі. Кожен з цих типів працює на основі різних фізичних принципів взаємодії світла з матеріалом, що дозволяє отримувати різноманітні вимірювальні характеристики, залежно від умов застосування та необхідних параметрів.

Найбільш широке застосування знайшли перетворювачі двох типів.

Фотоелектричні перетворювачі, які застосовуються для вимірювання не пов'язаних зі світлом величин, мають кілька важливих особливостей. Однією з головних переваг є відсутність необхідності механічного впливу на об'єкт вимірювання, що дозволяє здійснювати вимірювання без прямого контакту з досліджуванним об'єктом. Це робить фотоелектричні перетворювачі ідеальними для ситуацій, де важливо уникнути пошкоджень об'єкта або де є потреба в дистанційному вимірюванні. Перетворювачі, чутливі до інтенсивності світла та його кольору, мають кілька недоліків. Одним з основних є значна похибка, яка зумовлена такими факторами, як втома елементів, старіння та залежність їхніх параметрів від температурних коливань. Через ці обмеження, фотоелектричні перетворювачі зазвичай використовуються в таких випадках:

1. Коли перетворювач функціонує в релейному режимі. Наприклад, це використовується для вимірювання частоти обертання валу, на якому закріплений диск з отворами. У цьому випадку диск перешкоджає проходженню світлового променя, який падає на фотоелектричний перетворювач. У результаті, обертання диска перетворюється на частоту електричних імпульсів.

2. Як прямий перетворювач у вимірювальних приладах компенсаційного типу. Такий перетворювач використовується для компенсації впливу зовнішніх факторів або змінних величин у вимірюваннях. Він забезпечує підтримку постійних умов для точних вимірювань, коригуючи зміни, що виникають під

впливом змінних параметрів, таких як температура, освітленість чи інші зовнішні впливи.

3. При вимірюванні несвітлових величин, коли процес вимірювання включає перетворення в світлову величину. Це може включати, наприклад, вимірювання концентрації речовини в розчині, де проміжним етапом є зміна поглинання світла певним розчином. У таких випадках фотоелектричний перетворювач дозволяє визначати концентрацію або інші параметри через зміну інтенсивності світла, яке поглинається або проходить через розчин, на основі якої проводиться подальше вимірювання.

Схема вмикання фотоелектричних перетворювачів приведена на рис. 2.7.

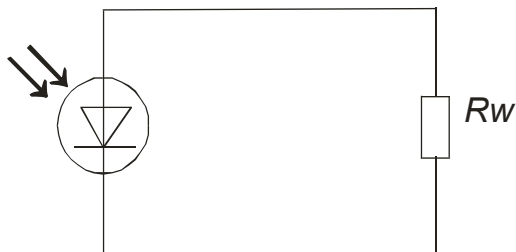


Рисунок 2.7 - Схема включення фотоелектричного перетворювача.

Напруження на навантаженні U_n , фотострум, та чутливість можна визначити по вольт-амперній характеристиці, яка зображена на рис. 2.8.

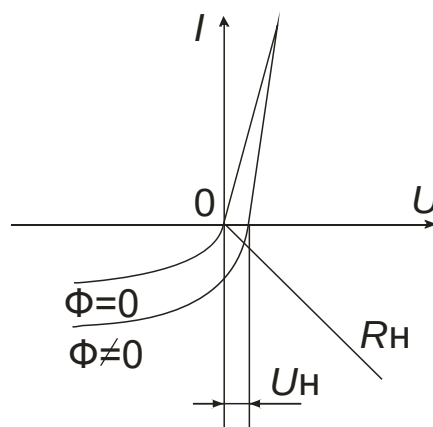


Рисунок 2.8 - ВАХ фотоелектричного перетворювача.

П'єзоелектричний перетворювач

Дія п'єзоелектричного перетворювача базується на принципі прямого п'єзоефекту, коли механічна деформація викликає зміну електричного заряду. Зазвичай він має вигляд пластинки з п'єзоелектричного матеріалу, на якій встановлені два ізольовані електроди. В залежності від типу матеріалу, форми перетворювача та орієнтації кристалічних вісей, вхідною величиною можуть бути різні типи механічних сил. Це можуть бути сили, що викликають деформацію стиснення або розтягування, або сили, що призводять до деформації через зсув.

Вихідна величина перетворювача – це напруга на електродах

$$E = \frac{q}{C}$$

де q – п'єзоелектричний заряд;

C – ємність, утворена електродами.

Електрорушійна сила (ЕРС), що виникає на електродах п'єзоелектричного перетворювача, зазвичай досить велика. Однак, якщо прикладена сила є постійною, виміряти цю ЕРС стає складно, оскільки заряд на електродах дуже малий і швидко розсіюється через вхідний опір вольтметра. У разі змінної сили виникає змінна ЕРС, яку значно легше виміряти. Якщо період зміни сили значно менший за постійний час, визначений ємністю перетворювача і часом розрядки заряду, то процес розряду не має значного впливу на вихідну напругу перетворювача.

Основні переваги п'єзоелектричних перетворювачів включають їх компактні розміри, високу надійність, простоту конструкції та здатність вимірювати швидко змінювані параметри. Однак їх недоліки полягають у неможливості вимірювати статичні величини, наявності гістерезису та нелінійності в характеристиках, що може обмежувати точність вимірювань в деяких випадках.

Спрощена еквівалентна схема п'єзоелектричного перетворювача зображена на рис. 2.9.

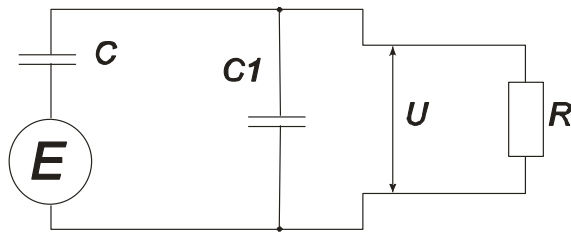


Рисунок 2.9 - Схема п'єзоелектричного перетворювача:
 $C1$ – сумарна ємність; C – власна ємність перетворювача; R – вхідний опір підсилювача.

Залежність чутливості від частоти перетворювача наведена на рис. 2.10.

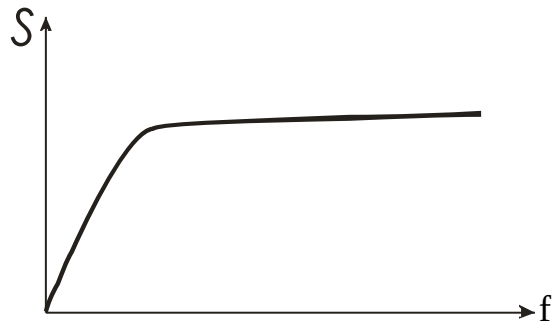


Рисунок 2.10 - Графік частотної характеристики.

З урахуванням задачі вимірювання тиску численних частинок, що рухаються в повітряно-гравітаційному полі, а також незначної маси сипучих матеріалів і обмежених габаритів машини, найбільш оптимальним варіантом буде застосування тензорезисторних перетворювачів. Вони можуть бути виконані у вигляді проволочних, фольгових або напівпровідникових елементів, що дозволяє забезпечити точність вимірювань при малих розмірах та наявності змінних деформацій.

Основною характеристикою таких вимірювальних перетворювачів є тензочутливість матеріалів, з яких вони виготовлені, а також їх міцність і довговічність. Наприклад, проволочні тензорезистори мають певний коефіцієнт тензочутливості, який можна визначити за допомогою відповідної формули:

$$S_{\tau} = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l} = 1 + 2\mu + \frac{\Delta \rho / \rho}{\Delta l / l}, \quad (2.1)$$

де R , l і ΔR , Δl - опір і довжина струмопровідного елемента, і їх приріст;

μ – коефіцієнт Пуасона;

ρ , $\Delta\rho$ – питомий опір тензочутливого матеріалу і його приріст.

Тензочутливість тензорезисторів, виготовлених з матеріалів, таких як Константан та Ніхром, зазвичай знаходиться в межах від 2 до 3. Окрім чутливості, важливою характеристикою тензорезистора є статична характеристика перетворювача. У загальному випадку ця характеристика є нелінійною функцією, що описує залежність зміни опору від прикладеної деформації чи навантаження

$$R = R_0 \cdot e^{\varepsilon \cdot S_T},$$

де R_0 – початковий опір тензорезистора [Ом];

$\varepsilon = \Delta l / l$ – відносна деформація.

Перевагою фольгових тензорезисторів є їх здатність працювати з великим допустимим робочим струмом, що дозволяє знижувати поріг чутливості. Напівпровідникові тензорезистори, в свою чергу, мають значно вищий коефіцієнт тензочутливості, проте їхня міцність є нижчою, і вони виявляють підвищену чутливість до зовнішніх умов експлуатації, таких як температура та вологість.

У тензорезисторних вимірювальних перетворювачах пружні елементи застосовуються для первинного перетворення величини сили потоку частинок у механічну деформацію. Чутливість пружного елемента перетворювача можна визначити за допомогою спеціальної формули, яка враховує характеристики матеріалу і конструкції самого елемента

$$S_{n.e.} = \frac{\Delta \varepsilon_{cp}}{\Delta X},$$

де ε_{cp} - деформація пружного елемента по довжині бази тензорезистора;

X – вхідна величина (кінетична енергія потоку частинок).

Найбільш оптимальною конструктивною формою для тензорезисторних вимірювальних перетворювачів є пружні пластини, що мають безперервну лінійну статичну характеристику без явних проявів гістерезису та післядії. Така конструкція дозволяє регулювати чутливість до потоку частинок сипучих матеріалів шляхом зміщення пружного елемента по довжині відносно розташування тензорезисторів. Це переміщення змінює величину згинаючого

моменту, що, в свою чергу, дозволяє точно налаштувати вимірювальний перетворювач на бажану чутливість до контролюваних величин.

Для перетворення деформації тензорезисторів і відповідної зміни їх опору в електричний сигнал найчастіше застосовуються мостові вимірювальні схеми, які живляться від додаткового джерела струму. Така схема дозволяє ефективно зчитувати навіть незначні зміни опору, перетворюючи їх у точний електричний сигнал, що зручно для подальшої обробки і аналізу.

Для контролю напруження при одновісному навантаженні активний тензорезистор розташовують на конструктивному елементі в певному перетині пружного елемента таким чином, щоб його поздовжня вісь збігалася з напрямком основної деформації. Для забезпечення температурної компенсації, тензорезистори, що виконують цю функцію, встановлюються на спеціальну не навантажену компенсаційну пластину, виготовлену з того ж матеріалу, що й досліджуваний елемент. Це дозволяє мінімізувати вплив температурних коливань на точність вимірювань.

2.3 Обґрунтування вибору виконавчого органу

Виконавчі двигуни — це керовані електричні машини малої потужності, які використовуються в автоматизованих системах. Їх основне призначення — перетворювати електричний сигнал у механічне переміщення валу або іншої рухомої частини, забезпечуючи точне регулювання та контроль руху в різних технічних процесах.

Основні вимоги до виконавчих двигунів включають: відсутність самоходу — двигун повинен самогальмувати при відсутності сигналу управління; широкий діапазон регулювання частоти обертання для точного налаштування роботи; лінійність механічних та регулюючих характеристик для стабільної роботи; стійкість до коливань частоти обертання на всіх етапах руху; здатність до забезпечення великого пускового моменту; мала потужність управління для зменшення енергоспоживання; висока швидкодія для оперативного реагування на зміни;

надійність в умовах тривалої експлуатації; компактні розміри та мала вага для інтеграції в обмежені простори технічних систем.

Розглянемо двигуни.

Асинхронні виконавчі двигуни.

Асинхронні виконавчі двигуни — це двофазні електродвигуни, у яких на статорі розташовані дві обмотки, зміщені в просторі на електричний кут 90° . Одна обмотка відповідає за збудження, а інша — за управління. Для досягнення необхідного зсуву струму в обмотках, який є ключовим для роботи двигуна, використовуються два основні методи: або через схему з підключенням обмотки управління до підсилювачів, перетворювачів чи фазообертачів, або через використання конденсатора, який підключається послідовно з обмоткою збудження, що дозволяє створити необхідний зсув фази.

Управління виконавчими двигунами може здійснюватися кількома способами: зміною амплітуди напруги управління (амплітудний метод, рис. 2.11, а), зміною фази напруги (фазовий метод, рис. 2.11, б), або комбінованим методом, що передбачає одночасну зміну амплітуди та фази напруги управління (амплітудно-фазовий метод, рис. 2.11, в).

Синхронні двигуни.

Особливістю синхронних двигунів, що визначає їхні функціональні можливості та сфери застосування, є стабільність середньої частоти обертання. Це зумовлено незмінністю частоти та амплітуди напруги живлення, а також сталими коливаннями навантажувального моменту, що дозволяє забезпечити точне регулювання швидкості обертання в умовах змінного навантаження.

Синхронні двигуни за конструкцією та принципом роботи поділяються на кілька типів: реактивні (СДР), гістерезисні (СДГ), з збуренням від постійних магнітів (СДМ) та з електромагнітною редукцією частоти обертання (СДЕР). Найкращими характеристиками володіють трьохфазні синхронні двигуни. Водночас, однофазні двигуни мають меншу корисну потужність порівняно з трьохфазними, втрачаючи близько 30% потужності при однакових габаритах.

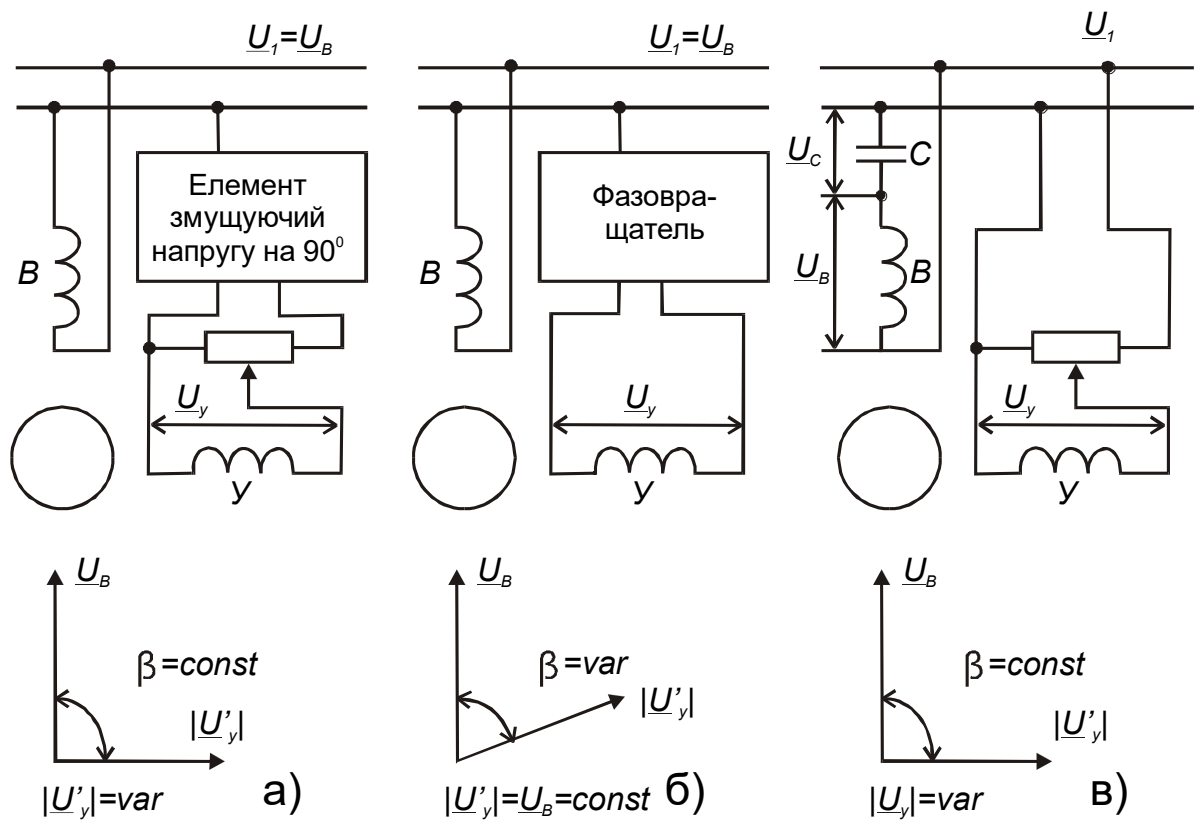


Рисунок 2.11 - Основні схеми включення асинхронних виконавчих двигунів.

Найвищі енергетичні характеристики демонструють синхронні двигуни з збудженням від постійних магнітів (СДМ). У діапазоні потужностей від 1 до 100 Вт їхній коефіцієнт корисної дії (ККД) коливається від 30% до 80%, досягаючи значення до 0,85. В той же час, для гістерезисних синхронних двигунів (СДГ) в тому ж діапазоні потужностей ККД становить від 10% до 65%, а їхній коефіцієнт корисної дії варіюється між 0,3 і 0,5. СДГ показують ККД в межах 15-40% при потужностях 10-60 Вт. Найкращі питомі показники ефективності спостерігаються саме у СДМ. Пускові характеристики синхронних двигунів з збудженням від постійних магнітів (СДМ) та реактивних синхронних двигунів (СДР) включають початковий пусковий момент та момент входу в синхронізм. Момент входу в синхронізм дорівнює максимальному моменту опору навантаження, при якому ротор ще може бути приведений до синхронної частоти обертання, що становить $(0,95 \div 0,97)$ від номінальної частоти обертання (n_e). З енергетичної точки зору, найефективніший режим роботи для СДМ спостерігається поблизу номінального

моменту, оскільки в цьому випадку досягається максимальний коефіцієнт корисної дії (ККД), що також дозволяє підтримувати допустимі температурні перевищення.

Зміни в напрузі та частоті живлення мають суттєвий вплив на характеристики синхронних двигунів. Вони в першу чергу впливають на пускові властивості двигунів, а також на їх здатність до перевантаження. Зниження напруги або частоти може призвести до зменшення пускового моменту та зниження ефективності роботи двигуна, тоді як підвищення цих параметрів може покращити пускові характеристики, але також збільшити ризик перегріву або перевантаження двигуна при неадекватному регулюванні.

Двигуни постійного струму.

До переваг двигунів постійного струму можна віднести наступні характеристики: вони здатні забезпечити широкий діапазон частот обертання, що дозволяє досягати теоретично різних швидкостей обертання з стабільною роботою; мають лінійні механічні характеристики, а також при певних схемах включення — регулюючі характеристики, що сприяє високому коефіцієнту корисної дії (ККД); не схильні до саморуху; за габаритами і вагою значно компактніші за асинхронні двигуни, будучи в 2-3 рази меншими; володіють високим пусковим моментом і в деяких конструкціях — коротким часом стабілізації після пуску.

Основним недоліком двигунів постійного струму є використання ковзних контактів — колектора та щіток. Це знижує надійність роботи двигуна, погіршує стабільність його характеристик, а також спричиняє виникнення радіоперешкод. Крім того, необхідність регулярного технічного обслуговування, включаючи заміну щіток і чистку колектора, збільшує витрати на експлуатацію та обслуговування таких двигунів.

За способом збудження виконавчі двигуни постійного струму діляться на двигуни з незалежним електромагнітним збудженням та двигуни, що збуджуються постійними магнітами. У двигунах з незалежним збудженням

обмотка управління може бути розташована як на якорі, у цьому випадку говорять про двигуни з якорним управлінням (рис. 2.12, а), або на полюсах, що характерно для двигунів з полюсним управлінням (рис. 2.12, б). У двигунах, що збуджуються постійними магнітами, відсутня обмотка збудження, що означає, що вони завжди працюють при якорному управлінні.

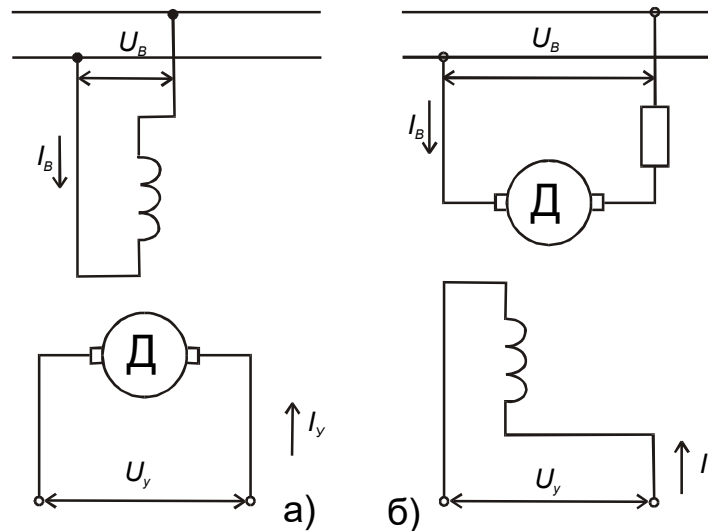


Рисунок 2.12 - Схеми вмикання виконавчих двигунів постійного струму при якорному (а) та полюсному (б) способах управління.

Двигуни постійного струму, залежно від способу збудження, мають різну жорсткість механічної характеристики. Двигуни з послідовним збудженням, як правило, забезпечують найменшу стабільність частоти обертання, оскільки їх механічна характеристика є м'якою, що призводить до значних коливань обертів при зміні навантаження. Двигуни з паралельним збудженням та з збудженням від постійних магнітів, завдяки більшій жорсткості механічної характеристики, забезпечують відносно стабільну частоту обертання. За допомогою спеціальних регуляторів швидкості можна досягти стабільності частоти обертання в межах від 5% до 0,5% і навіть нижче. Практичні межі регулювання частоти обертання для двигунів постійного струму коливаються в діапазоні від 1:5 до 1:20.

Безконтактні двигуни постійного струму.

Безконтактні електродвигуни постійного струму — це електричні машини, в яких збудження здійснюється за допомогою постійних магнітів. Вони оснащені датчиком кутового положення ротора та напівпровідниковим комутатором, що дозволяє уникнути використання механічних щіток і колектора. Структурна схема безконтактного електродвигуна постійного струму представлена на рис. 2.13.

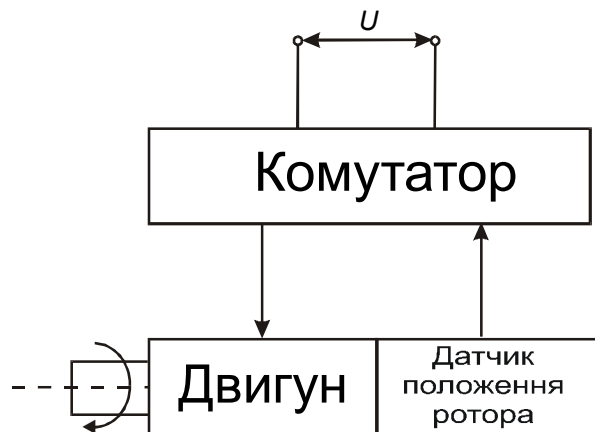


Рисунок 2.13 - Структурна схема безконтактного двигуна постійного струму.

Безконтактні двигуни постійного струму володіють рядом важливих функціональних характеристик, таких як тривалий термін служби (до 30 000 годин), висока надійність запуску після тривалого періоду бездіяльності, здатність працювати в умовах вибухо- і пожежонебезпечних середовищ, а також ефективність при низьких тисках навколишнього середовища. Ці властивості роблять їх особливо придатними для використання в складних і екстремальних умовах.

Безконтактні двигуни виготовляються в двох основних варіантах: сумісному та роздільному виконанні. У сумісному виконанні двигун і комутатор об'єднані в одному корпусі, що забезпечує компактність і зручність монтажу. В роздільному виконанні двигун і комутатор мають окремі корпуси, з'єднані між собою кабелем, що дозволяє забезпечити більшу гнучкість в установці та оптимізацію простору в залежності від специфікацій робочого середовища.

Сфера застосування безконтактних двигунів призвела до розвитку двох основних конструктивних варіантів: безконтактних двигунів стандартного виконання та безконтактних двигунів герметичного виконання. У двигунах стандартного виконання ротор і статор можуть бути розташовані без додаткових захисних бар'єрів, в той час як у герметичних моделях ротор і статор розділені спеціальною металевою гільзою, що забезпечує захист від вологи, пилу та інших зовнішніх впливів, що робить їх ідеальними для роботи в складних умовах, таких як агресивні чи запилені середовища.

Двигуни герметичного виконання використовуються в приводах насосів та інших механізмах, де є необхідність у прямому контакті поверхні вала з робочою рідиною без потреби в додаткових ущільненнях. Це дозволяє зберігати герметичність і запобігати витокам рідини, що робить такі двигуни надійними в умовах вологих або агресивних середовищ. За функціональним призначенням безконтактні двигуни можна поділити на три основні категорії: силові двигуни, які забезпечують основне механічне переміщення; керуючі двигуни, що використовуються для точного регулювання параметрів роботи систем; та двигуни зі стабілізацією частоти обертання, які підтримують стабільну частоту обертання незалежно від навантаження або змін умов роботи.

Для регулювання частоти обертання в електричних двигунах найчастіше використовуються методи широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) напруги живлення, що передається через низькопотужні ланцюги комутатора. Цей метод регулювання дозволяє ефективно змінювати частоту обертання за допомогою варіацій тривалості імпульсів при фіксованому періоді, що дає можливість точного контролю двигуна при збереженні енергоефективності. ШІМ може бути реалізовано як у відкритих, так і в закритих системах управління частотою обертання. У відкритих системах управління частота обертання регулюється без зворотного зв'язку, тоді як у замкнених системах використовується зворотній зв'язок для коригування параметрів, що дозволяє досягти більшої точності та стабільності роботи двигуна при змінних навантаженнях.

Розімкнуті системи управління є найбільш простими в реалізації, але вони не забезпечують достатньої жорсткості механічної характеристики (рис. 2.14, а). У таких системах відсутній зворотний зв'язок, що призводить до коливань і нестабільності частоти обертання при зміні навантаження.

Замість цього, замкнуті системи управління включають від'ємний зворотний зв'язок по частоті обертання, що дозволяє досягти більш стабільних і жорстких механічних характеристик (рис. 2.14, б). Такі системи забезпечують високу точність стабілізації частоти обертання, і в результаті, частота обертання безконтактних двигунів постійного струму може стабільно підтримуватись в межах 0,5-1%. Це дає можливість забезпечити високу точність і ефективність роботи в широкому діапазоні навантажень.

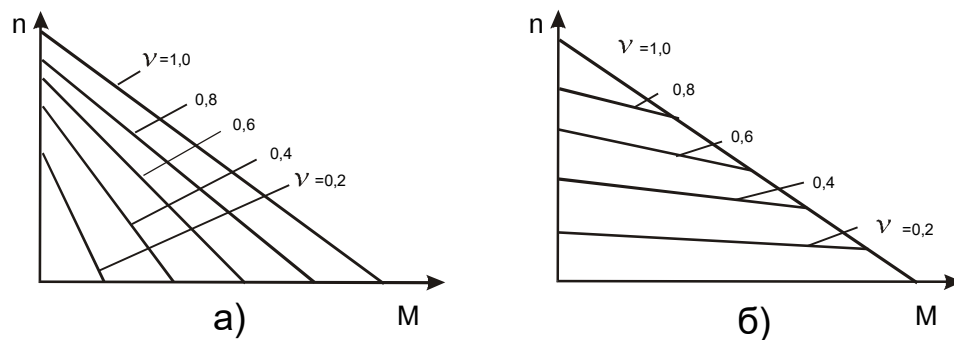


Рисунок 2.14 - Механічні характеристики безконтактних двигунів постійного струму з розімкнутою (а) та зімкнутою системами регулювання.

Крокові двигуни.

У сучасних схемах автоматики, поряд з автоматичними системами неперервної дії, що працюють за допомогою згаданих раніше двигунів, все більше застосовуються системи дискретної (імпульсної) дії. Такі системи функціонують за допомогою спеціальних виконавчих двигунів, які називаються кроковими. Ці двигуни використовуються для точного виконання серій послідовних, чітко визначених рухів, що дозволяє забезпечити високу точність позиціонування в різних автоматизованих процесах. Крокові двигуни — це електромеханічні пристрої, які перетворюють електричні імпульси управління в дискретні (стрибкоподібні) кутові або лінійні переміщення ротора, з можливістю фіксації

його в заданих положеннях. Частота обертання та загальний кут повороту вала крокового двигуна безпосередньо пропорційні частоті і кількості поданих управлінських імпульсів. У разі відсутності управляючих імпульсів двигун переходить у режим фіксованої зупинки, зберігаючи положення, досягнуті в ході попередніх переміщень. Цей принцип дозволяє забезпечити високу точність позиціонування в різноманітних системах автоматизації.

Крокові двигуни за конструкцією та принципом роботи поділяються на механічні та електромашинні типи. Більші переваги мають електромашинні двигуни, які можуть бути оснащені як активними, так і пасивними роторами. Останнім часом також набули популярності двигуни з гнучким ротором, відомі як хвильові двигуни. Крокові двигуни з активним ротором, в якому використовуються постійні магніти, відрізняються високим моментом і здатністю до роботи на високих швидкостях, до 5000 об/хв, що забезпечує ефективну роботу в умовах високих вимог до точності та швидкості переміщення. Чотирьохфазні та трьохфазні крокові двигуни з активним ротором набули широкого поширення. Ці двигуни здатні працювати з фіксованим моментом навіть при знеструмлених обмотках, що забезпечує їхню стабільність у роботі. Характерною особливістю цих двигунів є порівняно великі значення кроку, що можуть становити 15° або більше, що робить їх підходящими для завдань, де потрібна менша точність переміщень. Однак, ці двигуни мають обмежену приємність, що складає близько 500 кроків на секунду, що може бути недостатнім для деяких високошвидкісних додатків.

Двигуни з пасивним ротором, до яких відносяться індукторні та реактивні двигуни, забезпечують високу приємність, досягаючи 1000 кроків на секунду і більше, а також дозволяють досягати дуже малих значень кроку, до 1° . Однак для фіксації пасивного ротора при знеструмлених обмотках необхідно використовувати окремі фіксуючі пристрої, оскільки самостійно пасивний ротор не має здатності зберігати своє положення без електричного струму.

Хвильові двигуни є конструктивним поєднанням синхронного реактивного двигуна і хвильової зубцевої передачі, при цьому гнучкий елемент передачі також

виконує функцію ротора двигуна. Основними функціональними особливостями хвильових двигунів є здатність до досягнення дуже малих кроків (менше 1°), висока приємистість (понад 2000 кроків/с), значні моменти на валу, а також здатність працювати з великими інерційними навантаженнями. Крім того, хвильові двигуни відзначаються компактними розмірами і малою масою на одиницю моменту.

Для живлення крокових двигунів використовуються спеціальні блоки управління, які перетворюють унітарну послідовність імпульсів у т-фазну систему напруг, що подається на обмотки двигуна через підсилювачі потужності. Параметри блоку управління визначаються кількістю обмоток, споживаним струмом та схемою комутації обмоток. Технічний рівень блоку управління, у свою чергу, залежить від застосованої елементної бази, яка включає в себе мікросхеми, транзистори та інші компоненти, що забезпечують ефективність роботи системи управління.

Основними характеристиками крокових двигунів є граничні динамічна та механічна характеристики (рис. 2.15), які описують взаємозв'язок між швидкістю реагування (приємистістю) та обертальним моментом двигуна. Ці характеристики відображають здатність двигуна до швидкої зміни положення і навантаження, а також визначають максимальні значення моменту, які двигун може розвивати при різних режимах роботи.

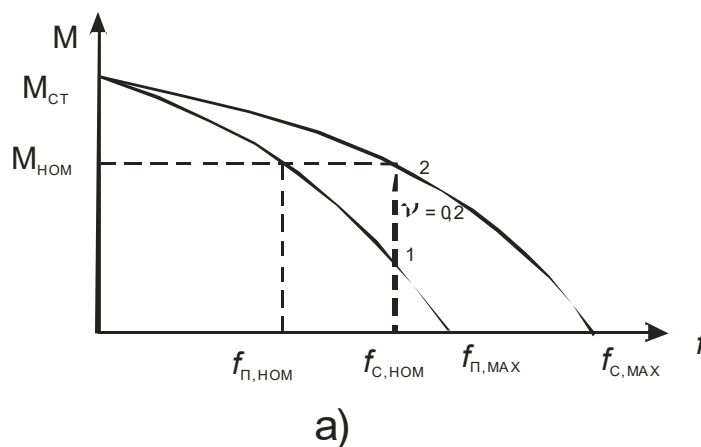


Рисунок 2.15 - Граничні динамічна (1) і механічна (2) характеристики крокових двигунів.

Оскільки для регулюючого органу необхідний малий крутний момент, оптимальним вибором є крокові двигуни. Вони дають змогу без використання

зворотного зв'язку точно обертати регулюючий орган на задану величину, керуючи кількістю імпульсів, що подаються на двигун. Такий підхід дозволяє забезпечити точне і стабільне регулювання руху при мінімальних енергетичних витратах.

Вибираємо кроковий двигун типу ДВШ80-0,6-0,45

Технічні дані:

- кут кроку $\alpha = 0,45^0$;
- номінальна приємистість $t_{п.ном} = 250$ крок/с;
- номінальний обертовий момент $M_{ном} = 0,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$
- споживаний номінальний струм $I_{ном} = 5,3 \text{ А}$;
- максимальна приємистість $t_{п.мах} = 1400$ крок/с;
- максимальний статичний синхронізуючий момент $M_{ст.мах} = 21 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

3 ОПИС ОБРАНИХ РІШЕНЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ СЕПАРАЦІЇ ЗЕРНА

3.1 Розробка функціональної схеми системи

Технологічне обладнання на функціональних схемах автоматизації зазвичай відображається спрощено, без точного масштабування, але з врахуванням реальної конфігурації і взаємного розташування елементів. Це дозволяє зрозуміло показати принципи роботи системи, зберігаючи важливу інформацію про її структуру та функціональні зв'язки.

Окрім технологічного обладнання, на функціональних схемах автоматизації трубопроводи різного призначення зображуються спрощено (дволінійне зображення) або умовно (однолінійне зображення). Транспортовані середовища можуть бути позначені як шифрованими символами, так і літерно-цифровими позначеннями, що дозволяє точно вказати їх тип і призначення. Це забезпечує ясність у розумінні функціональних зв'язків і руху матеріалів в автоматизованій системі.

Прилади та засоби автоматизації, які здійснюють перетворення сигналів або виконують різні обчислювальні функції над ними, позначаються літерою У, яка розміщується на другому місці в позначенні. Для детальнішого пояснення виду перетворення або обчислювальної функції використовуються додаткові літерні позначення та математичні символи, які розміщуються праворуч від графічного зображення приладу. Це дозволяє точно вказати функціональне призначення кожного елемента в схемі автоматизації.

Функціональні схеми можуть бути виконані як у спрощеному, так і в розгорнутому вигляді. У спрощеному варіанті на схемах не відображаються вимірювальні перетворювачі та вся допоміжна апаратура. Прилади та засоби, що виконують складні функції і представлені у вигляді окремих блоків, зображуються одним умовним графічним позначенням. Розгорнутий спосіб використовується, коли необхідно детально конкретизувати функцію кожного

приладу та засобу автоматизації, що входять до складу єдиного вимірювального, регульовального або керуючого комплексу. Це дозволяє наочно показати всі елементи та їх взаємодію в системі.

Якщо функціональні схеми автоматизації є складними, то лінії зв'язку можна розривати для спрощення зображення. У таких випадках обидва кінці ліній на місцях розриву повинні мати однакові номери, позначені арабськими цифрами. Для нижнього ряду, що відображає зв'язок із щитовими приладами, номери ліній мають йти в зростаючому порядку зліва направо. Для верхнього ряду така умова не є обов'язковою, і номери можуть бути розташовані в будь-якому порядку, в залежності від потреби схеми.

Під час розробки функціональної схеми необхідно вирішити такі завдання:

- встановити параметри технологічного процесу, які підлягають автоматичному контролю та регулюванню, уточнити їх межі, можливі зміни та вибрати методи вимірювання цих параметрів для подальшого підбору технічних засобів;

- визначити технологічне обладнання, яке буде управлятися автоматично або дистанційно;

- визначити оптимальний обсяг технологічного процесу;

- вибрати основні технічні засоби автоматики, що найбільше відповідають вимогам та умовам експлуатації автоматизованого об'єкта;

- спроектувати розміщення приладів та апаратури на щитах, пультах і диспетчерських пунктах, а також визначити способи надання операторам необхідної інформації щодо ходу технологічного процесу.

Результатом розробки повинно стати:

- визначення методів вимірювання технічних параметрів процесу;

- підбір основних технічних засобів автоматизації, які найкраще відповідають висунутим вимогам та специфікаціям автоматизованого технологічного процесу.

Функціональна схема автоматизації технологічного процесу сепарації зерна з умовним зображенням пульта управління представлена на рисунку 3.1.

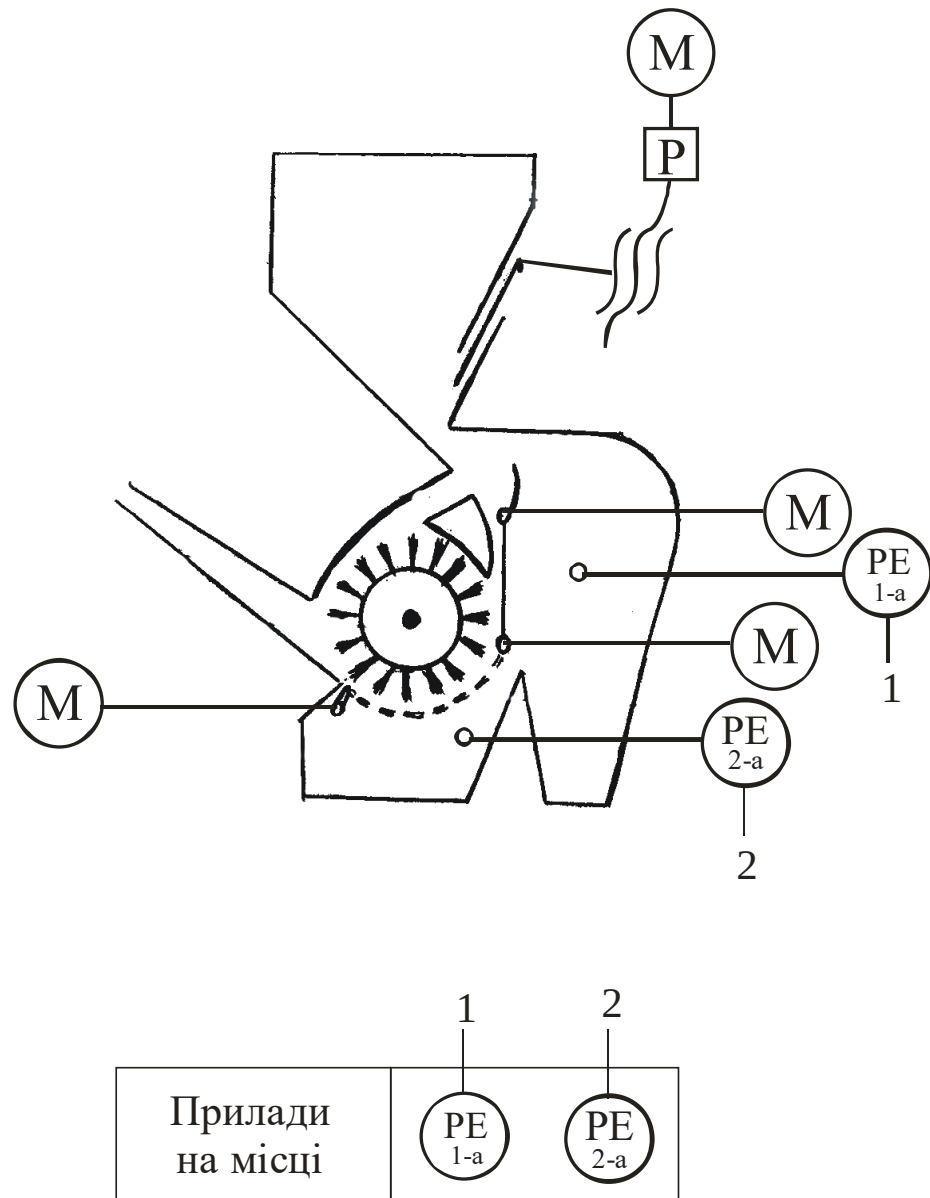


Рисунок 3.1 - Функціональна схема автоматизації технологічного процесу сепарації зерна з умовним зображенням пульта управління



датчик сили, встановлений на місці

Розглянемо структуру динаміки потоку зернового вороху (рис. 3.2), щоб визначити, як змінюється склад вороху в процесі його сепарації.

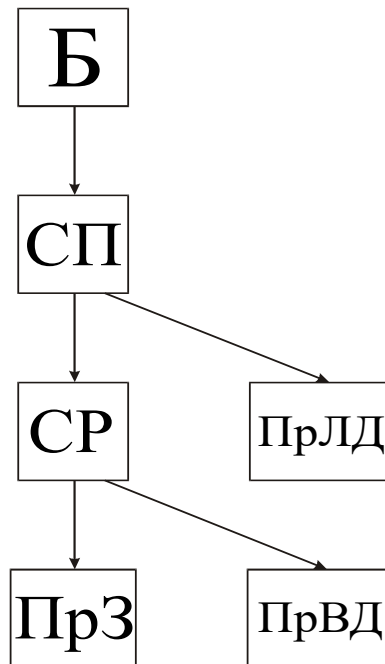


Рисунок 3.2 - Структура динаміки потоку зернового вороху

Б – бункер; СП, Q_0 – сепаратор повітряний і початкова маса вороху;
 Пр, ЛД, $Q_{лд}$ – приймальник легких домішок і їх маса; СР, Q_v – сепаратор решітний і маса
 вороху; ПрВД, $Q_{вд}$ – приймальник важких домішок і їх маса; ПрЗ, Q_z – приймальник зерна і
 його маса; $\lambda_{л}$ $\lambda_{в}$ – інтенсивність виділення легких і важких домішок.

Розглянемо схему роботи автоматизованої системи, представлену на рис. 3.3, де введено такі позначення: - БВ – бункер вороху; - ПС – повітряний сепаратор; - РС – решітний сепаратор; - ТД1 – тензодатчик легких домішок; - ТД2 – тензодатчик важких домішок; - РО1 – регулюючий орган (заслінка) повітряного сепаратора; - РО2 – регулюючий орган (решето) решітного сепаратора; - РОБ – регулюючий орган (заслінка) подачі вороха; - БУ1 – блок управління заслінкою повітряного сепаратора; - БУ2 – блок управління заслінкою решітного сепаратора; - БУБ – блок управління бункером; - ПУ1, ПУ2 – програмне управління; - БЛА – блок логічного аналізу.

Ця система автоматизує процес сепарації вороху, інтегруючи різноманітні датчики та регулюючі органи, що дозволяють досягти високої ефективності і точності при обробці зернових матеріалів. Використання таких елементів дає змогу оптимізувати технологічний процес, забезпечуючи стабільність роботи і точність налаштувань, що необхідні для ефективного розділення зерна та домішок.

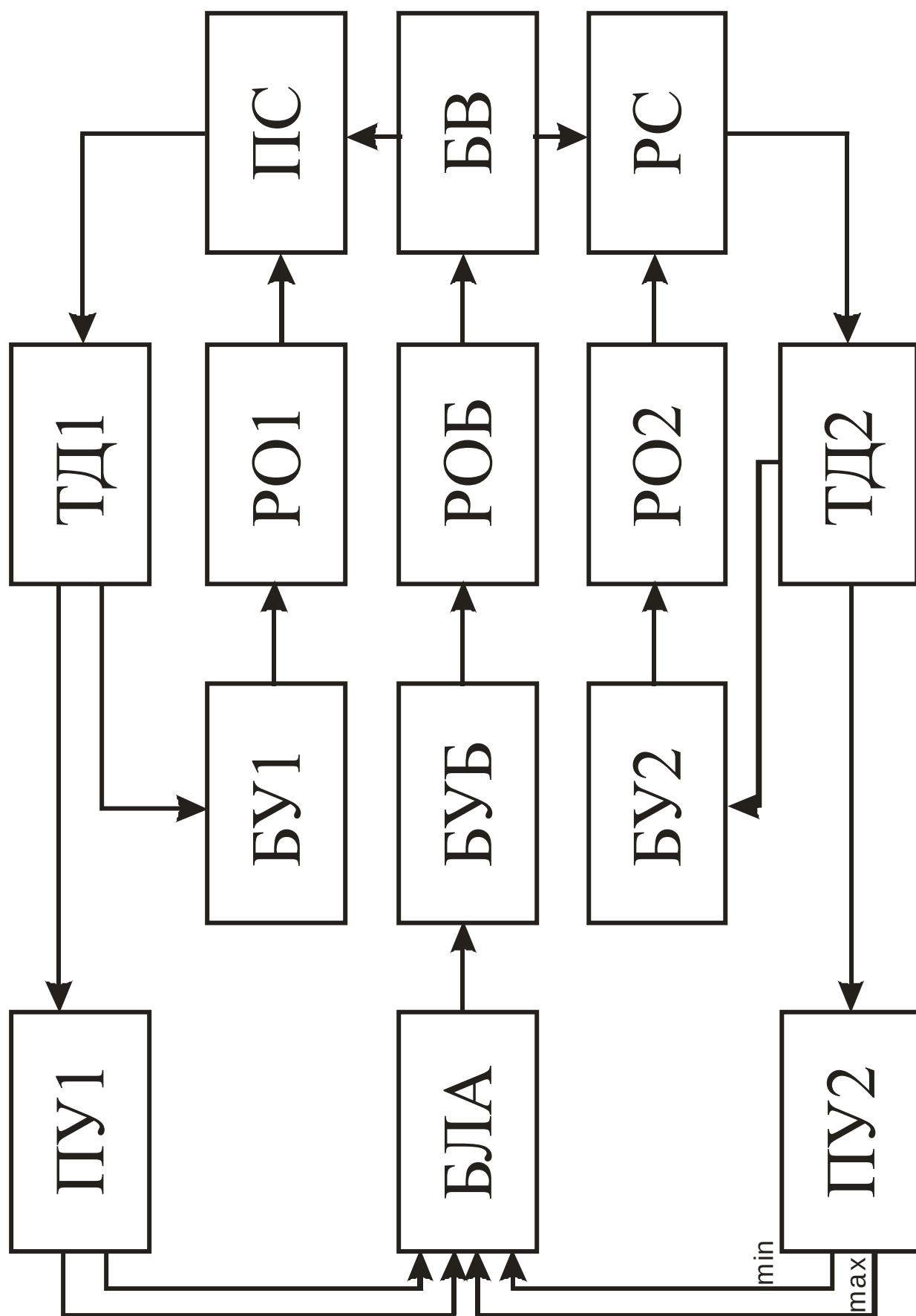


Рисунок 3.3 – Схема роботи автоматизованої системи

3.2 Розробка структурної схеми системи

Автоматичне управління сепарацією зерна здійснюється за схемою, зображеною на рис. 3.4.

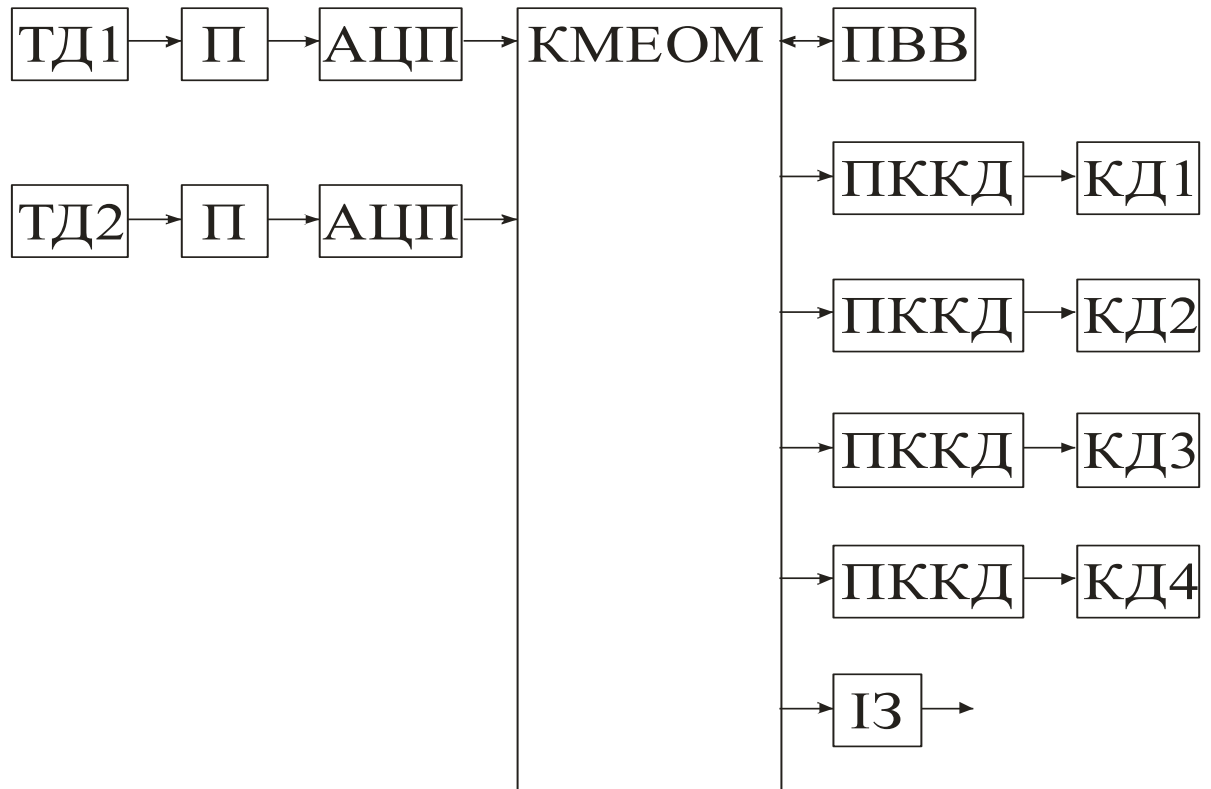


Рисунок 3.4 – Структурна електрична схема автоматичного управління сепарацією зерна:

ТД – тензодатчик; П – підсилювач; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач; КМЕОМ – керуюча мікроЕОМ; ПВВ – пристрій вводу-виводу; ПККД – пристрій керування кроковим двигуном; КД – кроковий двигун; ІЗ – інтерфейс зв'язку

Сигнали з тензодатчиків передаються на підсилювачі, де вони підсилюються для подальшої обробки. Потім ці сигнали надходять на аналогово-цифрові перетворювачі, де електричний сигнал перетворюється на цифровий формат. Після цього цифровий сигнал передається на мікроконтролер, де здійснюється обробка інформації для визначення, на який двигун потрібно подати імпульси, в якому напрямку його обернути та передається відповідний сигнал на двигун. Крім того, з мікроконтролера надходить сигнал на пристрій введення-виведення, що дозволяє оператору моніторити хід технологічного процесу сепарації зерна, а також на інтерфейс зв'язку для підключення ЕОМ вищого рівня для управління та моніторингу процесу.

3.3 Розробка електричних принципових схем системи автоматичного управління сепарацією

Зростання популярності та швидкий розвиток мікропроцесорних технологій призвели до їх широкого впровадження в різні сфери народного господарства. Функціональна гнучкість, висока надійність, компактні розміри та доступна вартість мікропроцесорних пристроїв роблять їх ідеальним вибором для використання в системах автоматичного управління, де ці переваги забезпечують ефективність і економічність.

Сучасна елементна база цифрових технологій надає широкі можливості для створення цифрових регуляторів, які реалізують операції в реальному часі за допомогою програмного забезпечення, зокрема на основі мікропроцесорів. Однокристальні мікроконтролери є прикладами таких пристроїв, що виконуються у вигляді ВІС (вбудованих інтегральних схем) і включають всі основні компоненти мікроЕОМ: мікропроцесор, пам'ять для програм, пам'ять для зберігання даних, а також програмовані інтерфейси для взаємодії з зовнішнім середовищем. Це дозволяє ефективно інтегрувати їх у складні системи автоматичного управління з високою швидкістю та точністю виконання операцій. Застосування мікроконтролерів у системах автоматичного управління дозволяє досягти високих рівнів ефективності при низьких витратах, малих розмірах, вазі та енергоспоживанні, а також забезпечує досить високу обчислювальну потужність. Це робить їх ідеальними для використання в різних технічних і промислових сферах, де важливі компактність, енергоефективність та швидкість обробки даних [1-7].

Структурна організація, набір команд і апаратно-програмні засоби вводу/виводу інформації мікроконтролерів оптимально підходять для вирішення завдань керування та регулювання в приладах, пристроях та системах автоматики. При проектуванні мікропроцесорних систем автоматичного керування (САК) необхідно враховувати кілька ключових аспектів. Серед них — забезпечення

необхідної якості керування, ефективний розподіл функцій між апаратними та програмними засобами, а також інтеграція цифрової і аналогової частин системи для досягнення високої точності та надійності роботи.

На показники якості керування, такі як динаміка, точність, надійність виконання функцій керування та інші, значно впливають особливості цифрової реалізації алгоритму в мікроконтролері. Як відомо, при цифровому представленні інформації здійснюється дискретизація процесів в часі та квантування по рівню. Дискретизація часу, що відповідає заданому критерію якості роботи САК, накладає вимоги на швидкодію мікроконтролера, що повинно забезпечувати належну швидкість обробки даних. Квантування по рівню, в свою чергу, може призвести до виникнення шумів квантування, які впливають на точність і стабільність роботи системи, створюючи похибки в вимірюваннях і регулюванні.

Рішення задачі розподілу функцій між апаратними та програмними засобами в системах автоматичного керування (САК) вимагає детального аналізу низки факторів. Найважливішими з них, окрім забезпечення необхідної потужності мікроконтролера, є структура системи, спосіб представлення вхідної та вихідної інформації, а також специфіка цифрових алгоритмів обробки даних. У цьому контексті необхідно враховувати, як ефективно розподілити навантаження між апаратними засобами, які забезпечують швидку обробку даних, і програмними компонентами, що відповідають за реалізацію складних алгоритмів управління.

Для забезпечення взаємодії аналогової частини САК з мікроконтролером використовуються аналого-цифрові та цифроаналогові перетворювачі, які повинні відповідати високим вимогам щодо швидкодії, точності та лінійності перетворення. Часто виникає необхідність в схемотехнічному та програмному узгодженні розрядності АЦП з тією, яка є у мікроконтролера. Проте останнім часом набули популярності мікроконтролери, що оснащені вбудованими АЦП високої розрядності. Це дозволяє зменшити потребу у використанні додаткових

мікросхем, спрощуючи проектування електричних схем і знижуючи складність системи.

З урахуванням вищезазначених вимог, для побудови мікропроцесорної САР, що розробляється в рамках цієї бакалаврської роботи, найбільш підходящим вибором є однокристальний мікроконтролер типу AT90S4433. Цей мікроконтролер відповідає необхідним технічним характеристикам і вимогам щодо швидкодії, точності обробки даних та інтеграції аналогово-цифрових перетворювачів, що робить його оптимальним для реалізації заданих функцій у системах автоматичного регулювання.

На відміну від апаратурно реалізованих цифрових регуляторів, регулятори з програмною реалізацією мають дещо нижчу швидкість, але вони володіють більшою універсальністю, здатні до легкого переналаштування та мають кращі масогабаритні характеристики. Крім того, мікропроцесорні системи автоматичного керування демонструють вищу надійність порівняно з системами, що базуються на інших елементних базах.

Цифроаналоговий перетворювач виконує однозначне перетворення цифрового сигналу у відповідний аналоговий сигнал. Натомість, аналого-цифровий перетворювач здійснює процес перетворення аналогового сигналу в цифровий, забезпечуючи однозначну відповідність між аналоговим сигналом і цифровим кодом. Однією з основних вимог до аналого-цифрових (АЦП) і цифроаналогових (ЦАП) перетворювачів є їх здатність до ефективного спраження з мікропроцесором. Це передбачає сумісність логічних рівнів цифрових сигналів перетворювачів з шиною даних мікропроцесора, узгодженість цифрових кодів і формату даних, а також програмну сумісність. Обраний мікроконтролер типу AT90S4433 має вбудовані ЦАП і АЦП, що дозволяє забезпечити безпосереднє інтегрування цих функцій в систему без необхідності використання додаткових компонентів.

У схемі системи автоматичного управління сепарацією зерна можна виділити дві основні частини: слабкострумову (керуючу) та силову (енергетичну).

Використання мікропроцесора для реалізації слабкострумової частини значно підвищує надійність і універсальність системи автоматичного керування (САК). Це дозволяє зручно та ефективно впроваджувати необхідні алгоритми зміни керуючих діянь. Оскільки інформація про процес регулювання передається у вигляді цифрового сигналу, яка не залежить від енергетичної складової, вона менш чутлива до впливу перешкод і викривлень, що забезпечує стабільність і точність управління.

Слабкострумова частина мікропроцесорної системи автоматичного керування (САК) повинна виконувати завдання програмної реалізації цифрового регулятора та формування спеціальних кодових послідовностей. Ці послідовності використовуються для управління силовою частиною системи, що забезпечує подачу сигналу для керування двигуном, дозволяючи точно регулювати процеси в реальному часі.

Принципова схема автоматизованої системи керування процесом сепарації зерна, представлена на слайді 06.00, включає мікроконтролер AT90S4433, який відповідає за реалізацію алгоритму керування. Система також складається з вхідних ланцюгів, що отримують інформацію від датчиків, а також масштабуючих пристроїв, які приводять вхідні сигнали до уніфікованого рівня, що сприймається мікроконтролером. Крім того, схема містить силову частину для управління відповідними механізмами та рідкокристалічний індикатор для відображення інформації про стан процесу.

На елементі DD1 (мікросхема AT90S4433) реалізовано мікроконтролер з вбудованим тактовим генератором G1, частота роботи якого задається зовнішнім кварцовим резонатором з частотою 12 МГц. Вхідні масштабуючі підсилювачі, що перетворюють вхідні сигнали від датчиків до рівня, який сприймається мікропроцесорною системою, реалізовані за допомогою елемента DA1 (мікросхема K140УД17). Це операційний підсилювач, призначений для точного підсилення сигналів від датчиків без викривлень. Він здатний пригнічувати синфазні сигнали, має низьку напругу зміщення нуля, малий дрейф і низький

рівень шумів, а також великий вхідний опір. Зміна масштабу здійснюється шляхом регулювання коефіцієнта підсилення операційного підсилювача. Сигнал з виходу нормуючого підсилювача передається на мультиплексор AD 7890, а потім — на контролер для подальшої обробки. Сигнал керування, коли режим сепарації не відповідає заданому значенню, передається з порту PB0 мікроконтролера через демультимплексор К 530 ИД7. Потім цей сигнал через силову розв'язку на транзисторах VT1 та VT3 передається на управління кроковим двигуном, який змінює положення заслінки. Також на кресленні представлена принципова електрична схема блока живлення для розроблюваної системи.

3.4 Побудова алгоритму роботи системи

Алгоритм роботи системи керування сепарацією зерна показано на рис. 3.5. Спочатку проводиться ініціалізація системи (дія 2), що включає перевірку її працездатності. Після того, як система готова до роботи, здійснюється вибір режиму роботи (дія 3-4). Після вибору режиму відбувається очікування запуску системи за допомогою кнопки "Пуск" (дія 6, 7). Після запуску системи відкриваються заслінки до початкового положення, встановлюється початковий зазор на решеті (дія 8), а також здійснюється опитування датчиків (дія 9). На основі отриманих даних з датчиків система коригує відкриття заслінок та зазор на решеті (дія 10) і виводить інформацію про хід процесу сепарації на рідкокристалічний екран (дія 11). Далі здійснюється опитування кнопки «Стоп» (дія 12), і в разі її натискання (дія 13) система зупиняється, а на індикаторі відображається відповідна інформація (дія 14). Якщо кнопка «Стоп» не була натиснута, програма повертається до опитування датчиків (дія 9).

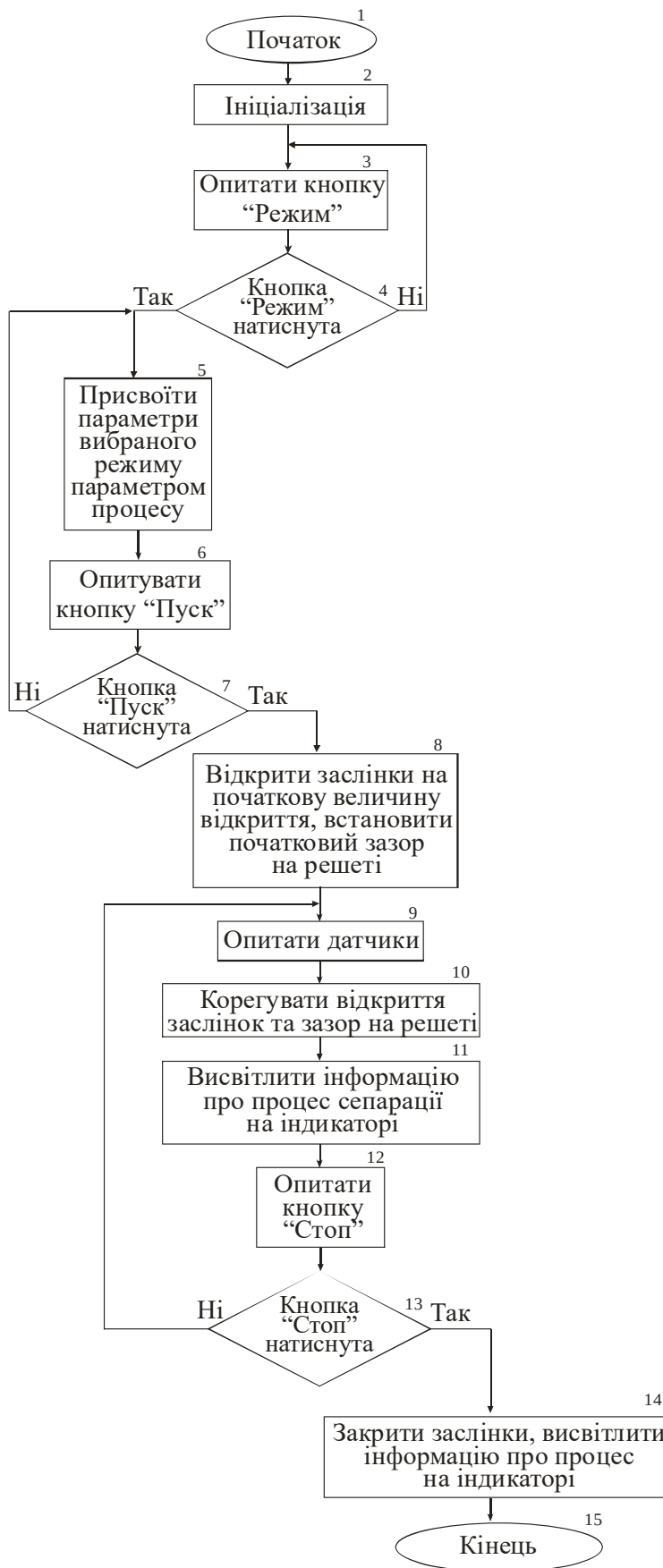


Рисунок 3.5 - Алгоритм роботи системи керування сепарацією зерна

3.5 Розробка схеми з'єднань компонентів

Схема з'єднань – це схема, яка відображає взаємозв'язки між складовими частинами автоматизованого пристрою або системи, а також показує розташування проводів, кабелів, з'єднувальних джгутів чи трубопроводів. Такі схеми використовуються для розробки проектів обладнання, що встановлюється в щитах або пультах управління. Вони зазвичай створюються на основі функціональних схем автоматизації, принципових електричних схем, схем живлення, а також загальних планів щитів та пультів, що забезпечують правильне і безпечне з'єднання всіх елементів системи.

Схеми з'єднань застосовуються під час виконання монтажних, налагоджувальних робіт на об'єкті, а також у процесі експлуатації обладнання. Вони є необхідними для правильного підключення всіх компонентів системи, а також для забезпечення коректного функціонування та швидкої ідентифікації можливих несправностей у процесі експлуатації. Крім того, схеми з'єднань використовуються для проведення планових технічних обслуговувань та ремонту.

Існують загальні правила для виконання схем з'єднань, які допомагають забезпечити їх правильне та ефективне використання:

- Схеми з'єднань розробляються для конкретного щита, пульта чи станції управління, що дозволяє точно відобразити всі з'єднання та компоненти в межах одного конкретного об'єкта.

- Всі типи апаратів, приладів та арматури, що передбачені принциповою електричною схемою, повинні бути повністю відображені в схемі з'єднань, що забезпечує правильне виконання монтажу і налаштування.

- Позиційне позначення приладів і засобів автоматизації, а також маркування ділянок ланцюгів, які були вказані в принциповій електричній схемі, повинні бути збережені і на схемі з'єднань для збереження цілісності та спрощення процесу налагодження та обслуговування.

Схема з'єднань зображена на рис. 3.6. містить ДЖ – джерело живлення; КД – кроковий двигун; ТД – тензодатчик; ПКСО – пристрій керування сепарацією зерна.

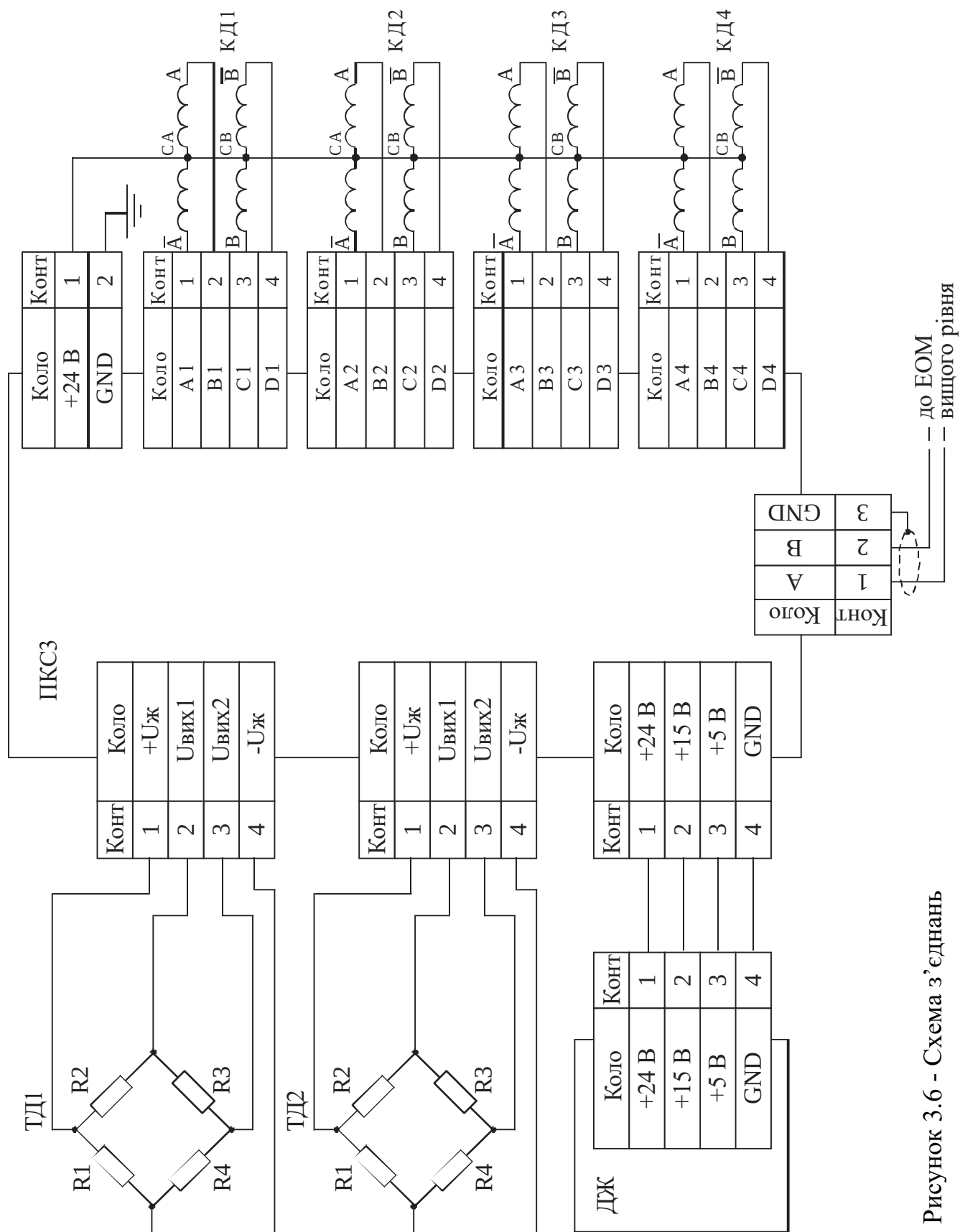


Рисунок 3.6 - Схема з'єднань

3.6 Вибір пульта керування

Пульти виконують функцію постів для контролю, управління та сигналізації в автоматизованих системах. Вони служать з'єднувальним ланцюгом між об'єктом управління та оператором, забезпечуючи ефективну взаємодію. На пультах розміщуються засоби для контролю, управління та сигналізації технологічних процесів, включаючи контрольно-вимірювальні прилади, апаратуру для керування та регулювання, а також пристрої для сигналізації та захисту. Додатково, на фасадних сторонах пультів часто розміщують мнемонічні схеми та накладні підписи, що полегшують орієнтацію оператора та забезпечують зручність у процесі моніторингу й управління.

Виконання приладів, апаратів та самих пультів, що встановлюються на пультах управління, повинно відповідати вимогам умов зовнішнього середовища виробничих приміщень. У сухих (нормальних) та вологих приміщеннях дозволяється використовувати як оперативні, так і неоперативні пульти в найбільш зручних для контролю та управління автоматизованим технологічним обладнанням місцях. Це забезпечує зручність в обслуговуванні та ефективність процесу управління, з урахуванням специфіки експлуатації в різних умовах навколишнього середовища.

У приміщеннях з підвищеною вологістю, особливо в сирих, жарких, пильних або хімічно активних середовищах, а також в зонах з підвищеною небезпекою вибуху чи пожежі, встановлення пультів не рекомендується. В таких умовах використання пультів може бути небезпечним для безпеки обладнання та персоналу. Для розміщення апаратів і приладів на пультах доцільно використовувати, зазвичай, лише робочу (верхню) поверхню пульта та передню стінку приладної приставки. Внутрішні стінки пульта краще використовувати для встановлення лише збірок зажимів, щоб забезпечити безпечне та зручне з'єднання елементів системи.

Апаратурні прилади всередині пультів слід групувати за їх призначенням: для вимірювання, управління або сигналізації. У межах кожної групи прилади необхідно сортувати за типом струму, рівнем напруги та типом апаратів. При

розміщенні приладів на пультах відстань між відкритими струмопровідними елементами різних фаз (або полярностей), а також між елементами і неізолюваними металевими частинами (наприклад, корпусами), повинна складати не менше 20 мм по поверхні ізоляції та 12 мм по повітрю для забезпечення безпеки і належної експлуатації.

Електричні проводки всередині пультів повинні бути прокладені в закритих коробках (металічних або поліхлорвінілових) або виконані у вигляді відкритих жгутів. Для проводки в пультах використовують мідні ізолювані кабелі, при цьому мінімальний переріз проводів повинен відповідати вимогам, які встановлюються для електропроводок систем автоматизації, забезпечуючи належний рівень безпеки та надійності в експлуатації.

Прилади та апарати на фасадній частині пультів повинні бути розміщені відповідно до встановлених принципів компоновки пультів автоматизованих систем. Це розташування має забезпечувати зручність і ефективність роботи оператора, а також гарантувати безпечні умови для обслуговування обладнання.

Пульт для управління системою автоматичного керування якістю сепарації зерна не стандартний, конструкція якого приведена на рис. 3.7.

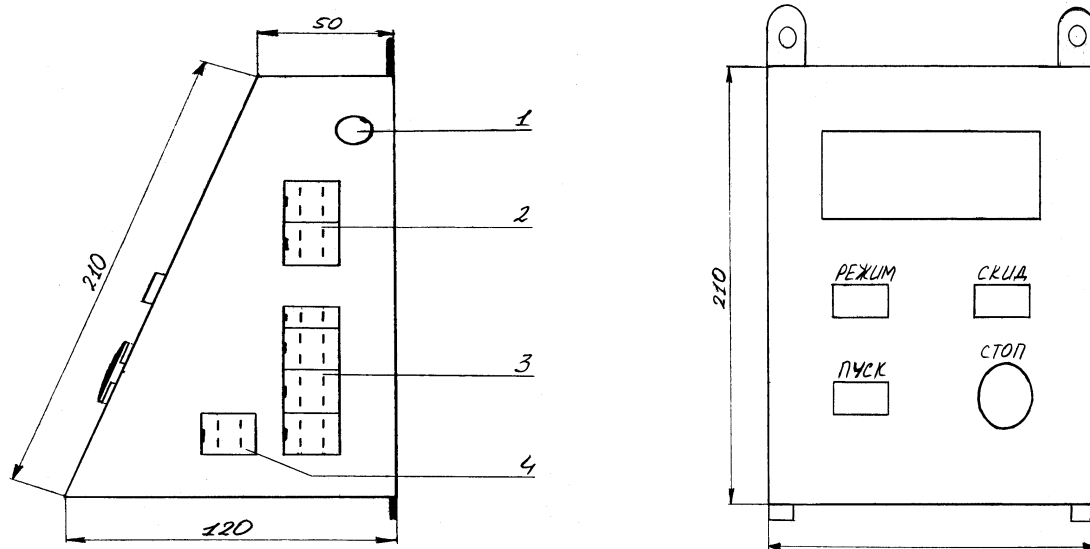


Рисунок 3.7 - Конструкція пульта управління системи керування процесом сепарації зерна:

- 1 - роз'єм для підключення до ЕОМ вищого рівня; 2 - роз'єм для підключення тензодатчиків;
- 3 - роз'єм для підключення крокових двигунів; 4 - роз'єм для підключення джерела живлення.

4 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ВИРОБУ

4.1 Моделювання процесу сепарації зерна

Для приведення зерна до необхідних посівних або споживчих кондицій, важливо відокремити його від зернового вороху, що утворюється після обмолоту в комбайнах або молотарках. Зерновий ворох є складною багатокомпонентною сумішшю, що, окрім зерна, містить значну кількість різноманітних сторонніх домішок (рис. 4.1).

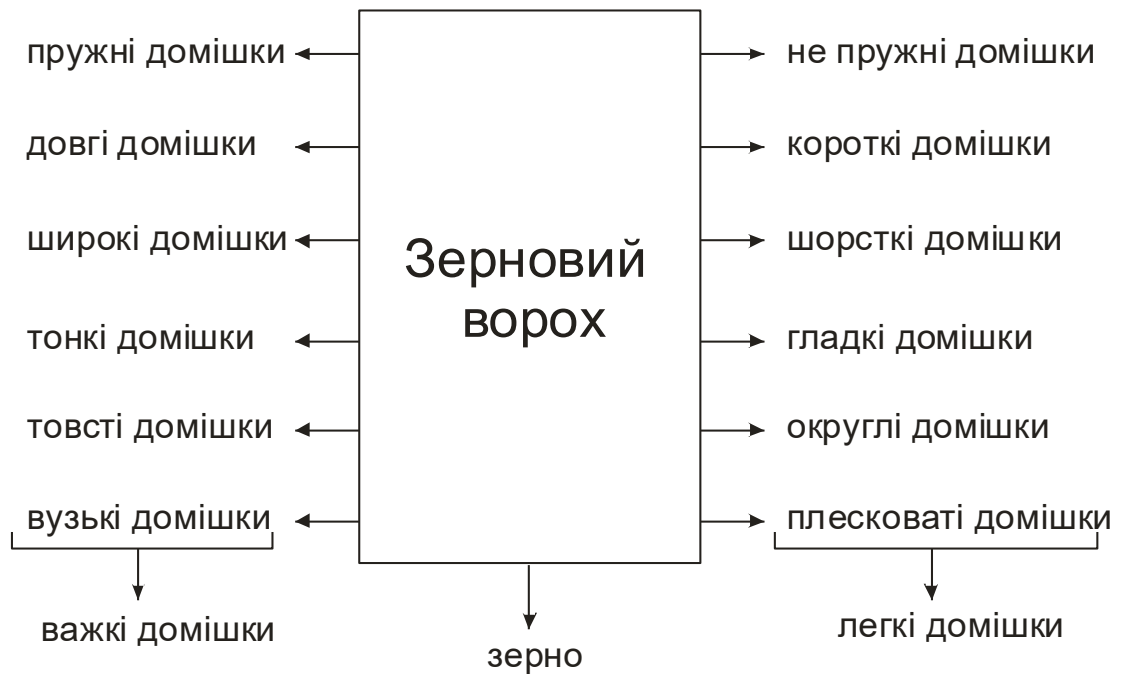


Рисунок 4.1 - Структурний склад зернового вороху

Задача первинного очищення зернового вороху полягає в ефективному відокремленні біологічно цінного зерна від сторонніх домішок за короткий проміжок часу і з мінімальними втратами. Склад і властивості вороху будуть визначатися на основі вагових часток його складових елементів.

Як показують теоретичні дослідження продуктивності сепаруючих органів (Дисертація к.т.н. Васильківського О.М.), ефективність сепарації залежить від ряду параметрів, таких як швидкість і напрямок руху частинок, їх маса і

парусність, відстань і положення датчика відносно напрямку потоку частинок, коефіцієнт сепарації, відносний вміст підсіву у воросі, розміри зерна, швидкість повітряного потоку та обертання решітного барабану. Більшість з цих параметрів є випадковими величинами, функції розподілу яких на даний момент не визначені.

Отже, єдиним можливим шляхом є проведення експериментальних досліджень характеристик датчиків. Для оцінки маси домішок, інтенсивності процесу сепарації та її продуктивності використовують показник питомої продуктивності (q) (кг·с)/м². Вихідним параметром для тензорезистивного датчика є зміна напруги (ΔU) , що визначається на виході вимірювального моста датчика. Важливим аспектом є також правильне визначення та встановлення параметрів розташування датчиків, оскільки їх положення безпосередньо впливає на точність і ефективність вимірювань.

4.1.1 Визначення зон встановлення датчиків

Для визначення оптимальних місць для встановлення чутливих елементів — датчиків, які будуть контролювати процес сепарації, необхідно провести відповідні дослідження. Для цього використовують ємність (наприклад, стакан), яку розташовують у зоні сепарації (на відстані 0,1 м) на певний час (1 хв). Під час цього експерименту відбирають частинки домішок із потоку, після чого ємність зважується на електронних вагах. Результати зважувань заносяться в таблицю (табл. 4.1). Подібні дослідження проводяться на різних відстанях в межах зони сепарації для отримання повнішої картини про розподіл частинок і вибору найбільш ефективних точок для встановлення датчиків.

Таблиця 4.1 - Експериментальні дані

L_n і L_p , м	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
μ_n , кг/м	0,9	2,2	3,9	4,2	3,5
μ_p , кг/м	4,6	3,3	2,8	1,3	0,6

По експериментальним даним будемо залежність коефіцієнтів решітної μ_r і повітряної μ_n сепарації від довжини зони сепарації L_n і L_r на рис. 4.2.

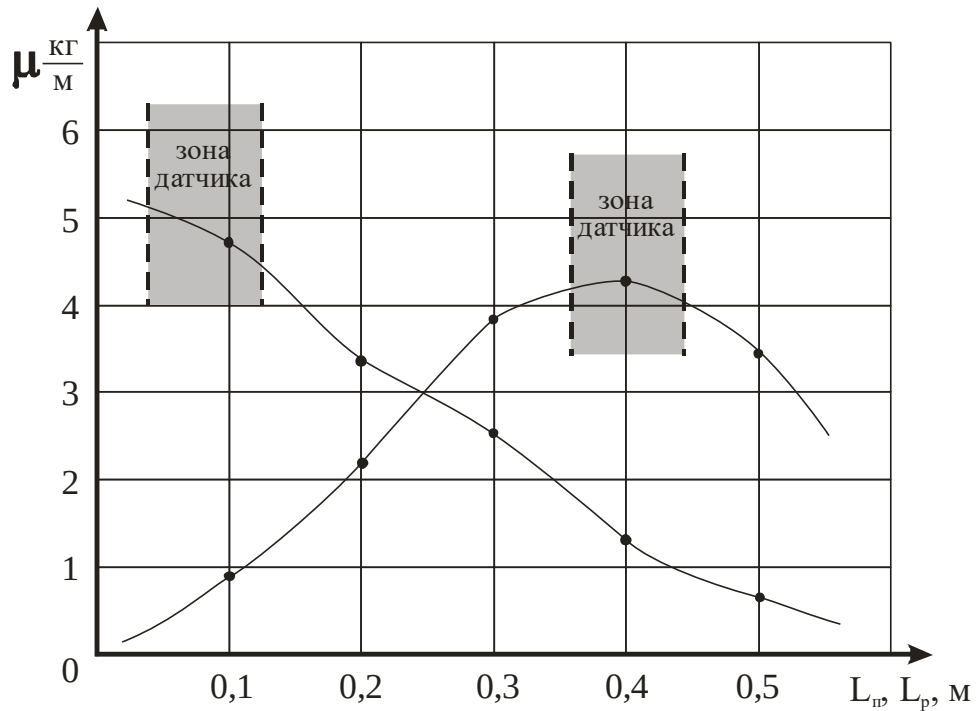


Рисунок 4.2 - Залежність коефіцієнтів повітряної μ_n і решітної μ_r сепарації від довжини зони сепарації L_n і L_r

Після проведених досліджень ми визначили зони, в яких через датчики проходять максимальні потоки легких і важких домішок. За результатами графіка, оптимальним розташуванням датчика для контролю повітряної сепарації є відстань 0,35-0,45 м від початку зони сепарації, в той час як датчик для решітної сепарації має бути розміщений на відстані 0,05-0,12 м. Це дозволяє максимально ефективно контролювати процес сепарації в різних частинах системи.

4.2 Визначення стійкості системи та показників якості

4.2.1 Дані для розробки системи

Рівняння елементів системи:

об'єкта:

$$T_0 \left(\frac{d\Theta}{dt} \right) + \Theta = k_0 \mu - k_1 f ; \quad (4.1)$$

вимірювальної схеми:

$$U_m = k_2 \Delta X ; \quad (4.2)$$

підсилювача:

$$U_y = k_3 U_m ; \quad (4.3)$$

виконавчого двигуна (з редуктором і клапаном)

$$T_1 \left(\frac{d^2 \mu}{dt^2} \right) + \frac{d\mu}{dt} = k_4 U_y . \quad (4.4)$$

Параметри:

Θ – інтенсивність руху повітряно-зернової суміші в корпусі сепаратора;
 X – поточне значення інтенсивності руху повітряно-зернової суміші після датчика; X_0 – задане значення інтенсивності; $\Delta X = X_0 - X$ – відхилення інтенсивності; U_y – напруга управління двигуном; μ – переміщення заслінки; f – еквівалентне збурююче діяння; U_m – вихідна напруга вимірювальної схеми; U_0 – напруга живлення вимірювальної схеми.

Вихідні дані:

$$\begin{aligned} T_0 &= 2,0 \text{ с}; & T_1 &= 0,050 \text{ с}; & k_0 &= 5,0 \text{ град/см}; & k_1 &= 1,2 \text{ град/см}; \\ k_2 &= 0,8 \text{ В/град}; & k_3 &= 20; & k_4 &= 0,10 \text{ см/В}\cdot\text{с}; & f &= 0,5 \text{ см} \end{aligned}$$

Вимоги до системи:

- запас стійкості за модулем не менше 15 дБ, за фазою не менше 30°;
- в процесі синтезу САР розробити систему, оптимальну за швидкодією;
- максимальне перерегулювання не повинно перевищувати 25 %.

4.2.2 Будова, принцип регулювання та принцип дії системи

Завдання системи - підтримка заданого повітряного режиму в сепараторі на певному рівні, що задається оператором, шляхом зміни положення заслінки.

Система складається з об'єкту регулювання, вимірювальної схеми, датчика, задаючого елемента, фазочутливого підсилювача, виконавчого двигуна та заслінки.

В усталеному стані, коли режим роботи сепаратора відповідає заданому, напруга на виході підсилювача дорівнює нулю, виконавчий двигун не змінює встановлене положення заслінки.

Якщо режим в сепараторі в силу якихось обставин зміниться в той чи інший бік, на виході елемента порівняння з'явиться напруга розбалансу з відповідною фазою. Ця різниця підсилюється фазочутливим підсилювачем з коефіцієнтом підсилення, необхідним для керування виконавчим двигуном, який в свою чергу поверне заслінку, і це змінить режим роботи сепаратора відповідно зі знаком напруги на вході підсилювача.

Отже, в даній схемі використаний принцип регулювання за відхиленням значення вихідної величини об'єкта від заданого його значення. Для реалізації принципу керування за відхиленням система має бути замкненою. Основною особливістю і перевагою цієї схеми є те, що система реагує на відхилення значення регульованої величини від заданого значення не залежно від того, які причин зумовили це відхилення.

4.2.3 Функціональна схема системи при дослідженні на стійкість

На основі принципової схеми системи побудовано функціональну схему системи, яка представлена на рис. 4.3.

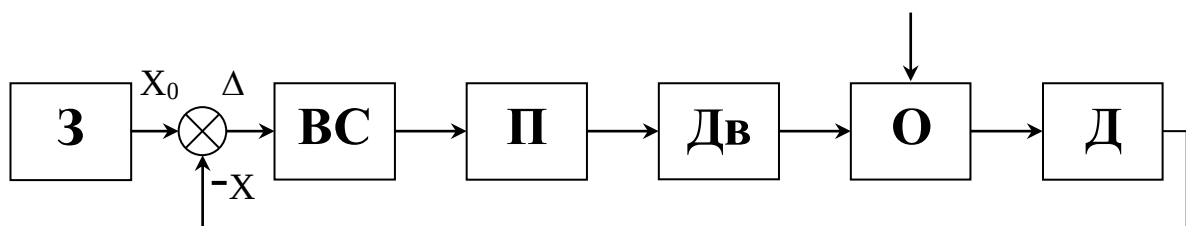


Рисунок 4.3 – Функціональна схема системи:
З – задаючий пристрій; ВС – вимірювальна схема; П – підсилювач; Д – двигун (з редуктором і клапаном); О – об'єкт регулювання; Д – датчик

4.2.4 Структурна схема системи при дослідженні на стійкість

Для отримання передаточної функції об'єкта слід прирівняти до нуля збурюючи діяння f , оскільки наша задача – передаточна функція за керуючим діянням, отже отримаємо диференціальне рівняння об'єкта в такому вигляді:

$$T_0 \left(\frac{d\Theta}{dt} \right) + \Theta = k_0 \mu \quad (4.5)$$

Для отримання передаточних функції елементів схеми застосовано пряме перетворення Лапласа:

$$T_0 \bar{\Theta} p + \bar{\Theta} = k_0 \bar{\mu}, \text{ де } p - \text{оператор Лапласа.}$$

$$W_o(p) = \frac{\bar{X}_{\text{вих}}}{\bar{X}_{\text{вх}}} = \frac{\bar{\Theta}}{\bar{\mu}} = \frac{k_0}{T_0 p + 1}. \quad (4.6)$$

Отримаємо аперіодичну динамічну ланку.

Аналогічним чином отримуємо передаточні функції інших елементів системи:

- вимірювальної схеми:

$$W_{\text{вс}}(p) = \frac{\bar{U}_m}{\Delta \bar{X}} = k_2. \quad (4.7)$$

Отримаємо підсилювальну ;

- підсилювача:

$$W_n(p) = \frac{\bar{U}_y}{\bar{U}_m} = k_3. \quad (4.8)$$

Отримаємо підсилювальну ;

- двигуна:

$$W_{\text{дв}}(p) = \frac{\bar{\mu}}{\bar{U}_y} = \frac{k_4}{p(T_1 p + 1)}. \quad (4.9)$$

Це реальна інтегруюча ланка. Стала інтегрування входить в знаменник передаточної функції, а її значення $T_i = 1/k_4 = 8,33 \text{ с}$ є великим, оскільки фізично складно виділити окремі динамічні складові агрегату, фактично будемо приймати значення $T_i = 1 \text{ с}$ і його показувати у формулі не будемо, а в чисельнику функції врахуємо безрозмірне значення $k_4 = 0,12$;

- датчика:

$$W_d(p) = 1. \quad (4.10)$$

Це повторювач.

З'єднавши типові динамічні ланки відповідно до передачі діянь, дістанемо структурну схему проектованої САР.

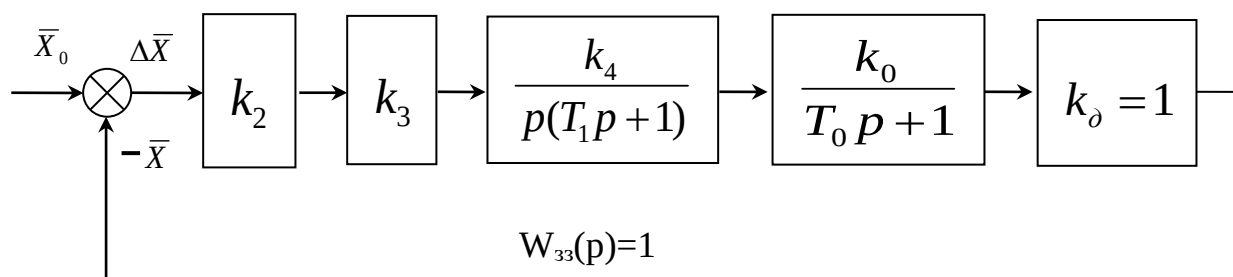


Рисунок 4.4 – Структурна схема системи

4.2.5 Визначення передаточних функцій розімкнутої та замкнутої систем та характеристичного рівняння

Елементи структурної схеми системи розташовані послідовно, тому для отримання передаточної функції розімкнутої системи потрібно перемножити передаточні функції всіх елементів:

$$W_p(p) = W_{sc}(p) \cdot W_n(p) \cdot W_{ds}(p) \cdot W_o(p) \cdot W_d(p) = \frac{k_0 k_2 k_3 k_4}{p(T_1 p + 1)(T_0 p + 1)}$$

Для спрощення запису введемо позначення: $k = k_0 k_2 k_3 k_4$

Тоді передаточна функція розімкнутої системи матиме вигляд:

$$W_p(p) = \frac{k}{p(T_1 p + 1)(T_0 p + 1)}. \quad (4.11)$$

Передаточна функція замкнутої системи, з врахуванням того, що $W_{33}(p) = 1$, розраховується за формулою

$$W_z(p) = \frac{W_p(p)}{1 + W_p(p)} = \frac{k}{p(T_1 p + 1)(T_0 p + 1) + k}. \quad (4.12)$$

Характеристичне рівняння має вигляд:

$$T_1 T_0 p^3 + (T_1 + T_0) p^2 + p + k = 0, \quad 0,1 p^3 + 2,05 p^2 + p + 8 = 0. \quad (4.13)$$

4.2.6 Побудова АФЧ, ЛАЧ та ЛФЧ характеристик розімкнутої системи

Для побудови амплітудно-фазової частотної характеристики (АФЧХ) розімкнутої системи необхідно у відповідній передаточній функції провести заміну $p = j\omega$ ($j = \sqrt{-1}$, ω – частота), виділити дійсну $P(\omega)$ і уявну $Q(\omega)$ частини та, змінюючи частоту від 0 до ∞ , відкласти відповідні значення:

$$\begin{aligned} W_p(j\omega) &= \frac{k}{j\omega(T_1 j\omega + 1)(T_0 j\omega + 1)} = \frac{k}{T_1 T_0 (j\omega)^3 + (T_1 + T_0)(j\omega)^2 + j\omega} = \\ &= \frac{k}{-jT_1 T_0 \omega^3 - (T_1 + T_0)\omega^2 + j\omega} = \frac{k}{-(T_1 + T_0)\omega^2 + j(\omega - T_1 T_0 \omega^3)} = \\ &= \frac{k(-(T_1 + T_0)\omega^2 - j(\omega - T_1 T_0 \omega^3))}{(-(T_1 + T_0)\omega^2)^2 + ((\omega - T_1 T_0 \omega^3))^2} \end{aligned}$$

Отже, підставивши значення коефіцієнтів і сталих часу, отримаємо:

$$\begin{aligned} P(\omega) &= \frac{k(-(T_1 + T_0)\omega^2)}{(-(T_1 + T_0)\omega^2)^2 + ((\omega - T_1 T_0 \omega^3))^2} = \frac{8(-(0,05 + 2)\omega^2)}{(-(0,05 + 2)\omega^2)^2 + ((\omega - 0,05 \cdot 2 \cdot \omega^3))^2}; \\ Q(\omega) &= \frac{k(-(\omega - T_1 T_0 \omega^3))}{(-(T_1 + T_0)\omega^2)^2 + ((\omega - T_1 T_0 \omega^3))^2} = \frac{8(-(\omega - 0,05 \cdot 2 \cdot \omega^3))}{(-(0,05 + 2)\omega^2)^2 + ((\omega - 0,05 \cdot 2 \cdot \omega^3))^2} \end{aligned}$$

Побудуємо графік АФЧХ розімкнутої системи (рис. 4.5).

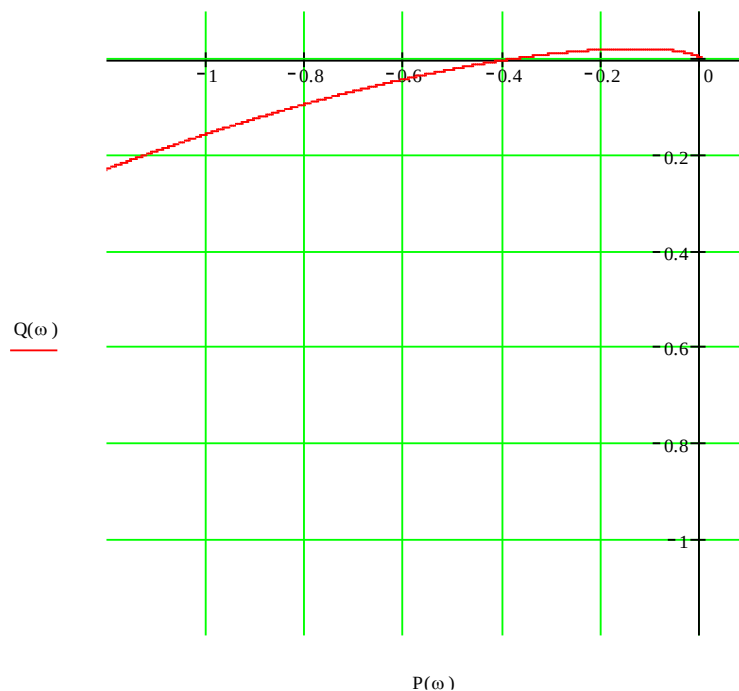


Рисунок 4.5 - АФЧХ розімкнутої системи

Для побудови ЛАЧХ (ЛАЧХ) за допомогою асимптотичного методу передусім потрібно знайти спрягаючі частоти за сталими часу динамічних ланок:

$$\omega_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{2} = 0,5 \text{ с}^{-1}, \text{ належить аперіодичній ланці};$$

$$\omega_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{0,05} = 20 \text{ с}^{-1}, \text{ належить аперіодичній ланці}.$$

Знайдені спрягаючі частоти відмічаємо на осі частот в логарифмічному масштабі. Низькочастотна асимптота ЛАЧ характеристики при $\omega < \omega_0$ являє собою пряму з нахилом -20 дБ/дек, так як система містить інтегруючу динамічну ланку. Ця пряма або її продовження при $\omega = 1$ повинна мати ординату, яка дорівнює $20 \lg k = 18,06$ дБ ($k = 8$ – коефіцієнт підсилення розімкнутої системи).

Після кожної із спрягаючих нахил характеристики $L(\omega)$ змінюється порівняно з попереднім значенням на -20 дБ/дек, так як дані частоти належать аперіодичним динамічним ланкам першого порядку. Високочастотна асимптота ЛАЧХ, тобто її частина при частотах, більших ω_1 , має нахил -60 дБ/дек.

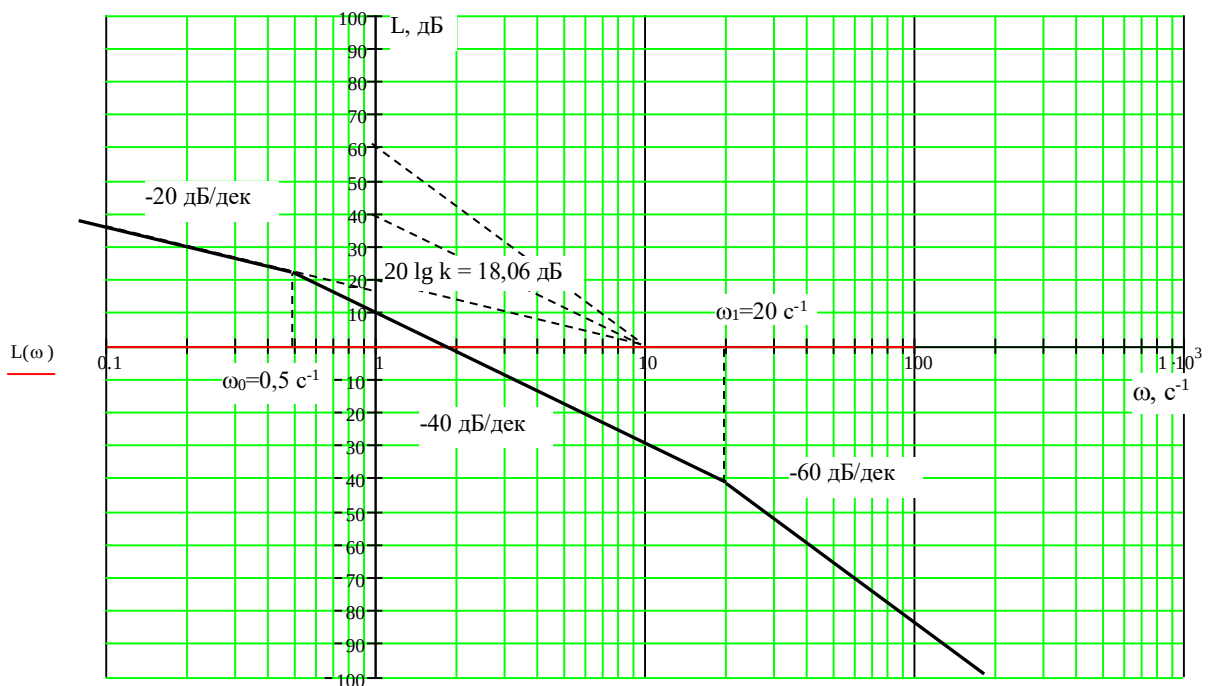


Рисунок 4.6 - ЛАЧХ розімкнутої системи $L(\omega)$

ЛФЧХ одноконтурної розімкнутої системи отримується в результаті простого складання ординат фазових характеристик типових ланок:

$$\phi(\omega) = \left(-\arctg(\omega T_0) - \left(\frac{\pi}{2} + \arctg(\omega T_1) \right) \right) \cdot \frac{180}{\pi}. \quad (4.14)$$

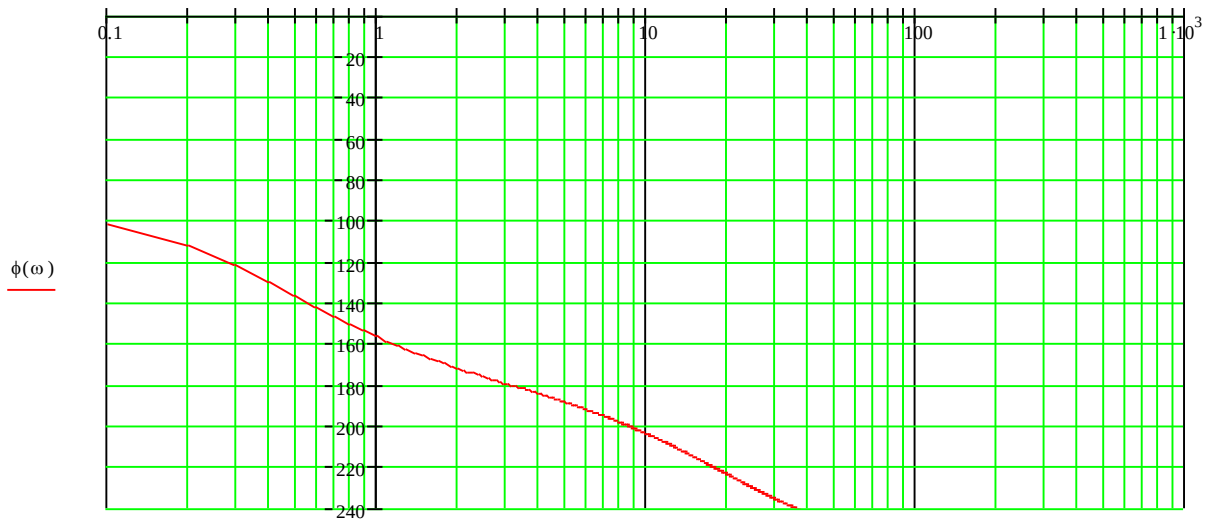


Рисунок 4.7 - ЛФЧХ розімкнутої системи

4.2.7 Побудова дійсної частотної характеристики замкнутої системи

Для цього необхідно виділити дійсну частину передаточної функції замкнутої системи, провівши заміну $p = j\omega$ ($j = \sqrt{-1}$, ω - частота), та, змінюючи частоту від 0 до ∞ , відкласти відповідні значення $P_3(\omega)$:

$$W_3(\omega) = \frac{k}{p(T_1 p + 1)(T_0 p + 1) + k} = \frac{k}{T_1 T_0 p^3 + (T_1 + T_0)p^2 + p + k};$$

Підставимо $p = j\omega$, отримаємо:

$$\begin{aligned} W_3(\omega) &= \frac{k}{T_1 T_0 (j\omega)^3 + (T_1 + T_0)(j\omega)^2 + j\omega + k} = \frac{k}{-jT_1 T_0 \omega^3 - (T_1 + T_0)\omega^2 + j\omega + k} = \\ &= \frac{k}{(k - (T_1 + T_0)\omega^2) + j(\omega - T_1 T_0 \omega^3)} = \frac{k((k - (T_1 + T_0)\omega^2) - j(\omega - T_1 T_0 \omega^3))}{(k - (T_1 + T_0)\omega^2)^2 + (\omega - T_1 T_0 \omega^3)^2} \end{aligned}$$

Виділимо дійсну частину:

$$P_3(\omega) = \frac{k(k - (T_1 + T_0)\omega^2)}{(k - (T_1 + T_0)\omega^2)^2 + (\omega - T_1 T_0 \omega^3)^2} = \frac{8(8 - (0,05 + 2)\omega^2)}{(8 - (0,05 + 2)\omega^2)^2 + (\omega - 0,05 \cdot 2 \cdot \omega^3)^2}$$

Побудуємо графік дійсної частотної характеристики замкнутої системи (рис. 4.8).

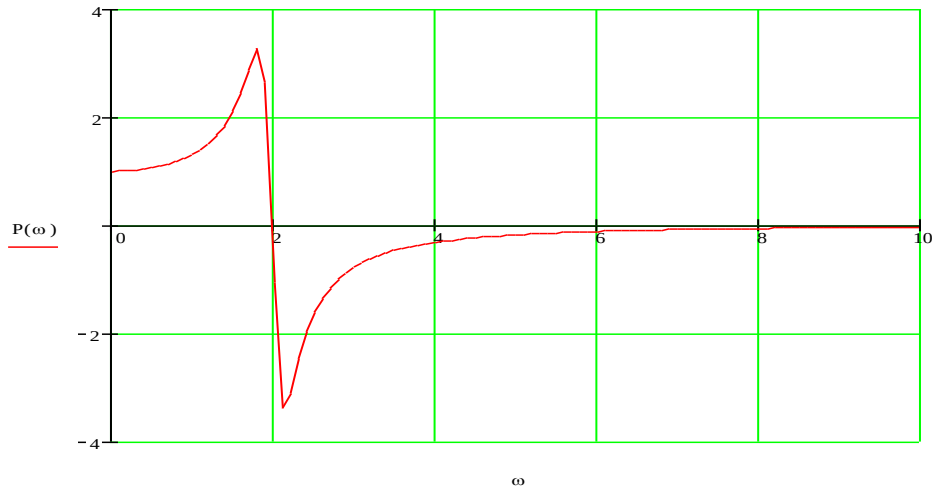


Рисунок 4.8 - Дійсна частотна характеристика замкнутої
4.2.8 Визначення стійкості замкнутої системи і запасів стійкості.

Дослідження на стійкість системи та визначення запасів стійкості за фазою і модулем за допомогою частотного критерію Найквіста-Михайлова.

За цим критерієм стійкість замкнутої системи визначають за амплітудно-фазовою частотною характеристикою стійкої розімкнутої системи (рис. 4.9). Розімкнута система стійка в тому разі, коли складається тільки із стійких динамічних ланок (має не більше однієї інтегруючої ланки). Якщо розімкнута САР є стійкою, то для стійкості замкнутої системи необхідно і достатньо, щоб АФХ розімкнутої системи не охоплювала точку з координатами $(-1, j0)$ при зміні частоти від 0 до ∞ .

Таким чином маємо: за критерієм Найквіста-Михайлова система стійка і запас стійкості за модулем $Z_M = 0,6$; за фазою – $Z_\phi = 9^\circ$.

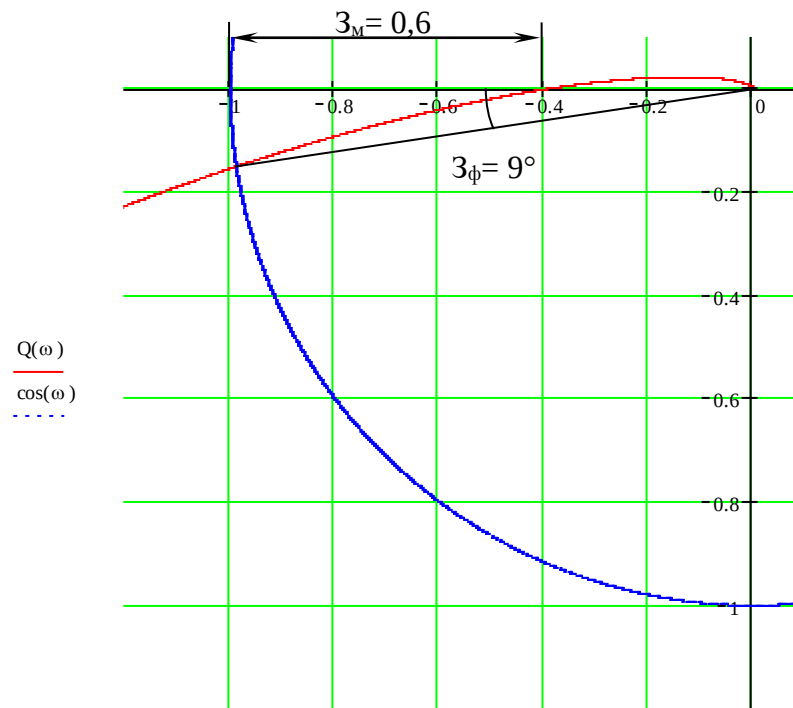


Рисунок 8 - Визначення запасів стійкості за модулем і фазою за допомогою частотного критерію Найквіста-Михайлова

4.2.9 Оцінка якості регулювання замкнутої системи по ЛАЧХ розімкнутої системи

Оцінка якості регулювання замкнутої системи полягає в визначенні запасу стійкості (по модулю і фазі), та частоти зрізу. Для визначення цих величин будуємо ЛАЧ і ЛФЧ характеристики розімкненої системи, при чому виконуємо їх взаємне розміщення (рис. 4.10).

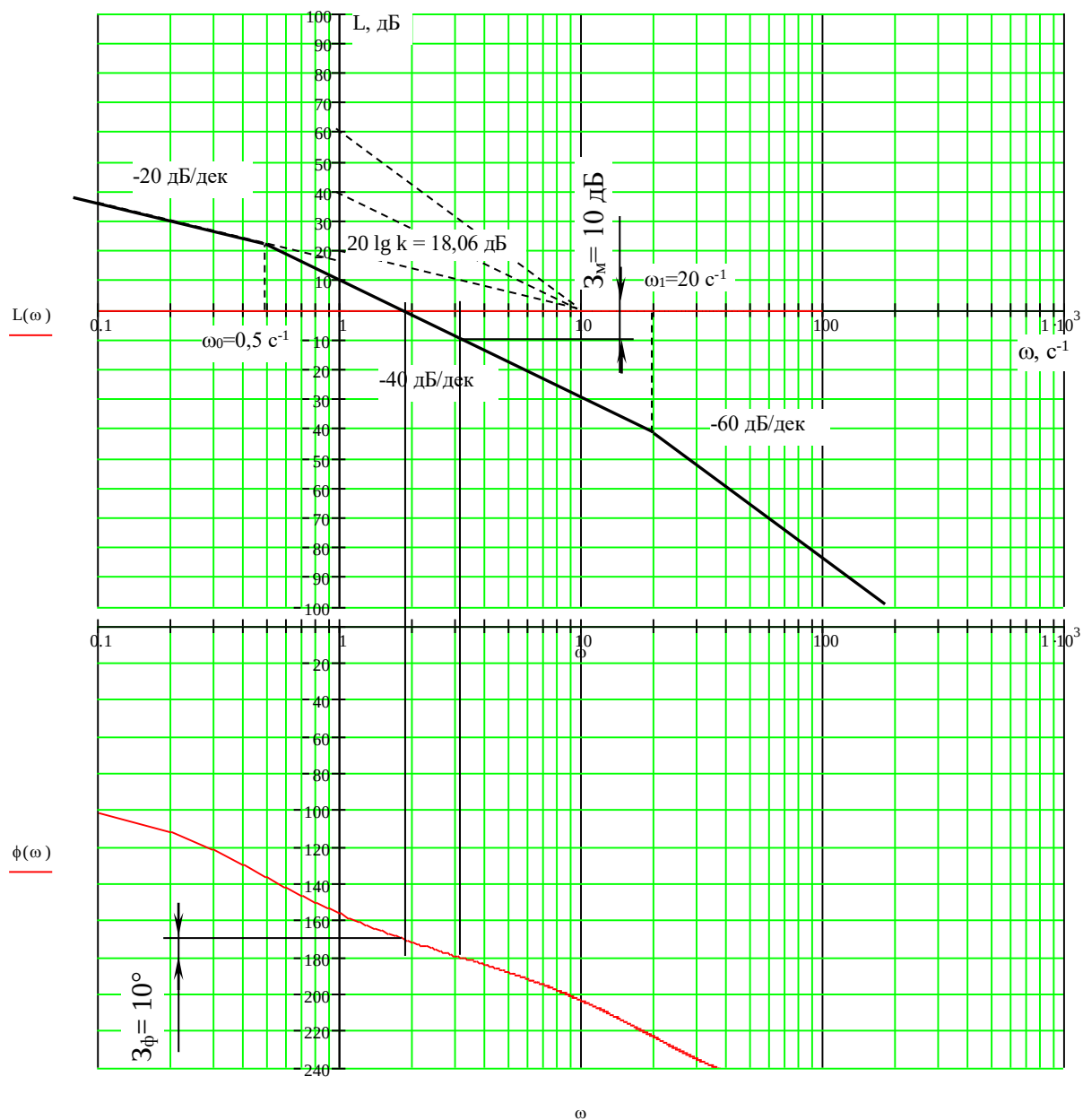


Рисунок 4.10 - Оцінка якості регулювання замкнутої САР по ЛАЧХ розімкнутої системи

З даної побудови можна визначити: частота зрізу $\omega_z = 1,8 \text{ с}^{-1}$, звідки можна визначити час регулювання, поставивши систему в жорсткі умови, $t_p = \frac{2\pi}{\omega_z} = 3,49 \text{ с}$; запас стійкості по амплітуді $z_m \approx 10 \text{ дБ}$; запас стійкості по фазі $z_\phi \approx 10^\circ$.

Дослідження системи на стійкість та визначення області стійкості за методом D-розбиття в площині одного параметра.

Побудуємо область стійкості системи в площині параметру k_3 , тому що його легко змінювати шляхом підбору коефіцієнту підсилення підсилювача:

Характеристичне рівняння має вигляд:

$$T_1 T_0 p^3 + (T_1 + T_0) p^2 + p + k_0 k_2 k_3 k_4 = 0$$

Запишемо характеристичне рівняння відносно k_3 :

$$K(p) = - \frac{(T_1 T_0 p^3 + (T_1 + T_0) p^2 + p)}{k_0 k_2 k_4}$$

Підставивши $p = j\omega$ та виділивши дійсну і уявну частини даного виразу, отримаємо:

$$K(\omega) = - \frac{(-jT_1 T_0 \omega^3 - (T_1 + T_0) \omega^2 + j\omega)}{k_0 k_2 k_4} = \frac{(T_1 + T_0) \omega^2}{k_0 k_2 k_4} + j \frac{(T_1 T_0 \omega^3 - \omega)}{k_0 k_2 k_4}$$

$$P(\omega) = \frac{(T_1 + T_0) \omega^2}{k_0 k_2 k_4}; \quad Q(\omega) = \frac{(T_1 T_0 \omega^3 - \omega)}{k_0 k_2 k_4}$$

Побудуємо криву D-розбиття в площині параметру k_3 при зміні частоти від $-\infty$ до $+\infty$

Оскільки у стійкій системі всі корені містяться ліворуч від уявної осі, при обході її від $-\infty$ до $+\infty$ ділянка стійкості також буде ліворуч від добутої кривої. Для зручності відшукування ділянки стійкості можна нанести на криву (рис. 4.11) штриховку зліва при русі від $-\infty$ до $+\infty$. З побудованої області стійкості можна визначити критичне значення коефіцієнта k_3 , яке в даному випадку дорівнює $k_{3\text{кр}} = 51$. Як видно, задане значення коефіцієнта підсилення підсилювача $k_3 = 20$ входить в зону стійкості, а значить для подальших розрахунків можна залишити задане значення цього параметра.

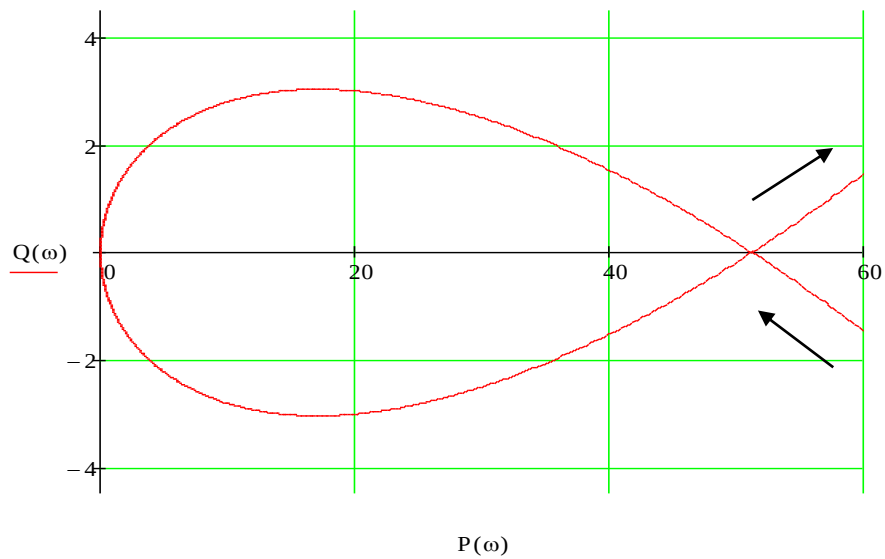


Рисунок 4.11 - D-розбиття в площині параметру k_3

4.2.10 Побудова перехідного процесу замкнутої системи

Регульована величина в часі при подачі на вхід системи одиничного ступінчастого діяння описується залежністю

$$h(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} P_3(\omega) \frac{\sin(\omega t)}{\omega} d\omega. \quad (4.15)$$

Підставляючи відповідні значення, отримаємо наступний графік (рис. 4.12), з виду якого можна зробити висновок, що перехідний процес – монотонний.

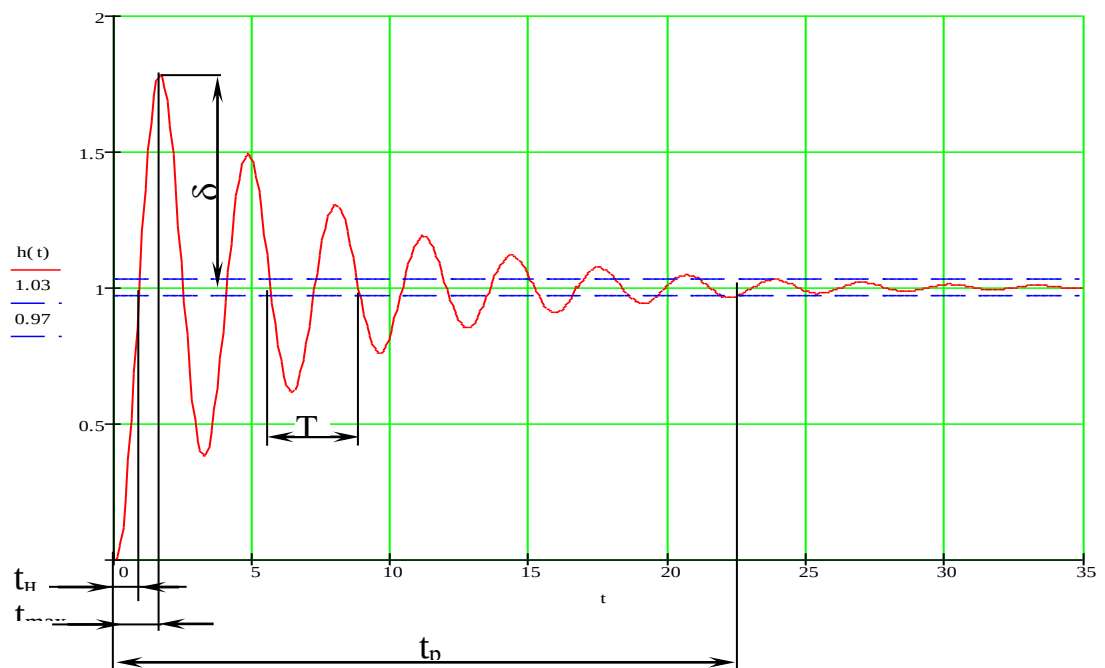


Рисунок 4.12 - Графік перехідного процесу вихідної системи

З побудованого перехідного процесу можна визначити наступні прямі показники якості САР:

- час регулювання $t_p \approx 22,5$ с – це час від початку дії вхідного діяння до входження системи в зону 2Δ , він залежить від швидкодії динамічних ланок та від їх кількості в головному контурі;
- перерегулювання $\delta = 78$ %;
- частота коливань $\varpi = \frac{2\pi}{T} = 2,09 \text{ с}^{-1}$, де $T = 3$ с – період коливань;
- кількість коливань перехідного процесу $k = 6$;
- час досягнення першого максимуму $t_{\max 1} = 1,7$ с;
- час наростання перехідного процесу $t_n = 1,01$ с – це час досягнення вихідною величиною усталеного значення;
- декремент затухання перехідного процесу характеризує затухання перехідного процесу, це відношення відхилень сусідніх коливань $d = 1,625$.

5 МОНТАЖ, НАЛАГОДЖЕННЯ СИСТЕМИ І ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

5.1 Організація монтажних робіт

5.1.1 Заходи з монтажу

Монтажні організації здійснюють монтажні роботи на об'єктах за допомогою спеціалізованих ланок та бригад, а також можуть формувати комплексні бригади, де роботи розподіляються між учасниками як у повному обсязі, так і частково. Організаційна структура монтажних підрозділів, а також спосіб їх взаємодії, значною мірою залежать від обсягу та складності виконуваних монтажних робіт.

Досвід виконання монтажних робіт свідчить про наступне. На об'єктах з невеликим обсягом виробництва (до 3000 годин) або при низькій концентрації технологічно однорідних робіт доцільно створювати комплексні бригади, де завдання розподіляються як повністю, так і частково між членами бригади. Для монтажу обладнання на об'єктах середнього масштабу з працеемністю від 3000 до 12000 годин, особливо при різноманітності типів робіт, доцільно організовувати спеціалізовані ланки (групи), де праця буде розподілена за технологічними напрямками, що дозволить підвищити ефективність і точність виконання завдань.

Монтаж обладнання та технологічних ліній на великих об'єктах сільськогосподарського виробництва, з працеемністю понад 12000 годин, повинен виконуватись спеціалізованими бригадами, де праця чітко розподіляється за технологічними операціями. Сучасні методи монтажу обладнання та систем автоматизації ґрунтуються на високому рівні індустріалізації та спеціалізації робіт, що дозволяє забезпечити ефективність процесів, скоротити час виконання та підвищити якість монтажу. Використання спеціалізованих бригад також сприяє більш чіткій організації робочих процесів та оптимізації ресурсів на таких масштабних об'єктах.

Індустріалізація монтажних робіт полягає в використанні стандартних і нормалізованих виробів, виготовлених серійно, а також у попередньому виготовленні на заготівельних підприємствах та спеціалізованих ділянках монтажних вузлів, блоків і нестандартного обладнання. Це дає змогу виконувати монтаж крупними блоками та вузлами, що сприяє механізації процесів і значно зменшує обсяг робіт, які потрібно виконувати безпосередньо на місці монтажу. Застосування індустріальних методів, а також спеціалізація монтажних робіт, дозволяють значно знизити трудомісткість та скоротити час, необхідний для монтажу обладнання та систем автоматизації.

5.1.2 Техніка безпеки при здійсненні монтажних робіт

Під час проведення монтажних робіт особлива увага повинна приділятися дотриманню правил техніки безпеки. Відповідальні за монтаж (начальник ділянки, майстер або бригадир) зобов'язані перед початком робіт, а також під час їх виконання, організувати та провести ряд заходів, спрямованих на забезпечення безпеки праці. Це включає в себе такі заходи:

- Забезпечити максимально можливу механізацію монтажних робіт, зокрема механізувати підйом та переміщення важких елементів, а також завантажувально-розвантажувальні операції;
- Використовувати методи роботи, які дозволяють мінімізувати необхідність виконання збірних і зварювальних робіт на висоті або в обмежених, важкодоступних місцях;
- Гарантувати наявність та належний стан захисних пристроїв і огорожень на робочих місцях, перевіряти справність засобів індивідуального захисту, спецодягу і спецвзуття, організувати належне освітлення робочих місць, а також забезпечити наявність необхідних санітарно-побутових приміщень і пристроїв для відпочинку.

5.2 Проведення монтажних робіт

Монтажні роботи охоплюють встановлення несучих і опорних конструкцій, а також приладів і систем автоматизації, з подальшим підключенням до них електричних мереж. До складу монтажних робіт входить установка пультів управління, електропроводок, датчиків, вимірювальних приладів, регуляторів та виконавчих механізмів, а також забезпечення їх правильної інтеграції в загальну автоматизовану систему.

5.2.1 Здійснення монтажу електричних проводок

Для монтажу електропроводок в системах автоматизації зазвичай використовуються кабелі та проводи з алюмінієвими жилами з мінімальним перерізом, відповідно до проектних вимог. Електричні проводи можуть прокладатися як відкрито, так і закрито. У разі відкритої прокладки, кабелі чи проводи укладаються безпосередньо на поверхні будівельних конструкцій, на станинах обладнання або панелях. При закритій прокладці проводка розміщується по стінах, стелях та підлогах, забезпечуючи належний рівень захисту та естетичний вигляд.

Для монтажу електропроводок в системах автоматизації використовуються різні типи проводів в залежності від умов експлуатації та вимог до ізоляції. З алюмінієвою жилою найчастіше застосовуються проводи марок АПВ (з поліхлорвініловою ізоляцією) та АПР (з гумовою ізоляцією). В свою чергу, для проводів з мідною жилою найбільш поширеними є марки ПВ (одножильний з поліхлорвініловою ізоляцією), ПГВ (одножильний, гнучкий з поліхлорвініловою ізоляцією) та ПР660 (одножильний з гумовою ізоляцією). Ці провідники вибираються з урахуванням вимог до гнучкості, міцності ізоляції та стійкості до впливу навколишнього середовища.

Кабелі класифікуються за призначенням на силові, контрольні, для сигналізації та спеціального використання. Для кожного виду кабелів встановлено

багатолітерне маркування, яке дає можливість визначити матеріал жили, конструкцію кабелю, тип ізоляції, матеріал обмотки, а також тип захисного покриття. Після буквенного позначення вказується число та переріз жил кабелю. Проводи і кабелі монтуються відповідно до проекту, використовуючи різні методи прокладання: на спеціальних кабельних конструкціях, у лотках, в кабельних коробах або в кабельних колекторах, в залежності від вимог до безпеки, зручності експлуатації та технологічних потреб.

Окрім того, кабелі можуть прокладатися в землі. Для цього на дно траншеї укладають підсипку з піску або просіяної землі завтовшки не менше 100 мм. Глибина закладання кабелю повинна бути не менше 0,7 м. Кабель прокладається з урахуванням запасу для компенсації можливих переміщень ґрунту. Після укладання кабелю, але до засипання траншеї, його приймає комісія, яка складає акт приймання. Кабельна траса обов'язково позначається розпізнавальними знаками для уникнення пошкоджень під час подальших робіт. Після завершення монтажу проводок проводиться їх огляд та випробування на відповідність технічним вимогам і нормам безпеки.

Під час зовнішнього огляду перевіряють, чи відповідає змонтована проводка проектним вимогам. Після усунення виявлених дефектів проводяться наступні випробування:

- Для електропроводок всіх видів вимірюють опір ізоляції між усіма жилами кабелю, а також між кожною жилою і металевою захисною оболонкою. Вимірювання здійснюються за допомогою мегомметра при напрузі 1000 В. Опір ізоляції повинен бути не менше 1 МОм;

- Для силових ланцюгів та ланцюгів живлення, окрім вимірювання опору ізоляції, перевіряється полярність ланцюгів;

- Для електропроводок, що прокладені в сталевих трубах у вибухонебезпечних приміщеннях, додатково до зазначених випробувань проводиться тестування трубопроводів на герметичність з'єднань та ущільнень.

5.2.2 Здійснення монтажу пультів

Пульти, що постачаються для монтажу, повинні бути заздалегідь підготовлені до встановлення та підключення зовнішніх електричних і трубопроводних з'єднань. На пультах повинні бути встановлені всі необхідні апарати, комплектуючі вироби, а також повністю змонтована електрична проводка. Крім того, мають бути встановлені конструкції для кріплення вхідних кабелів, а всі кріпильні елементи для монтажу пультів на об'єкті повинні бути підготовлені і надані разом з пультами. Це забезпечить безперешкодне та ефективне проведення монтажних робіт, зменшуючи час на підготовчі етапи.

Для приладів і апаратів, які встановлюються під час виконання монтажних робіт, на пультах повинні бути передбачені спеціальні конструктивні елементи для їхнього належного розміщення та кріплення. Після завершення монтажу проводиться перевірка відповідності виконаних робіт проектним вимогам та технічним умовам, щоб переконатися у правильності монтажу і безпеці функціонування всієї системи.

5.2.3 Здійснення монтажу приладів і засобів автоматизації

Прилади та засоби автоматизації допускаються до монтажу лише після проходження стендової повірки. Вони повинні бути супроводжені актом про стендову повірку, оформленим за встановленою формою. Під час стендової повірки перевіряються окремі характеристики та елементи приладів і засобів автоматизації, щоб виявити можливі несправності, що могли виникнути в процесі їх зберігання та транспортування. Також перевіряється цілісність електричних ланцюгів, опір ізоляції, працездатність регулюючих частин та перемикачів.

Стендову повірку приладів та засобів автоматизації здійснює замовник або спеціалізовані організації, що займаються налагодженням цих приладів і систем. Це проводиться з урахуванням вимог інструкцій Держстандарту та рекомендацій заводів-виробників приладів і засобів автоматизації.

Прилади та засоби автоматизації, що встановлюються на пультах або на технологічному обладнанні, повинні кріпитися згідно з конструктивними

вимогами самих приладів та комплектуючих, що входять до їх складу. У випадку, якщо в місці встановлення є вібрація, різьбові кріплення повинні бути оснащені спеціальними пристроями, що запобігають їх відгвинчуванню чи ослабленню.

При встановленні датчиків важливо, щоб їх чутливі елементи були розташовані в центрі маси вимірюваного середовища. Параметри установки визначаються після розміщення регулюючих органів. При монтажі датчиків необхідно забезпечити правильне взаємне розташування осей і валів, щоб уникнути їх нахилу та забезпечити коректну роботу в з'єднаному стані.

5.3 Проведення налагоджувальних робіт

Налагоджувальні роботи являють собою комплексну послідовність заходів, що включає перевірку, регулювання, налаштування, пуск та забезпечення стабільної роботи систем управління технологічними процесами в заданих умовах. Основною метою налагодження є досягнення необхідних параметрів функціонування всього комплексу змонтованих технічних засобів, що входять до складу автоматизованої системи управління технологічними процесами.

Для засобів і систем вимірювання основними характеристиками, що визначають точність і похибки вимірювань, є метрологічні показники. Для автоматичних систем регулювання основними показниками якості є максимальне динамічне відхилення, перерегулювання та час регулювання. Якість налагоджувальних робіт безпосередньо впливає на надійність роботи приладів і систем автоматизації. Включення системи здійснюється по окремих каналах технологічного контролю та вимірювання, а також по окремих контурах регулювання, після чого активується вся система. Спочатку налагоджуються схеми сигналізації, захисту та блокування. Завершальний етап, на якому налагодження систем контролю та автоматичного керування проводиться в умовах реального технологічного процесу, є найбільш відповідальним етапом усіх налагоджувальних робіт.

Висновок

У магістерській роботі розроблено систему автоматизованого керування процесом сепарації на прямоточних машинах, яка забезпечує ефективний контроль та оптимізацію роботи обладнання в реальному часі. Система включає в себе алгоритми для регулювання параметрів процесу сепарації, таких як швидкість потоку, температура, вологість та інші ключові показники, що впливають на якість кінцевого продукту. Це дозволяє зменшити людський фактор, підвищити точність управління і забезпечити стабільність виробничих параметрів, що є критичними для ефективності та економічності виробництва.

У процесі проведених досліджень були визначені оптимальні зони для встановлення датчиків, що дозволяють забезпечити точний моніторинг та контроль за процесом сепарації. Було встановлено статичні характеристики регулюючих органів, зокрема повітряної та решітної сепарації, а також визначені навантажувальні характеристики датчиків, що використовуються для вимірювання різних параметрів процесу. Окрім того, проведено аналіз статичних характеристик задатчиків якості сепарації зерна, що дає змогу коригувати параметри сепарації в заданих межах для досягнення оптимальної ефективності та якості кінцевого продукту. Ці результати є основою для подальшого вдосконалення системи автоматичного керування сепарацією.

В результаті проведених розрахунків, на основі початкових даних, було встановлено, що розроблена система автоматичного керування процесом сепарації характеризується високою стійкістю. Окрім того, були визначені запаси стійкості як за модулем, так і за фазою, що дозволяє забезпечити стабільну роботу системи в різних режимах. Також були розраховані показники якості регулювання, що підтверджують ефективність роботи системи у забезпеченні заданих параметрів процесу. Керування системою здійснюється через мікропроцесорну платформу, яка базується на мікроконтролері серії AT90S4433, що забезпечує необхідну обчислювальну потужність і гнучкість для реалізації всіх функцій автоматизації та оптимізації процесу сепарації.

Список літератури

1. «Сільське господарство та меліоративні машини». За ред. Д.Г. Войтюка, Київ, «Вища освіта», 2004. – 225 с.
2. Коваленко І.О., Коваль А.М. «Метрологія та вимірювальна техніка». Житомир, 2001. – 125 с.
3. Краснокришина А.А, Яковлев В.Б. «Электрические элементы систем управления промышленными работами». Киев. «Вища школа», 1990. – 325 с.
4. Полиненский В.К., Петренко В.Н. Электронные и электромашинные устройства автоматики. «Вища школа», Киев, 1987. – 425 с.
5. Методические указания к практическим занятиям по курсу «Автоматика и автоматизация производственных процессов». Составители В.А. Кондратец, А.Ф. Кравчук. Кировоград, КИСМ, 1983. – 125 с.
6. Мікропроцесорна техніка. За ред. Т.О. Терещенко. Київ, «Політехніка», 2004. – 205 с.
7. Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Комп'ютеризоване управління в гнучких системах», «Проектування пристроїв та систем управління». Укладачі: В.О. Версаль, С.В. Березюк. Кіровоград, 2004. – 105 с.
8. Мікропроцесори та мікроЕОМ у виробничих системах. В.М. Локазюк. Київ, «Академія», 2002. – 225 с.
9. Справочник по цифровой схемотехнике. В.И. Зубчук, В.П. Сигорский, А.Н. Шкурго. Киев, Техника, 1990. – 248 с.
10. Проектування, монтаж, налагодження та експлуатація засобів автоматики. Проектування пристроїв та систем управління. Укладачі: Версаль В.О., Зубенко В.О., Кіровоград, 2006. – 320 с.
11. Охрана труда. Кобевник В.Ф., Киев. «Вища школа», 1990. – 225 с.