

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
“ ____ ” _____ 2023 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:
«Автоматизація технологічного процесу сепарації
зерна»

«Automation of the technological process of grain
separation»

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ЕС-19
спеціальності 141 «Енергетика та автоматика
аграрного комплексу»
_____ В.О. Дятлов
« ____ » _____ 2023 р.

Керівник роботи
доц, канд.техн.наук
_____ І.А. Березюк
« ____ » _____ 2023 р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Зміст

Вступ.....	4
1 Характеристика методів і машин для сепарації зерна, як об'єктів автоматизації.....	5
1.1 Класифікація і характеристика методів сепарації.....	5
1.2 Характеристика машин і рівня автоматизації процесу сепарації.....	11
2 Обґрунтування вибору складових елементів проектного виробу.....	16
2.1 Вибір датчика.....	16
2.2 Вибір виконавчого органу.....	24
3 Опис та обґрунтування обраних проектних рішень автоматизації процесу сепарації зерна.....	32
3.1 Розробка функціональної схеми.....	32
3.2 Розробка структурної схеми.....	37
3.3 Розробка схем електричних принципових реалізації системи автоматичного управління сепарацією зерна.....	38
3.4 Побудова алгоритму роботи системи керування.....	41
3.5 Розробка схеми з'єднань.....	43
3.6 Вибір пульта управління.....	45
4 Розрахунки, що підтверджують працездатність виробу.....	47
4.1 Моделювання та дослідження процесу сепарації зерна.....	47
4.1.1 Дослідження по визначенню зон встановлення датчиків.....	48
4.2 Визначення стійкості системи та показників якості.....	49
4.2.1 Вихідні дані для розробки системи.....	49
4.2.2 Будова, принцип регулювання та принцип дії системи.....	50
4.2.3 Функціональна схема системи при дослідженні на стійкість.....	51

4.2.4 Структурна схема системи при дослідженні на стійкість.....	51
4.2.5 Визначення передаточних функцій розімкнутої та замкнутої систем та характеристичного рівняння.....	53
4.2.6 Побудова АФЧ, ЛАЧ та ЛФЧ характеристик розімкнутої системи.....	54
4.2.7 Побудова дійсної частотної характеристики замкнутої системи.....	56
4.2.8 Визначення стійкості замкнутої системи і запасів стійкості.....	56
4.2.9 Оцінка якості регулювання замкнутої системи по ЛАЧХ розімкнутої системи.....	58
4.2.10 Побудова перехідного процесу замкнутої системи.....	59
5 Монтаж, налагодження та експлуатація системи і засобів автоматизації.....	60
5.1 Організація проведення монтажних робіт.....	60
5.1.1 Організація монтажних робіт.....	60
5.1.2 Техніка безпеки при проведенні монтажних робіт.....	62
5.2 Проведення монтажних робіт.....	63
5.2.1 Монтаж електричних проводок.....	63
5.2.2 Монтаж пультів.....	65
5.2.3 Монтаж приладів і засобів автоматизації.....	65
5.3 Налагоджувальні роботи.....	67
Висновок.....	68
Список літератури.....	69

Вступ

На сучасному етапі розвитку сільськогосподарського виробництва в Україні досить важливим є забезпечення його відповідною технікою, яка могла б забезпечувати механізовану з автоматичним керуванням роботу по вирощуванню найбільш поширених зернових культур.

Одним з найбільш складних та трудомістких процесів виробництва зерна являється його післязбиральний обробіток.

Для доведення зерна до посівних або споживацьких кондицій, необхідно виділити його з зернового вороху, що отримується після обмолоту в комбайнах або молотарках. Зерновий ворох є багатокомпонентною сумішшю, і окрім зерна вміщує велику кількість сторонніх домішок.

Попереднє очищення зернових сумішей здійснюється в основному на токах господарств із застосуванням високопродуктивних, але великогабаритних, металоємких і відповідно дорогих зерноочисних машин як ЗАВ-40, які можуть забезпечити обробіток великої маси зерна і пристосовані для роботи у великих господарствах.

В той же час малий і середній бізнес в сільськогосподарському виробництві за своїми економічними можливостям та відсутності широкої мережі технічного обслуговування залишається без ефективної і мобільної техніки, що призводить до значного зниження його ефективності.

Вченими кафедри Сільськогосподарського машинобудування Кіровоградського національного технічного університету проводилися дослідження прямоочисних машин, які використовуються для фермерських господарств.

Але питання пов'язані з контролем якості сепарації та використанням автоматизованих систем управління не розглядалися. Тому актуальною залишається мета по створенню автоматизованих систем керування якістю зерноочисних машин, які можливо використовувати в невеликих агрофірмах і господарствах.

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

1.1 Класифікація і характеристика методів сепарації

Сепарація зерна – одна з операцій післяжнивної обробки зерна. Післяжнивна обробка зерна зазвичай здійснюється на елеваторах. Загальний вид типового елеватора наведено на слайді 01.00.

Зараз застосовують різні способи сортування зерна, зокрема розподіл насіння: повітряним потоком; за розмірами на трієрах; за розмірами на решетах; за щільністю і питомою вагою; за електричними властивостями; за властивостями його поверхні.

Розподіл повітряним потоком насіння ґрунтується на відмінностях аеродинамічних властивостей домішок і насіння (розмірів, парусності, маси, форми і стану) (табл. 1.1). Основним показником аеродинамічних властивостей є швидкість, при якій частинка перебуває у підвішеному стані. Важливим показником властивостей аеродинамічних є коефіцієнт парусності, він звичайно характеризує властивість частинки здійснювати певний опір повітряному потоку.

Опір, який залежить від форми, маси тіла, при відносному русі його в повітрі викликає його розміщення в повітряному середовищі. Чим більший цей опір, тим швидше воно (тіло) впаде.

Повітряний потік створюється в аспіраторах всмоктувальними або нагнітальними вентиляторами діаметрального типу або відцентрового і за напрямком може бути горизонтальний, вертикальний та похилий.

У горизонтальному або похилому повітряному потоці (рис. 1.1, а) ворох 3, який випадає з бункера, підхоплюється повітряним потоком і потрапляє у відділення важкої за вагою фракції 2, а легкі домішки – відповідно у відділення легкої фракції 1.

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 вертикальному потоці (рис. 1.1, б, в) легкі домішки потоку, який переміщується по решету 2, підхоплюється (рис. 1.1, в) або засмоктується (рис. 1.1, б) і виносяться в камеру осаджування, а зерно переміщується по поверхні решета.

Розподіл вороху відбувається тоді, коли критичні швидкості домішок і зерна, що перебувають у зваженому стані, різні.

Розподіл за розмірами насіння на решетах. Об'ємне тіло зазвичай має три розміри: товщину, ширину і довжину (рис. 1.2, а).

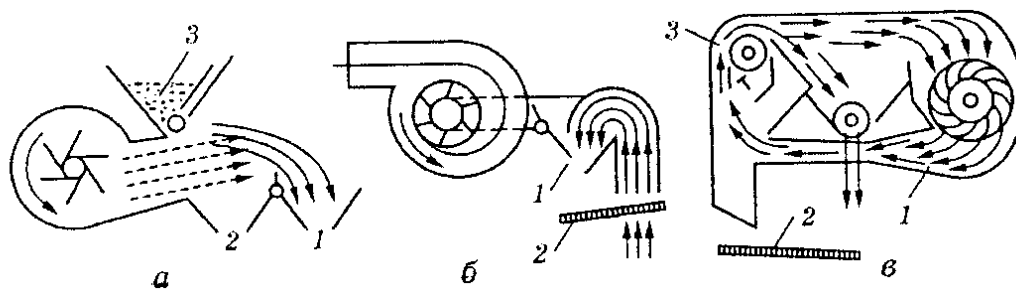


Рисунок 1.1 - Розподіл насіння повітряним потоком за аеродинамічними властивостями:

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.

За шириною і товщиною потік розділяють на плоских і циліндричних решетах. Решета плоскі можуть мати круглі (рис. 1.2, в), прямокутні (рис. 1.2, б) і трикутні (рис. 1.2, г) отвори. Решета бувають сітчасті – плетені (рис. 1.2, д), з отворами, пробитими в металевому листі, а також і тканні (рис. 1.2, е).

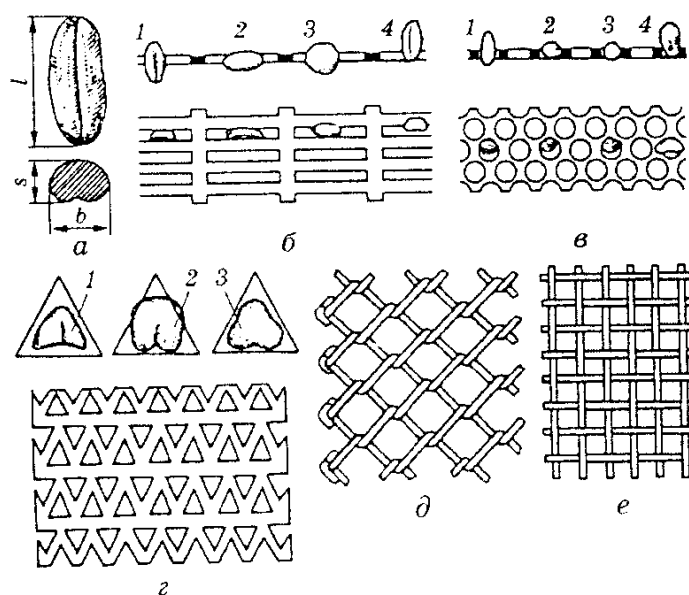


Рисунок 1.2 - Розподіл насіння на решетах за поперечним перерізом:

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) тканні решета.

Розподіл за довжиною насіння здійснюють у так званих трієрних циліндрах (рис. 1.3, а). Їх поверхня має карманоподібні комірки (рис. 1.3, б), такі комірки виготовлені фрезеруванням або штампуванням, діаметри яких більші або менші від довжини насіння. Передбачено 22 розміри комірок діаметром від 1,6 до 12,5 мм, що дає змогу очищати насіння зернових, льону, зернобобових культур, трав, а також калібрувати кукурудзу.

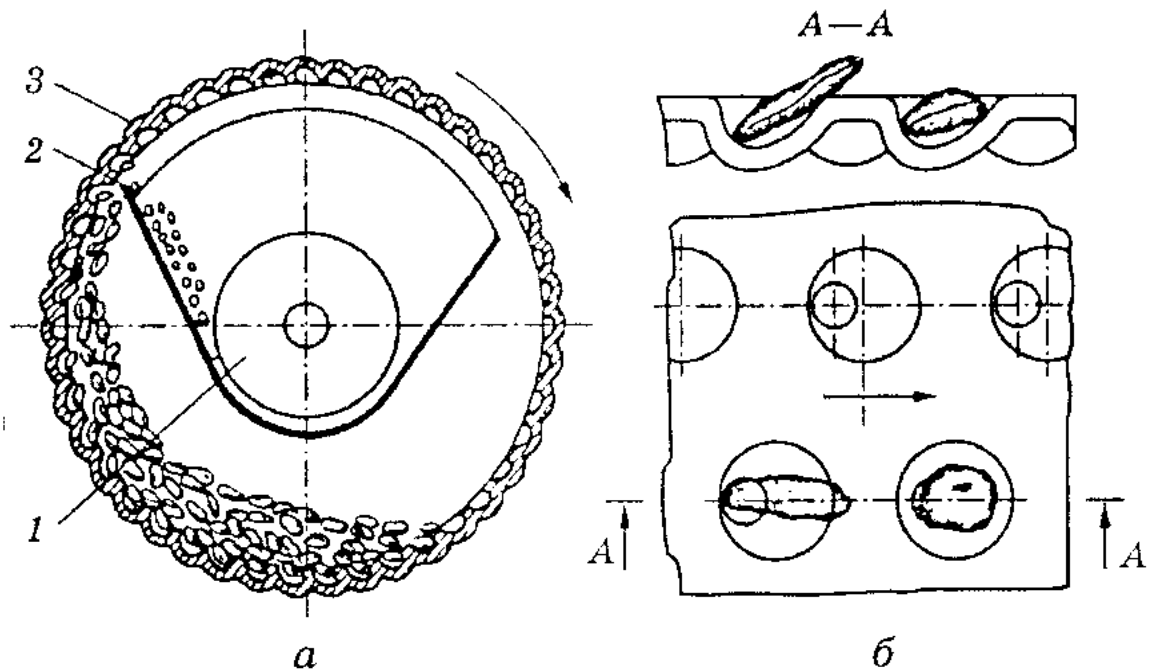


Рисунок 1.3. - Розподіл насіння на трієрах за довжиною:

а) схема трієра:

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

б) розгортка трієрного циліндра.

Трієрні циліндри поділяють на вівсюжні та кукільні. Вони працюють у парі.

Кукільний циліндр відокремлює домішки, діаметр його комірок менший в порівнянні з довжиною основного зерна.

Вівсюжний циліндр відділяє довгі домішки, діаметр комірок його більший, ніж довжина зерна.

Розподіл насіння за питомою вагою і щільністю застосовують для отримання повноцінного насіння. Виконують його мокрим і сухим способами.

Сухий спосіб реалізується пневматичним сортувальним столом і голчастим барабаном, а мокрий — у воді або в розчинах різної концентрації.

Голчастий барабан (рис. 1.4, а) виділяє із насіння пошкоджені зерна, які мають меншу щільність. На поверхні внутрішній барабана 2 у шаховому порядку закріплені голки. Барабан обертається, наколює на голки пошкоджені зерна і піднімає їх. Зверху встановлена металева щітка 1, яка знімає з голок зерна, скидає їх у лотік, звідки шнеком вони виводяться назовні.

Сортувальний стіл 5 (рис. 1.4, б) відокремлює насіння з найбільш повною зрілістю за рахунок стану поверхні, розміщення та коливань сітчастої деки і повітряного потоку, створеного вентилятором 10 і спрямованого під неї. Шар матеріалу, який надійшов на деку, продувається потоком і перебуває на ній у зваженому стані. Відбувається вертикальне розшарування матеріалу, важка знаходиться на сітчастій поверхні деки, а легка фракція піднімається вище. Зворотно-коливальний рух похилої сітчастої поверхні деки зумовлює розподіл матеріалу по поверхні стола і він за фракціями сходить з неї.

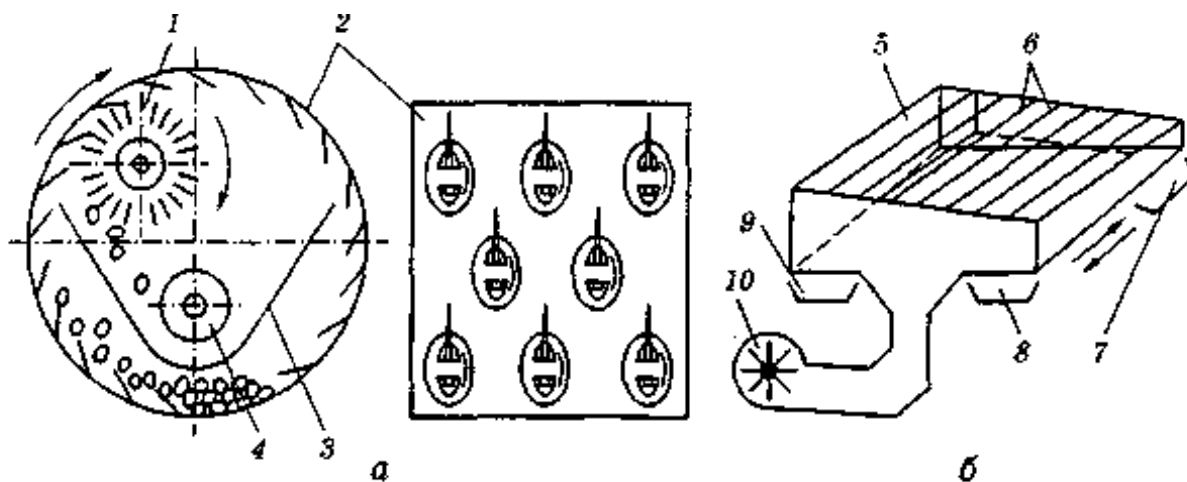


Рисунок 1.4 - Розподіл насіння за щільністю і питомою вагою:

а) голчастий барабан;

б) пневматичний сортувальний стіл;

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

Здатність розподілу характеризується так званими коефіцієнтами тертя кочення і тертя ковзання. Оскільки коефіцієнт тертя кочення менший від коефіцієнта тертя ковзання, у першому випадку розподіл ефективніший за формою, ніж за станом, а навпаки – в другому.

Для розподілу зерна застосовують сепаратори фрикційні (рис. 1.5): одно- і багатоярусні гірки з рухом поздовжнім конвеєра (рис. 1.5, а, б), лопатеві та гвинтові (рис. 1.5, г, ж); з поперечним рухом (рис. 1.5, в); фрикційні трієри, магнітні та електромагнітні барабани (рис. 1.5, д, е, є).

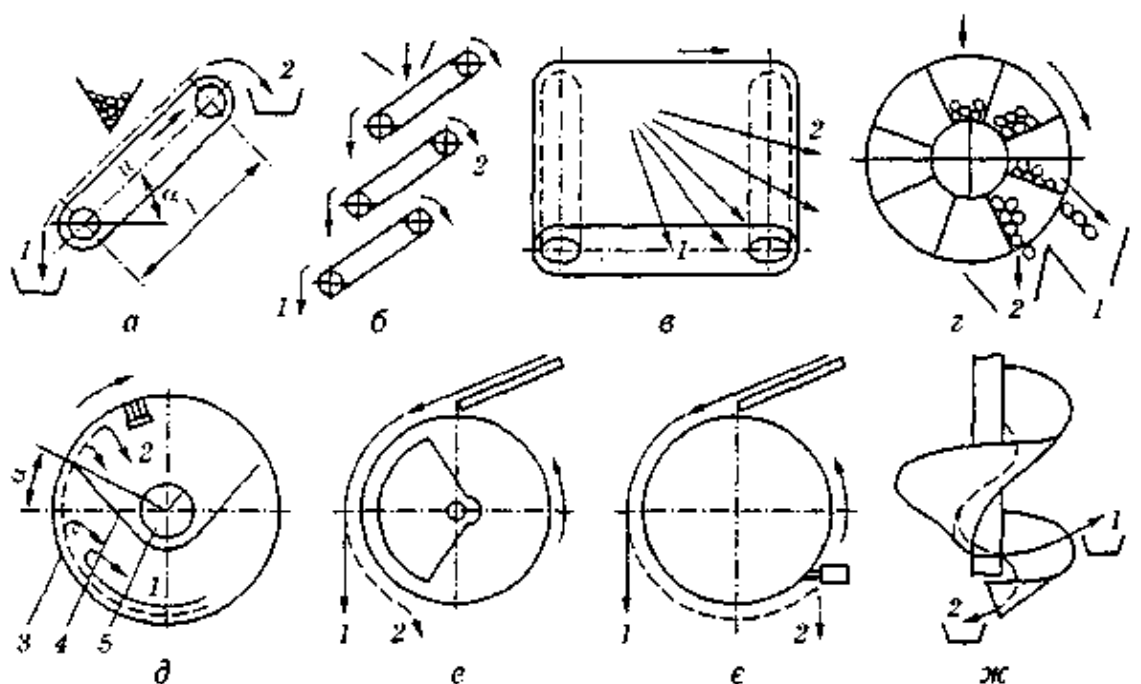


Рисунок 1.5 - Розподіл зерна за властивостями його поверхні та форми:
а) похилий поздовжній конвеєр (гірка); г) лопатевий барабан; б), ярусні гірки; в) похилий поперечний конвеєр; д) фрикційний трієр; е) електромагнітний барабан;
є) електричний барабан; ж) гвинтовий сепаратор (змійка):
1 – кругле гладеньке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

Розподіл за електричними властивостями насіння (рис. 1.6) ґрунтується на різниці діелектричної проникності, електропровідності та інших властивостей. Застосовують електростатичний, діелектричний і коронний методи розподілу. Цими методами виділяють домішки, дефектне і проросле насіння, кукіль, вівсюг та інші бур'яни.

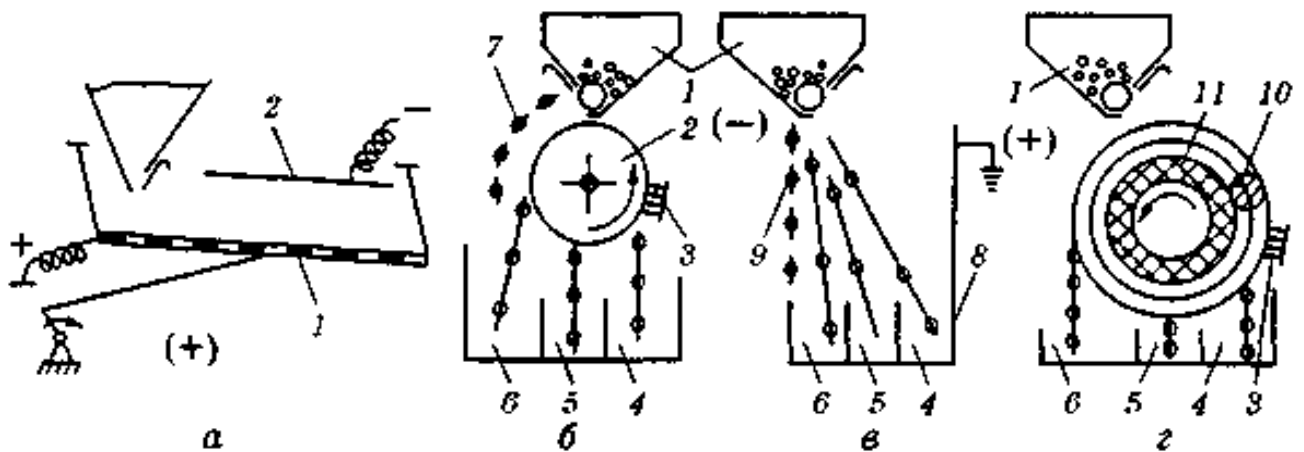


Рисунок 1.6 - Розподіл насіння за електричними властивостями:

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 рівня автоматизації процесу сепарації

Пневматична зерноочисна колонка ОПС-2 призначена для очищення зернобобових, зернових, круп'яних та інших культур від домішок за аеродинамічними властивостями. Продуктивність 2...4 т/год, маса 266 кг; потужність приводу 4,5 кВт.

Будова. Колонка ОПС-2 складається з робочого повітряного каналу перерізом 325x325 мм, відцентрованого вентилятора, осаджувальної камери, рами на чотирьох роликах, приймального бункера.

Продуктивність машини визначається подачею матеріалу на сітку. Подача залежить від величини відкриття входного вікна, яку змінюють заслінкою 2. Якість очищення визначається швидкістю потоку повітря (3...16 м/с) у каналі, яка залежить від величини відкриття вікна кожуха вентилятора, що регулюється відкриттям заслінки.

Повітряно-решітна машина ОВС-25 призначена для первинного очищення від домішок зернового вороху колосових, зернобобових, круп'яних,

кукурудзи, сорго. Очисник застосовують для навантаження і перелопачування зерна. Продуктивність агрегату становить 25 т/год при попередньому очищенні і 12 т/год – при первинному швидкість робоча – 9,5 м/год, транспортна – 221 м/год; ширина захвату живильника – 4,5 м; маса – 2000 кг; установлена потужність – 9,5 кВт.

Робочими органами є скребковий живильник, вивантажувальний конвеєр очищеного зерна, завантажувальний шнек, приймальна камера; шнек фуражних відходів, електрообладнання, яке дає змогу працювати в автоматичному і ручному режимах.

Технологічні регулювання 1. Якість очищення і оптимальна продуктивність машини залежать від подачі вороху на решета, визначається швидкістю пересування (10...240 м/с) і періодичністю зупинок.

2. Рівномірність завантаження станів решітних залежить від положення подільника приймальної камери, яке змінюють поворотом спеціального важеля.

3. Якість роботи повітряного очищення залежить від швидкості повітряного потоку у вертикальних каналах, як може бути у межах 0...14 м/с регулюється заслінкою перехідника.

4. Ефективність роботи решіт залежить від засмічування отворів, яке зазвичай усувають зміною положення щіток пристрою очищення решіт поворотом колінчастого вала і фіксують регулятором.

Повітряно-решітно-трієрна машина СМ-4А використовується для очищення і сортування насіння зернових, технічних культур, зернобобових і трав засміченістю до 10% і вологістю до 15% для попереднього очищення для отримання продовольчого насіння та зерна. Машина пересувна, ширина захвату – 3,35 м; маса машини 2000 кг; загальна встановлена потужність – 5,2 кВт; продуктивність: насіннєвого матеріалу – 4 т/год, продовольчого зерна – 6 т/год; .

Будова. Робочі органи – завантажувальний конвеєр, решітний стан з механізмом очищення решіт, повітроочисна частина, вивантажувальний двопотоковий елеватор, два трієрних циліндри.

Технологічні регулювання. 1. Оптимальна продуктивність залежить від подачі зернового матеріалу, яку встановлюють зміною притискання клапана живильного пристрою фіксацією і поворотом регулювального важеля.

2. Якість очищення системою повітряною залежить від швидкості повітряного потоку в каналах (2...10 м/с). Її змінюють регулювальними заслінками першої аспірації і другої, а також зміною частоти обертання роторів вентиляторів.

3. Якість решітного очищення залежить від підбору решіт. Їх підбирають, використовуючи решета лабораторні з прямокутними отворами 1,5...3,6 мм і круглими отворами діаметром 1,5...4,0 мм.

Трієрний блок БТ-5 використовують для очищення насіння зернобобових, зернових, круп'яних та олійних культур від довгих і коротких домішок після вторинної обробки. Продуктивність по зерну пшениці вологістю до 16% становить 5 т/год.

Будова. Блок БТ-5 складається з заднього і переднього розподільників; двох вівсюжних і двох кукільних циліндрів діаметром 600 мм, завдовжки 1500 мм та частотою обертання 30...45 об/хв., рами; електродвигуна потужністю 1,5 кВт.

Технологічні регулювання такі ж, як і регулюванням трієрного очисника насіннєочисної СМ-4А. Змінюють частоту обертання циліндрів (30...34 об/хв.), положення лотка в циліндрі, подачу матеріалу, а також циліндри замінюють на інші з розмірами комірок.

Пневматичний сортувальний стіл ПСС-25В використовують для сортування насіння за основними ознаками: розмірами та аеродинамічними властивостями, щільністю, формою. Очищений матеріал потребує попередньої обробки на трієрах машинах і решітних. Продуктивність при сортуванні пшениці і трав відповідно 2,5 і 0,5 т/год, потужність 6,6 кВт, маса 740 кг.

Будова. Основними робочими органами є вентилятор і дека, складові – рама, механізм приводу деки, механізм регулювання кутів нахилу деки, повітряна камера, витяжний зонд, приймач фракцій, вхідний фільтр.

Технологічні регулювання. 1. Подачу на деку зерна регулюють шиббером у завантажувальному лотку при вимкнених приводі деки та вентиляторі, змінюючи шар зерна на поверхні деки під завантажувальним вікном.

2. Повздовжній і поперечний і кути нахилу деки ($0...8^{\circ}$) регулюють гвинтовими механізмами, змінюючи відносно рами її положення.

3. Амплітуду коливань деки встановлюють переміщенням противаг механізму приводу деки.

4. Частота коливання деки залежить від частоти обертання ексцентрикового вала приводу, яку регулюють варіатором механізму піднімання електричного двигуна.

5. Швидкість потоку повітря регулюють на виході вентилятора заслінками за умови, що очищуваний матеріал буде у псевдокиплячому стані.

У всіх вище розглянутих зерноочисних машинах відсутня будь-яка автоматизація, контроль за якістю сепарації здійснюється візуально робітником, регулювання технологічного процесу ручне. В даній бакалаврській роботі в якості об'єкта керування розглядається зерноочисний сепаратор ИСМ-100, який є сучасним агрегатом, широко представленим на ринку, проте з тими ж недоліками, що і у вище розглянутих машин. Технологічна схема сепаратора ИСМ-100 приведена на слайді 02.00.

Спрощена схема сепаратора зображена на рис. 1.7.

Таку машину вигідно використовувати в малих господарствах. Але, і на цій машині автоматизація не використовується. Ступінь повітряного очищення продукту регулюється заслінками вручну, кількість домішок, що виносяться повітрям до приймальників легких домішок контролюється візуально крізь оглядові віконця.

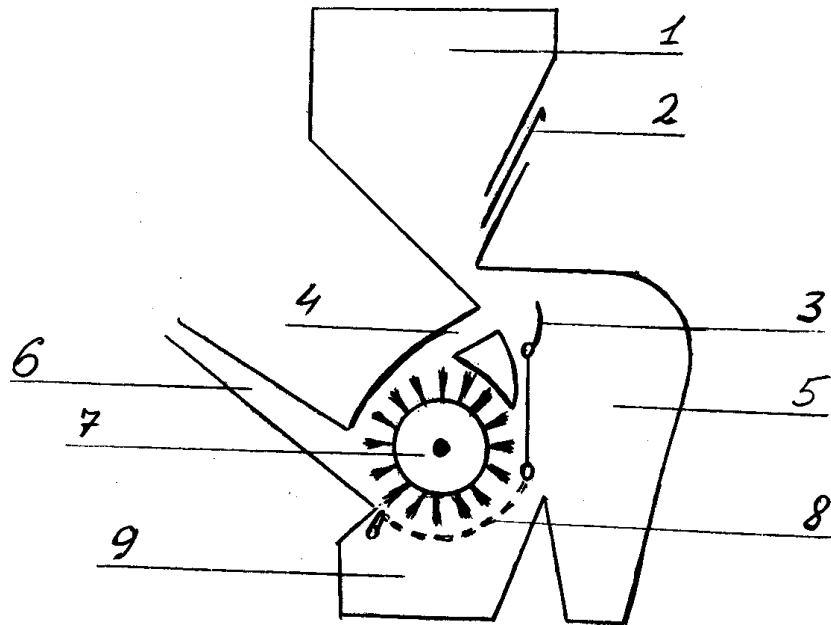


Рисунок 1.7 - Схема інерційного прямоточного сепаратора:

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-щіточний барабан; 8 – пруткове решето; 9 – приймальник важких домішок.

Таким чином задача бакалаврської роботи полягає в створенні простих автоматизованих систем контролю і керування регулюючими органами для оптимізації подачі зернового вороху, інтенсивності дії повітряного потоку на зерновий потік та регулювання інтенсивності виділення із вороху мілкої фракції зернових і інших домішок.

2 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СКЛАДОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРОЕКТОВАНОГО ВИРОБУ

2.1 Вибір датчика

По принципу роботи вимірювальні перетворювачі сил і вібрацій розділяють на генераторні і параметричні. До генераторних належать п'єзоелектричні, індукційні, фотоелектричні та інші. Вони реалізують пряме перетворення механічної енергії в електричний сигнал. Параметричні вимірювальні перетворювачі під дією механічних величин змінюють електричні параметри: опір, ємність, частоту та інше. Їх особливість полягає в тому, що вони потребують зовнішнього живлення. До параметричних перетворювачів відносять резистивні, реостатні, тензорезистивні, індуктивні та інші. З усіх видів вимірювальних перетворювачів найбільш поширеними являються п'єзоелектричні, тензорезистивні, електромагнітні і ємнісні. Розглянемо деякі з них.

Ємнісний перетворювач.

Ємнісний перетворювач представляє собою конденсатор, якого електричні параметри змінюються під дією вхідної величини.

Конденсатор складається з двох електродів, до яких підключені вивідні кінці. Простір заповнено діелектриком між електродами. При зміні взаємного положення електродів чи при зміні діелектричної проникності середовища, у міжелектродному просторі, змінюється ємність конденсатора.

Ємнісні датчики працюють на змінному струмі.

Розглянемо двухтактний ємнісний датчик з диференційним плоским конденсатором, ввімкнутим по мостовій схемі (рис. 2.1)

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 $[м^2]$;

δ – відстань між електродами $[м]$.

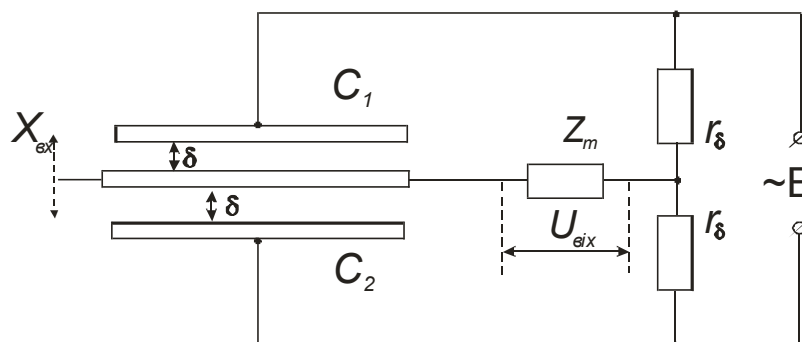


Рисунок 2.1 - Мостова схема двухтактного ємнісного датчика.

По конструктивним розрахункам ємність датчика рідко перевищує 300-500 пФ. При таких значеннях ємності отримати значну потужність на виході не можна. Для збільшення вихідної потужності застосовують узгодженість навантаження з внутрішнім опором схеми. Статичну характеристику при узгодженому навантаженні показано на рис. 2.2.

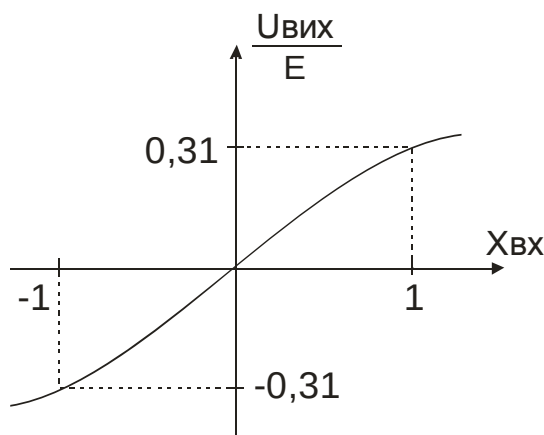


Рисунок 2.2 - Статична характеристика двухтактного ємнісного датчика при узгодженому навантаженні.

Реактивний опір навантаження вибирають рівним по величині і протилежним по знаку внутрішньому опору датчика, тобто налагоджують схему в резонанс. Але таку умову узгодження тяжко виконати при великих преміщеннях.

Ємнісні перетворювачі мають ряд переваг і недоліків, які визначають область застосування. Конструкція ємнісного датчика проста, він має розміри малі і масу. Його рухомі електроди можуть бути жорсткими, з високою власною частотою, що

дає можливість вимірювати величини швидкозмінні. Ємнісні перетворювачі можна виконувати з лінійною або нелінійною функцією перетворення. Для отримання потрібної функції перетворення достатньо змінити форму електродів. Характерною особливістю є невелика сила притягування електродів.

Недоліком ємнісних перетворювачів є їх мала ємність і високий опір, а щоб його зменшити – перетворювачі живляться напругою високої частоти. Це обумовлює ще один недолік – складність реалізації вторинних перетворювачів. Недоліком також являється вплив зовнішніх електричних полів, запиленості, температури і вологості.

Тензорезисторний перетворювач

Тензорезистор представляє собою провідник, який змінює свій опір при деформації стискання-розтягнення. При деформації провідника змінюються його довжина l і площа поперечного перерізу Q . Деформація кристалічної решітки призводить до зміни питомого опору ρ . Ці зміни приводять до зміни опору провідника.

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

Широко застосовуються: нині наклеювані дротові тензорезистори (рис. 2.3.) – це тонкий зигзагоподібний дріт 1 (тензочутливий елемент), який наклеюється на еластичну смужку (підкладку). Тензорезистори наклеюються на досліджуваний об'єкт так, щоб вони разом із ним зазнавали деформації стискання або розтягання.

Рівняння перетворювача:

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

де R – опір терморезистора [Ом];

l – довжина дроту [м];

ρ – питомий опір матеріалу [Ом·м];

μ – коефіцієнт Пуассона.

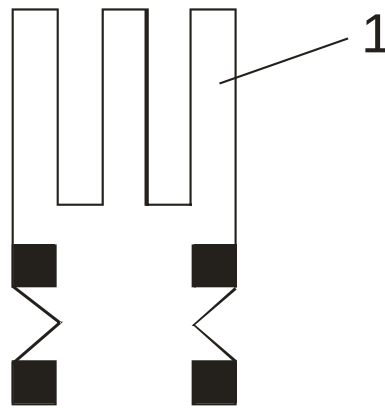


Рисунок 2.3 - Дротовий тензорезистор:
1 – тензочутливий елемент.

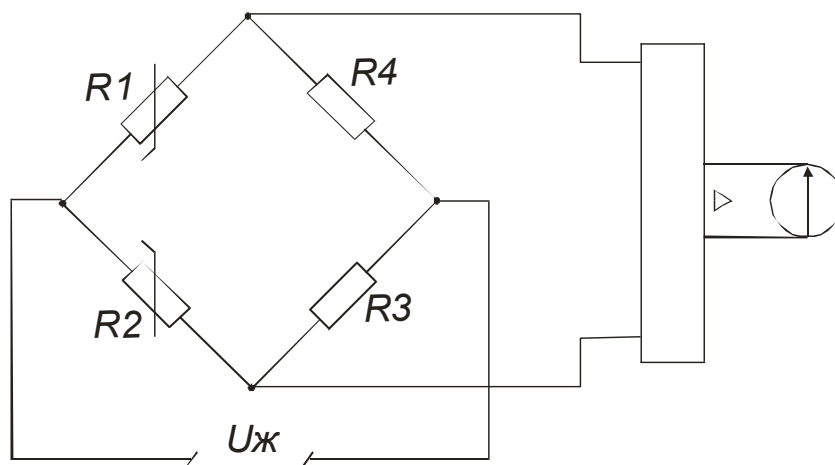


Рисунок 2.4 - Схема включення тензорезисторів.

Принципово нові можливості у розвитку тензорезисторних датчиків на основі напівпровідникових чутливих елементів відкрилися з розробкою і дослідженням структур типу «кремній на діелектрику». Із них найбільш вивчена і технологічно освоєна структура «кремній на сапфірі». Це тонка монокристалічна плівка кремнію, вирощена на монокристалічній сапфіровій підкладці з певною кристалографічною орієнтацією. Такі перетворювачі мають Дорі пружні властивості, малу похибку гістерезисну, широкий діапазон вимірювальних деформацій.

Фотоелектричний перетворювач.

Фотоелектричний перетворювач - це фотоелектронний прилад (фотоелемент), який використовується в якості перетворювача вимірювального. Є

три типи таких перетворювачів: перетворювачі з внутрішнім фотоефектом; зовнішнім фотоефектом; з фотогальванічні перетворювачі.

Найбільш широке застосування знайшли перетворювачі двох типів.

Фотоелектричні перетворювачі, що можуть використовуватись для вимірювання несвітлових величин, мають ряд певних особливостей. Відсутня механічна дія на об'єкт вимірювання, є можливість вимірювання без контакту з об'єктом вимірювання. Перетворювачі чутливі до сили світла і його кольору. Недоліком їх є велика похибка, яка визначається втомою, старінням і залежністю параметрів від температури. Внаслідок цих особливостей фотоелектричні перетворювачі застосовуються в наступних випадках:

1. Коли перетворювач працює в релейному режимі. Приклад – вимірювання частоти обертання вала, який має диск з отворами. Диск затуляє світла промінь, який падає на фотоелектричний перетворювач. Швидкість перетворюється в частоту імпульсів електричних.

2. В якості прямого перетворювача в вимірювальних приладах компенсаційного типу.

3. При вимірюванні величин несвітлових, коли проміжно величиною перетворення є величина світлова, при вимірюванні концентрації речовини в розчині, коли проміжною величиною є зміна поглинання світла певним розчином.

Схема вмикання фотоелектричних перетворювачів зображена на рис. 2.5.

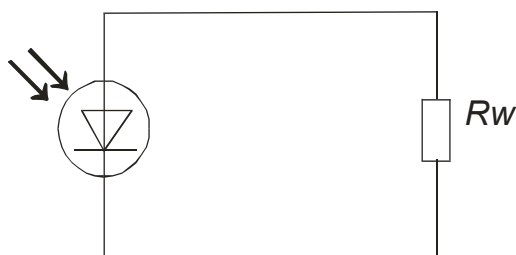


Рисунок 2.5 - Схема включення фотоелектричного перетворювача.

Фотострум, напругення на навантаженні U_n та чутливість можна визначити по вольт-амперній характеристиці, яка приведена на рис. 2.6.

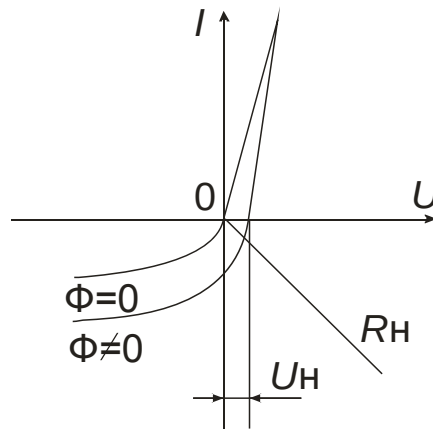


Рисунок 2.6 - ВАХ фотоелектричного перетворювача.

П'єзоелектричний перетворювач

Дія п'єзоелектричного перетворювача ґрунтується на прямому п'єзоефекті. Зазвичай він представляє собою пластинку, виготовлену з п'єзоелектричного матеріалу, на якій розташовані два ізольованих один від одного електрода.

В залежності від речовини, форми перетворювача і орієнтацій кристалічних вісей вхідною величиною можуть бути як сили, які викликають деформацію стиснення-розтягання, так і сили, які викликають деформацію зсуву.

Вихідною величиною перетворювача є напруга на електродах

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

де q – п'єзоелектричний заряд;

C – ємність, утворена електродами.

ЕРС, яка виникає на електродах перетворювача, досить значна. Але, якщо сила постійна, то виміряти ЕРС тяжко, так як заряд малий і швидко стікає через вхідний опір вольтметра. Якщо ж сила змінна, то утворюється змінна ЕРС, виміряти яку значно простіше. Якщо при цьому період зміни сили на багато менший постійного часу, яку визначає ємність перетворювача і ємність збігання заряду, то процес збігання не впливає на вихідну напругу перетворювача.

Головні переваги цих перетворювачів: малі габарити, висока надійність, простота конструкції, можливість вимірювати швидко змінювані параметри. Їх

недоліки: неможливість вимірювати статичні величини, наявність гістерезису і нелінійності.

Спрощена еквівалентна схема п'єзоелектричного перетворювача приведена на рис. 2.7.

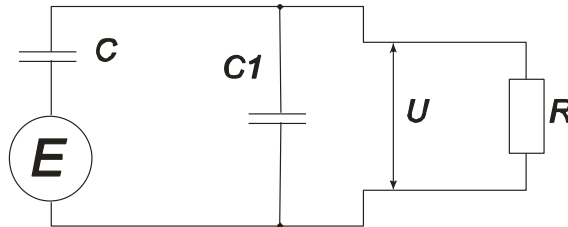


Рисунок 2.7 - Схема п'єзоелектричного перетворювача:
C – власна ємність перетворювача; C1 – сумарна ємність; R – вхідний опір підсилювача.

Залежність чутливості від частоти перетворювача показана на рис. 2.8.



Рисунок 2.8 - Графік частотної характеристики.

Враховуючи поставлену задачу вимірювати тиск багатьох частинок, які рухаються в повітряно-гравітаційному полі, незначні маси сипучих матеріалів і габарити машини найбільш доцільним буде використання тензорезисторних перетворювачів, які можуть бути проволочними, фольговими і напівпровідниковими.

Основною характеристикою таких вимірювальних перетворювачів являється тензочутливість матеріалів, із яких їх виготовляють та їх міцність і довговічність.

Так проволочні тензорезистори мають коефіцієнт тензочутливості, що розраховують по формулі:

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

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

μ – коефіцієнт Пуассона;

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

Тензочутливість тензорезисторів, які виготовляються із Константа і Ніхрома знаходиться в межах $2\div 3$.

Поряд із чутливістю важливою характеристикою тензорезистора являється статична характеристика перетворювача. В загальному вигляді характеристика перетворювача являється нелінійною функцією

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

де R_0 – початковий опір тензорезистора [Ом];

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

Перевагою фольгових тензорезисторів являється великий допустимий робочий струм, що знижує поріг чутливості.

Напівпровідникові тензорезистори мають значно підвищений коефіцієнт тензочутливості, але вони мають малу міцність і досить чутливі до зовнішніх умов експлуатації.

Пружні елементи в тензорезисторних вимірювальних перетворювачах використовують для попереднього перетворення контрольованих величин сили потоку частинок в деформацію. Чутливість пружного елемента перетворювача розраховують по формулі

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

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

X – вхідна величина (кінетична енергія потоку частинок).

Найбільш прийнятною конструктивною формою являються пружні пластини, які мають безперервну лінійну статичну характеристику без гістерезиса та післядії.

Така конструкція пружного елемента дозволяє переміщувати його по довжині відносно розташування тензорезисторів і тим самим змінювати величину

згинаючого моменту, а значить і регулювати чутливість до потоку частинок сипучої речовини.

Для перетворення величини деформації тензорезисторів і зміни їх опору в електричний сигнал найбільш широко використовують мостові вимірювальні схеми із живленням від допоміжного джерела струму.

Для контролю напруження при одновісному навантаженому стані активний тензорезистор так приклеюють на елемент конструкції в заданому перетині пружного елемента, щоб його поздовжня вісь співпадала з напрямком головної деформації. Тензорезистори для температурної компенсації наклеюють на допоміжну не навантажувальну компенсаційну пластину із того ж матеріалу, що і досліджуваний елемент.

2.2 Вибір виконавчого органу

Виконавчими двигунами називаються керовані двигуни невеликої потужності, які працюють в системах автоматики і призначені для перетворення електричного сигналу в механічне переміщення валу.

Основні вимоги які пред'являються до виконавчих двигунів: відсутність самоходу – самогальмування двигуна при знятті сигналу управління; широкий діапазон регулювання частоти обертання; лінійність регулюючих і механічних характеристик; стійкість роботи у всьому діапазоні частот обертання рухливого режиму; великий пусковий момент; мала потужність управління; швидкодія; надійність в роботі; малі габарити і маса.

Розглянемо двигуни.

Асинхронні виконавчі двигуни.

Асинхронні виконавчі двигуни – це двухфазні двигуни, які мають на статорі дві здвинуті в просторі на електричний кут 90° обмотки (збудження і управління).

Необхідний для роботи двигуна здвиг струмів обмоток в часі досягається або схемою – при живленні обмотки управління від підсилювачів, перетворювачів,

фазообертачів, або за допомогою конденсатора, який вмикається послідовно з обмоткою збудження.

Управління виконавчими двигунами здійснюється або шляхом зміни амплітуди напруги управління (амплітудний спосіб, рис. 2.9, а), або шляхом зміни його фази (фазовий спосіб, рис. 2.9, б), або шляхом одночасної зміни і амплітуди і фази напруги управління (амплітудно-фазовий спосіб, рис. 2.9, в).

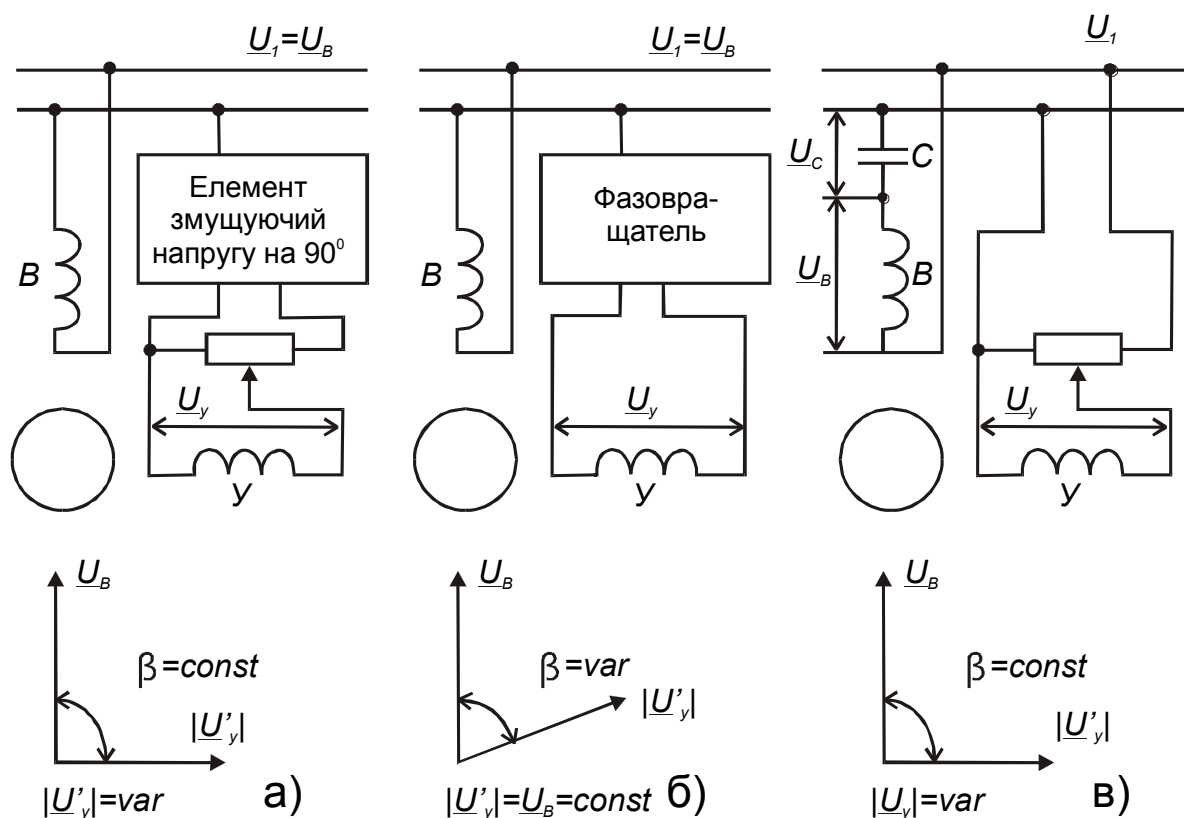


Рисунок 2.9 - Основні схеми включення асинхронних виконавчих двигунів.

Синхронні двигуни.

Особливістю синхронних двигунів, яка визначає їхні функціональні можливості і області застосування, являється постійність середньої частоти обертання при незмінних частоті і амплітуді напруги живлення і коливань моменту навантаження.

По конструкції і принципу дії синхронні двигуни діляться на: реактивні (СДР); гистерезисні (СДГ); з збудженням від постійних магнітів (СДМ); з електромагнітною редукцією частоти обертання (СДЕР).

Найкращі характеристики мають трьохфазні синхронні двигуни. Однофазні поступаються трьохфазним по корисній потужності в тих же габаритних розмірах приблизно на 30%.

Найбільш високі енергетичні показники мають СДМ. В діапазоні потужностей від 1 до 100 Вт вони мають коефіцієнт корисної дії (ККД) 30-80% і $\cos\varphi$ до 0,85. В тому ж діапазоні потужностей СДГ мають ККД 10-65% і $\cos\varphi=0,3\div0,5$. Їхній ККД 15-40% в діапазоні 10-60 Вт. Найкращі питомі показники мають СДМ. Пускові властивості СДМ та СДР характеризуються початковим пусковим моментом і моментом входу в синхронізм, який дорівнює максимальному моменту опору навантаження, при якому ротор ще втягується в синхронізм з під синхронної частоти обертання, яка складає $(0,95\div0,97) N_e$. З енергетичної точки зору найбільш вигідним являється режим роботи СДМ поблизу точки номінального моменту, оскільки це відповідає максимальному значенню ККД і допустимим перевищенням температури.

Значний вплив на характеристики синхронних двигунів здійснює зміна напруження і частоти живлення. Ці зміни в першу чергу здійснюють вплив на пускові властивості і на перевантажуючу здібність.

Двигуни постійного струму.

До позитивних властивостей двигунів постійного струму, можна віднести наступні: вони дозволяють отримувати теоретично різні частоти обертання, забезпечуючи стійку роботу в широкому діапазоні; мають лінійні механічні а при певних схемах включення і регулюючі характеристики, високий ККД; не мають саморуху; по габаритам і вазі в 2-3 рази менші за асинхронні виконавчі двигуни; володіють значним пусковим моментом і в ряді конструктивних виконань незначною постійною часу.

Головним недоліком двигунів постійного струму є наявність ковзуючих контактів – колектора і щіток, що зменшує надійність роботи, стабільність характеристик, призводить до випромінювання радіоперешкод, до необхідності періодичного догляду за двигунами та інше.

По способу збудження виконавчі двигуни постійного струму поділяються на двигуни з незалежним електромагнітним збудженням і двигуни зі збудження від постійних магнітів. У двигунах з незалежним збудженням в якості обмотки управління використовуються або обмотка якоря – двигуни з якорним управлінням (рис. 2.10, а), або обмотка полюсів – двигуни з полюсним управлінням (рис. 2.10, б). У двигунах, які збуджуються постійними магнітами, обмотка збудження відсутня, тому вони завжди працюють при якірному управлінні.

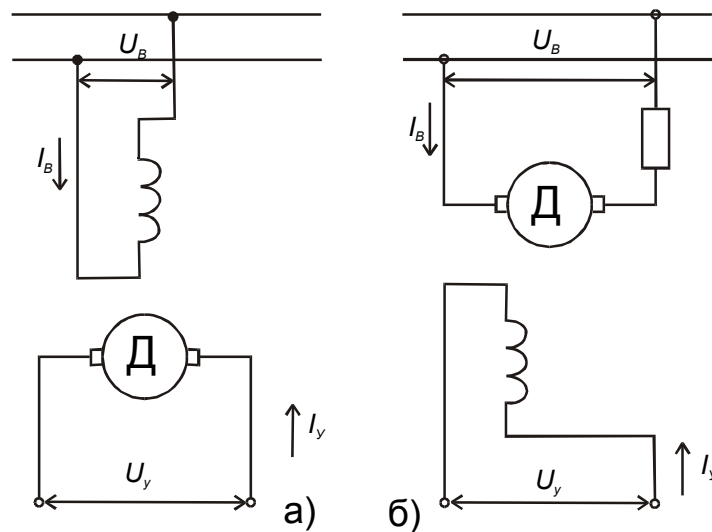


Рисунок 2.10 - Схеми вмикання виконавчих двигунів постійного струму при якорному (а) та полюсному (б) способах управління.

Двигуни постійного струму в залежності від способу їх збудження мають різну жорсткість механічної характеристики. Двигуни з послідовним збудженням забезпечують найменшу стабільність частоти обертання, так як вони мають м'яку механічну характеристику. Двигуни з паралельним збудженням і з збудженням від постійних магнітів внаслідок підвищеної жорсткості механічної характеристики мають більш-менш стабільну частоту обертання, а з застосуванням спеціальних пристроїв – регуляторів швидкості досягається стабільність частоти обертання від 5 до 0,5% і вище. Практичні границі регулювання частоти обертання двигунів постійного струму складають від 1:5 до 1:20.

Безконтактні двигуни постійного струму.

Безконтактні електродвигуни постійного струму представляють собою електричні машини зі збудженням від постійних магнітів, які мають датчик кутового положення ротора і напівпровідниковий комутатор.

Структурна схема безконтактного двигуна постійного струму зображена на рис. 2.11.

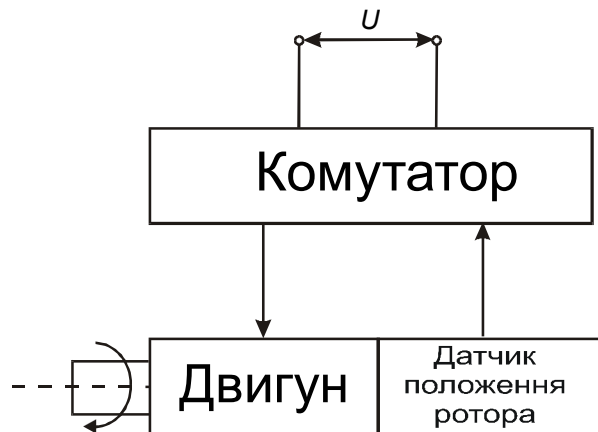


Рисунок 2.11 - Структурна схема безконтактного двигуна постійного струму.

Безконтактні двигуни постійного струму мають такі важливі функціональні властивості, як довготривале напрацювання (до 30000 год), висока надійність запуску після довготривалого перебування в неробочому стані, придатність для роботи в вибухо- і пожежонебезпечних середовищах, робото здатність при низьких тисках навколишнього середовища.

Безконтактні двигуни випускаються сумісного виконання (двигун і комутатор об'єднані в одному корпусі) і роздільного виконання (двигун і комутатор виконані в окремих корпусах, які з'єднані кабелем).

Сфера використання безконтактних двигунів визначила утворення двох конструктивних різновидів: безконтактні двигуни звичайного виконання; безконтактні двигуни герметичного виконання, в яких ротор і статор розділені герметичною металевою гільзою.

Двигуни герметичного виконання застосовуються для приводів насосів і допускають безпосередній контакт своєї поверхні зі сторони вала з робочою рідиною без застосування в двигуні додаткових ущільнень.

По функціональному призначенню безконтактні двигуни поділяються на силові, керуючі та зі стабілізацією частоти обертання.

Для регулювання частоти обертання в двигунах застосовуються в основному методи широтно-імпульсної модуляції напруження живлення через малопотужні ланцюги комутатора. Цей метод реалізується на основі розімкнутих і замкнутих систем управління частотою обертання.

Розімкнуті системи найбільш прості, але не забезпечують жорсткої механічної характеристики (рис. 2.12, а). замкнуті системи управління мають від'ємний зворотній зв'язок по частоті обертання і володіють більш-менш жорсткими механічними характеристиками (рис. 2.12, б), такі системи дозволяють отримати точність стабілізації частоти обертання безконтактних двигунів постійного струму до 0,5-1%.

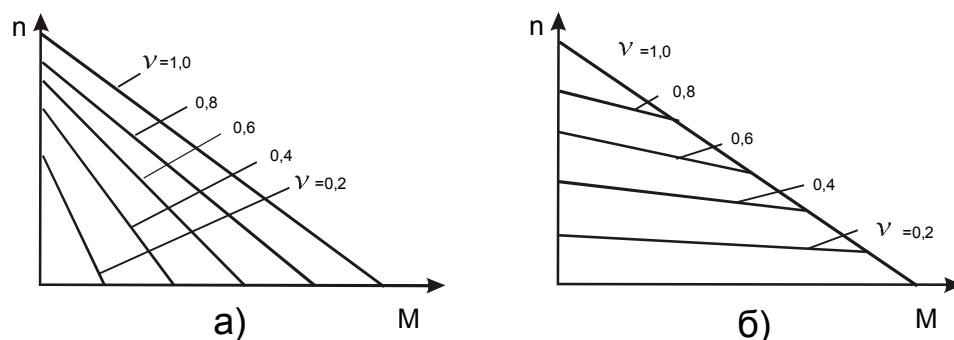


Рисунок 2.12 - Механічні характеристики безконтактних двигунів постійного струму з розімкнутою (а) та зімкнутою системами регулювання.

Крокові двигуни.

В схемах автоматики в справжній час поруч з автоматичними системами неперервної дії, які здійснюються за допомогою вище розглянутих двигунів, широко застосовуються системи дискретної (імпульсної) дії. Такі системи здійснюються за допомогою спеціальних виконавчих двигунів, які отримали назву крокові. Крокові двигуни – це електромеханічні пристрої, які перетворюють

електричні імпульси напруги управління в дискретні (стрибкоподібні) кутові чи лінійні переміщення ротора з можливою його фіксацією в потрібних положеннях. Частота обертання і сумарний кут повороту вала крокового двигуна пропорційні відповідно частоті і числу поданих імпульсів управління. При відсутності управляючих імпульсів двигун знаходиться в режимі фіксованої зупинки і зберігає кінцеві результати попередніх переміщень.

По конструкції і принципу роботи крокові двигуни поділяються на двигуни механічного і електромашинного типу. Переваги мають двигуни електромашинного типу з активним і пасивним роторами, в останній час з'явилися також двигуни з гнучким ротором (хвильові двигуни). Двигуни з активним ротором (з постійними магнітами на роторі) володіють відносно великим моментом, високою швидкістю (до 5000 об/хв). Розповсюдження отримали чотирьохфазні і трьохфазні двигуни з активним ротором. Ці двигуни можуть виконуватись з фіксованим моментом при знеструмлених обмотках. Особливістю цих двигунів являються відносно великі значення кроку (15° й більше) і порівняно невисока приємність (500 кроків/с).

Двигуни з пасивним ротором (індукторні та реактивні) дозволяють отримувати підвищену приємність (1000 кроків/с і більше) і малі значення кроку (до 1°). Фіксація пасивного ротора при знеструмлених обмотках потребує окремого фіксуючого пристрою.

Хвильові двигуни представляють собою конструктивне ціле синхронного реактивного двигуна і хвильової зубцевої передачі, причому гнучкий елемент передачі одночасно являється ротором двигуна. Функціональними особливостями хвильових двигунів являються можливість отримання малих кроків (менше 1°), підвищена приємність (2000 кроків/с і більше); значні моменти на валу; можливість роботи на великих інерційних навантаженнях, малі об'єм і маса на одиницю моменту.

Для живлення крокових двигунів застосовуються спеціальні блоки управління, які забезпечують перетворення унітарної послідовності імпульсів в т-фазну систему напружень, живлячих обмотки двигуна через підсилювачі

потужності. Параметри блока управління визначаються числом обмоток, споживаним струмом і порядком комутації обмоток. Технічний рівень блоку управління визначається в основному застосованою в них елементною базою.

Основними характеристиками крокових двигунів являються гранична динамічна і гранична механічна характеристики (рис. 2.13.), які виражають залежність між приємистою і обертовим моментом двигуна.

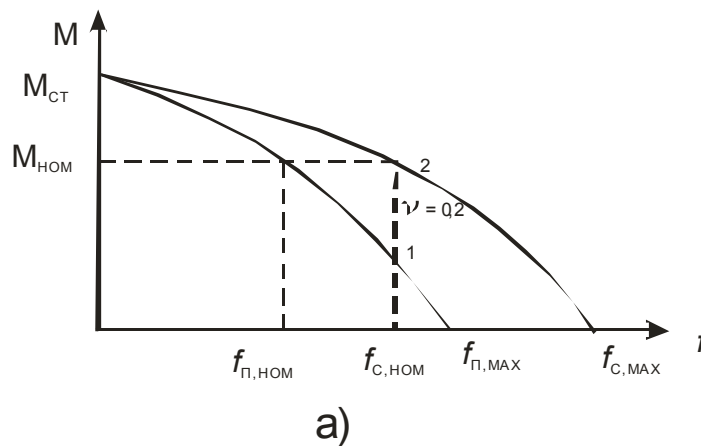


Рисунок 2.13 - Граничні динамічна (1) і механічна (2) характеристики крокових двигунів.

Виходячи з того, що нам потрібен малий крутячий момент для регулюючого органу, вибираємо крокові двигуни. Вони дозволяють без зворотного зв'язку обертати регулюючий орган на додану величину формуючи кількість імпульсів, що подається на двигун.

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

Технічні дані:

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

3 ОПИС ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНИХ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ СЕПАРАЦІЇ ЗЕРНА

3.1 Розробка функціональної схеми

Технологічне обладнання на функціональних схемах автоматизації зображуються спрощено без урахування масштабу, але в той же час з урахуванням дійсної конфігурації.

Крім технологічного обладнання, на функціональних схемах автоматизації спрощено (дволінійне) і умовно (однолінійне) зображують трубопроводи різного призначення. Зображення транспортованого середовища може бути як шифрованим, так і літерно-цифровим. Перша цифра або буква вказує вид середовища що транспортується, а наступна - цифра її призначення. Цифрові або літерно-цифрові позначення представляють на полицях ліній-зносок або над лінією трубопроводу, а у необхідних випадках – в розривах ліній трубопроводу (при цьому прийняті позначення пояснюють на кресленнях або у текстових документах).

Прилади і засоби автоматизації, що перетворюють сигнали або виконують над цими сигналами різні обчислювальні функції, позначають літерою У, що стоїть на другому місці. Для розшифрування виду перетворення або обчислювальної функції застосовують додаткове літерне позначення і математичні символи, які наносять справа від графічного зображення приладу.

Функціональні схеми можна виконувати як спрощеним способом, так і розгорненим. У першому випадку на схемах не показують вимірювальні перетворювачі і всю допоміжну апаратуру. Прилади і засоби що здійснюють складні функції і виконані у вигляді окремих блоків, зображають одним умовним графічним позначенням. Розгорнений спосіб застосовують у тому випадку, коли необхідно конкретизувати функцію кожного приладу і засобу автоматизації, що входить в єдиний вимірювальний регулюючий або такий, що управляє комплект.

Якщо функціональні схеми автоматизації складні, то лінії зв'язку допускається розривати. При цьому обидва кінці ліній в місцях розриву нумерують однією і тією ж арабською цифрою. Для нижнього ряду (з боку щитових приладів) номери повинні слідувати в зростаючому порядку зліва направо; для верхнього ряду подібна умова не є обов'язковою.

Під час розробки функціональної схеми необхідно вирішити наступні питання:

- визначити оптимальний об'єм технологічного процесу;
- встановити технологічні параметри, які підлягають автоматичному контролю та регулюванню, уточнення меж, їх змін та вибір методів виміру цих параметрів з метою наступного вибору технічних засобів;
- визначити технологічні обладнання, які управляються автоматично або дистанційно;
- вибрати основні технічні засоби автоматики, які найбільше відповідають вимогам і умовам експлуатації об'єкта, що автоматизується;
- розмістити прилади та апаратуру на щитах, пультах, диспетчерських пунктах та визначити способи подання оператору необхідної інформації про хід технологічного процесу.

Результатом розробки повинно бути:

- вибір методів вимірювання технічних параметрів;
- вибір основних технічних засобів автоматизації, що найбільш повно відповідають висунутим вимогам та умовам технологічного процесу, що автоматизується.

Функціональна схема автоматизації технологічного процесу сепарації зерна з умовним зображенням пульта управління приведена на рис. 3.1.

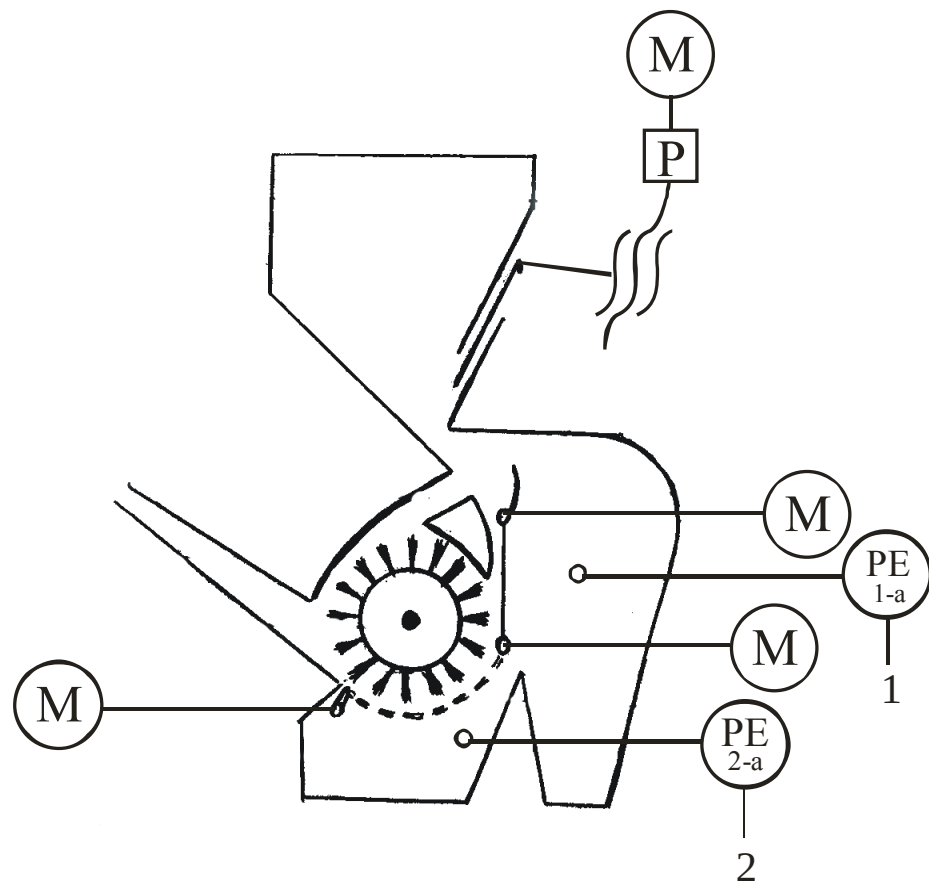


Рисунок 3.1 - Функціональна схема автоматизації технологічного процесу сепарації зерна з умовним зображенням пульта управління



датчик сили, встановлений на місці

Розглянемо структуру динаміки потоку зернового вороху (рис. 3.2), що дізнатися як змінюється склад вороху при його сепарації.

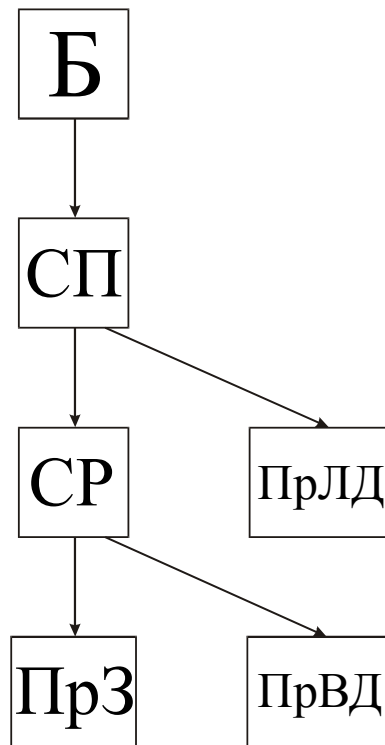


Рисунок 3.2 - Структура динаміки потоку зернового вороху

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 на рис. 3.3, де введено наступні 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; БУ2 – блок управління заслінкою; БУБ – блок управління бункером; ПУ1, ПУ2 – програмне управління; БЛА – блок логічного аналізу.

3.2 Розробка структурної схеми

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

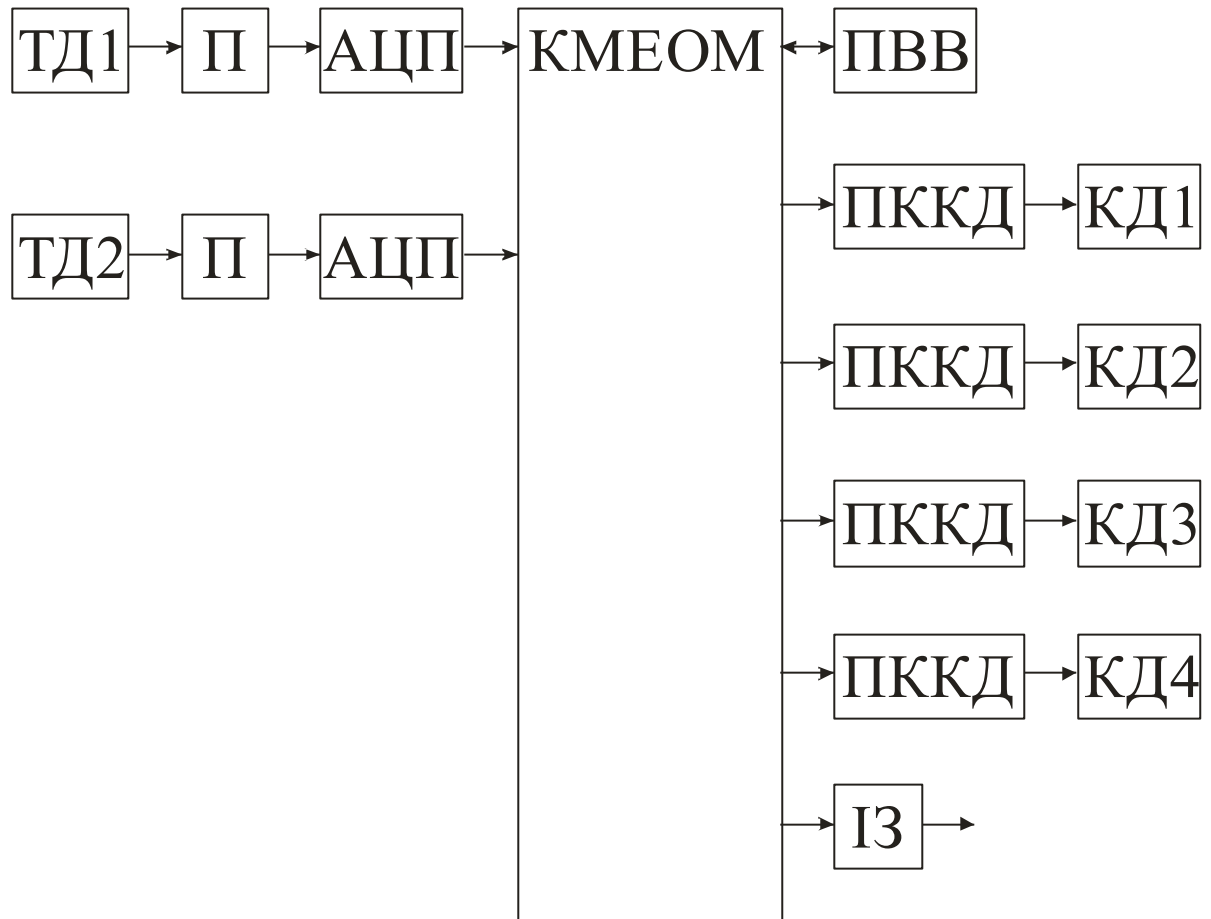


Рисунок 3.4 – Структурна електрична схема автоматичного управління сепарацією зерна:

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 подаються на підсилювачі, де вони підсилюються. З підсилювачів – на аналогово-цифрові перетворювачі, де електричний сигнал перетворюється на цифровий. З аналогово-цифрового перетворювача сигнал подається на мікроконтролер, де оброблюється інформація і вирішується на який двигун подати імпульси, в яку сторону його обертати і подається на двигун. Також з мікроконтролера подається сигнал на пристрій вводу-виводу, на якому можна спостерігати за технологічним процесом сепарації зерна, і на інтерфейс зв'язку де можна підключати ЕОМ вищого рівня.

3.3 Розробка схем електричних принципових реалізації системи автоматичного управління сепарацією зерна

Поява та швидке вдосконалення мікропроцесорних засобів призвело до їх широкого застосування у різних галузях народного господарства. Функціональна гнучкість, висока надійність, малі габарити та вартість мікропроцесорних засобів обумовлюють доцільність їх застосування в системах автоматичного керування.

Сучасна елементна база цифрової техніки відкриває широкі можливості побудови цифрових регуляторів з програмною реалізацією операцій в реальному масштабі часу на основі мікропроцесорів. Зокрема, однокристальні мікроконтролери представляють собою прилади, що конструктивно виконані у вигляді ВІС і вміщують в себе складові частини мікроЕОМ: мікропроцесор, пам'ять програм, пам'ять даних, а також програмуємі інтерфейси для зв'язку із зовнішнім середовищем. Використання мікроконтролерів в системах керування забезпечує досягнення виключно високих показників ефективності при низькій вартості, малих габаритах, вазі, енергоспоживанні, відносно високій обчислювальній потужності [1-7].

Структурна організація, набір команд та апаратурно-програмні засоби вводу/виводу інформації мікроконтролерів краще всього пристосовані для вирішення задач керування і регулювання в приладах, пристроях і системах автоматики. На практиці при проектуванні мікропроцесорних САК слід враховувати ряд факторів – це забезпечення заданих показників якості керування, раціональний розподіл функцій САК між апаратними та програмними засобами, спряження цифрової і аналогової частин САК.

На такі показники якості керування, як динаміка, точність, вірогідність виконання функцій керування та ін., впливають особливості цифрової реалізації алгоритму керування в мікроконтролері. Як відомо, при цифровому представленні інформації здійснюється дискретизація процесів в часі та квантування по рівню. Дискретизація процесів в часі, що здійснюється у відповідності з деяким

критерієм якості функціонування САК, пред'являє вимоги до швидкодії мікроконтролера, а квантування по рівню приводить до виникнення шумів квантування.

Рішення задачі розподілу функцій САК на апаратно та програмно реалізуємі пов'язане із необхідністю аналізу багатьох факторів, першочерговими з яких, поряд із забезпеченням заданої потужності мікроконтролера, є структура системи, характер представлення вхідної і вихідної інформації та особливості цифрових алгоритмів обробки інформації.

Для спряження аналогової частини САК з мікроконтролером використовуються аналого-цифрові та цифроаналогові перетворювачі, до яких пред'являються високі вимоги по швидкодії, точності та лінійності перетворення [7]. Виникає необхідність схемотехнічного та програмного спряження АЦП іншої розрядності, в порівнянні з тією, яку має мікроконтролер. Однак останнім часом достатньо широкого розповсюдження отримали мікроконтролери з вбудованими АЦП достатньо високої розрядності, що дає можливість не використовувати додаткові мікросхеми, а це значно полегшує проектування схем електричних.

Враховуючи вище викладене для побудови мікропроцесорної САР, що розробляється в даній бакалаврській роботі, таким вимогам задовольняє однокристальний мікроконтролер типу AT90S4433.

В порівнянні з апаратно реалізованими цифровими регуляторами регулятори з програмною реалізацією є менш швидкодіючими, але більш універсальними, легко переналаштовувемими і мають кращі масогабаритні характеристики. Надійність мікропроцесорних систем автоматичного керування в порівнянні із системами на іншій елементній базі є більш високою.

Цифроаналоговий перетворювач однозначно перетворює кодові комбінації цифрового сигналу в аналоговий сигнал. Аналого-цифровий перетворювач вирішує задачу пошуку однозначної відповідності аналоговому сигналу цифрового коду. Одна із основних вимог, що пред'являються до АЦП і ЦАП – це можливість їх спряження з мікропроцесором, що передбачає сумісність логічних

рівнів цифрових сигналів перетворювачів і шини даних мікропроцесора, співпадання видів цифрових кодів і формату даних, програмну сумісність. Обраний мікроконтролер типу AT90S4433 містить вбудовані ЦАП і АЦП.

В схемі системи автоматичного управління сепарацією зерна можна виділити дві основні частини: слабкострумову (керуючу) та силову (енергетичну). Реалізація слабкострумової частини на одному мікропроцесорі підвищує надійність і універсальність САК, дозволяє достатньо просто реалізувати необхідні закони зміни керуючих діянь. Оскільки інформація про процес регулювання міститься в самому цифровому сигналі і не пов'язана з його енергією, то вона менш піддана дії перешкод та викривлень.

Слабкострумова частина мікропроцесорної САК повинна вирішувати задачі програмної реалізації цифрового регулятора і формування спеціальних кодових послідовностей для керування силовою частиною з метою отримання сигналу для керування двигуном.

Принципальна схема автоматизованої системи керування процесом сепарації зерна представлена на слайді 05.00. Вона складається із мікроконтролера AT90S4433, який реалізує алгоритм керування, вхідних ланцюгів інформації з датчиків, вхідних масштабуючих пристроїв для приведення вхідних сигналів до уніфікованого рівня, що сприймається мікроконтролером, силової частини, рідкокристалічного індикатора.

На елементі DD1 (мікросхема AT90S4433) зібраний мікроконтролер з внутрішнім тактовим генератором G1, частота якого визначається зовнішнім кварцовим резонатором 12 МГц. Вхідні масштабуючі підсилювачі, які в масштабі перетворюють вхідні сигнали датчиків до рівня, що сприймається мікропроцесорною системою, виконані на елементі DA1 (мікросхема K140УД17 – це операційний підсилювач, який використовується для підсилення без викривлень сигналів з датчиків, подавляє синфазний сигнал, має малу напругу зміщення нуля, малий його дрейф, малий рівень шумів, великий вхідний опір), зміна масштабу виконується зміною коефіцієнта підсилення операційного

підсилювача [1-3]; сигнал з виходу нормуючого підсилювача за сигналом контролера надходить на мультиплексор AD 7890, далі на контролер. Сигнал керування у разі невідповідності режиму сепарації заданому значенню з порта PB0 мікроконтролера через демультимплексор К 530 ИД7 надходить через силову розв'язку на транзисторах VT1, VT3 на керування кроковим двигуном, який змінює положення заслінки.

На даному кресленні також наведена схема електрична принципова блока живлення розроблюваної системи.

3.4 Побудова алгоритму роботи системи керування сепарацією зерна

Алгоритм роботи системи керування сепарацією зерна зображено на рис. 3.5. Алгоритм: на початку роботи проводиться ініціалізація системи (дія 2), тобто перевірка системи на справність. Коли система готова до роботи здійснюється вибір режиму роботи системи (дія 3-4). Коли режим роботи вибрано, відбувається очікування запуску системи за допомогою кнопки «Пуск» (дія 6,7). Після запуску системи відбувається відкриття заслінок на початкову величину, встановлюється початковий зазор на решеті (дія 8) та опитування датчиків (дія 9). За результатами отриманими з датчиків система проводить корегування відкриття заслінок та зазору на решеті (дія 10), та висвітлення інформації про протікання процесу сепарації на жидкокристалічному екрані (дія 11). Після цього проводиться опитування кнопки «Стоп» (дія 12) і в разі її натискання (дія 13) відбувається зупинка системи та видача інформації на індикатор (дія 14). Якщо кнопка «Стоп» не натиснута програма переходить до опитування датчиків (дія 9).

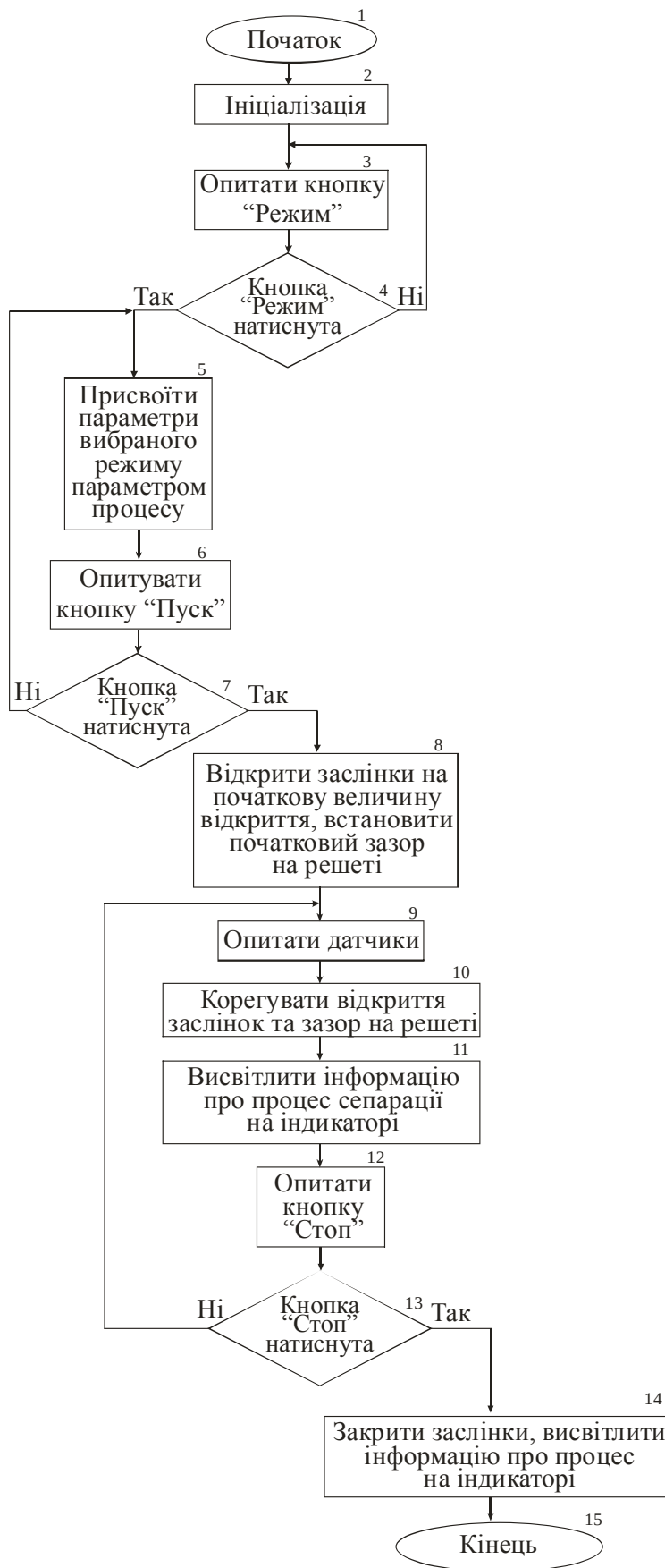


Рисунок 3.5 - Алгоритм роботи системи керування сепарацією зерна

3.5 Розробка схеми з'єднань

Схема з'єднань – це схема, на якій зображують з'єднання складових частин автоматизованого пристрою чи виробу, а також показують провода, кабелі, жгути чи трубопроводи. Схеми для приладів, які встановлюються в щитах чи пультах управління, розробляють на основі функціональних схем автоматизації, принципових електричних схем, схем живлення, а також загальних видів щитів та пультів.

Схеми з'єднань використовують при виконанні монтажних і налагоджувальних робіт на об'єкті, а також в процесі експлуатації.

Існують загальні правила виконання схем з'єднань:

- схеми з'єднань розробляють на один щит, пульт, станцію управління;
- всі типи апаратів, приладів і арматури, передбачені принциповою електричною схемою, повинні бути повністю відображені на схемі з'єднань;
- позиційне позначення приладів і засобів автоматизації, а також маркування ділянок ланцюгів, які прийняті на принциповій електричній схемі, необхідно зберегти в схемі з'єднань.

Схема з'єднань зображена на рис. 3.6.

ТД – тензодатчик

ДЖ – джерело живлення

КД – кроковий двигун

ПКСО – пристрій керування сепарацією зерна.

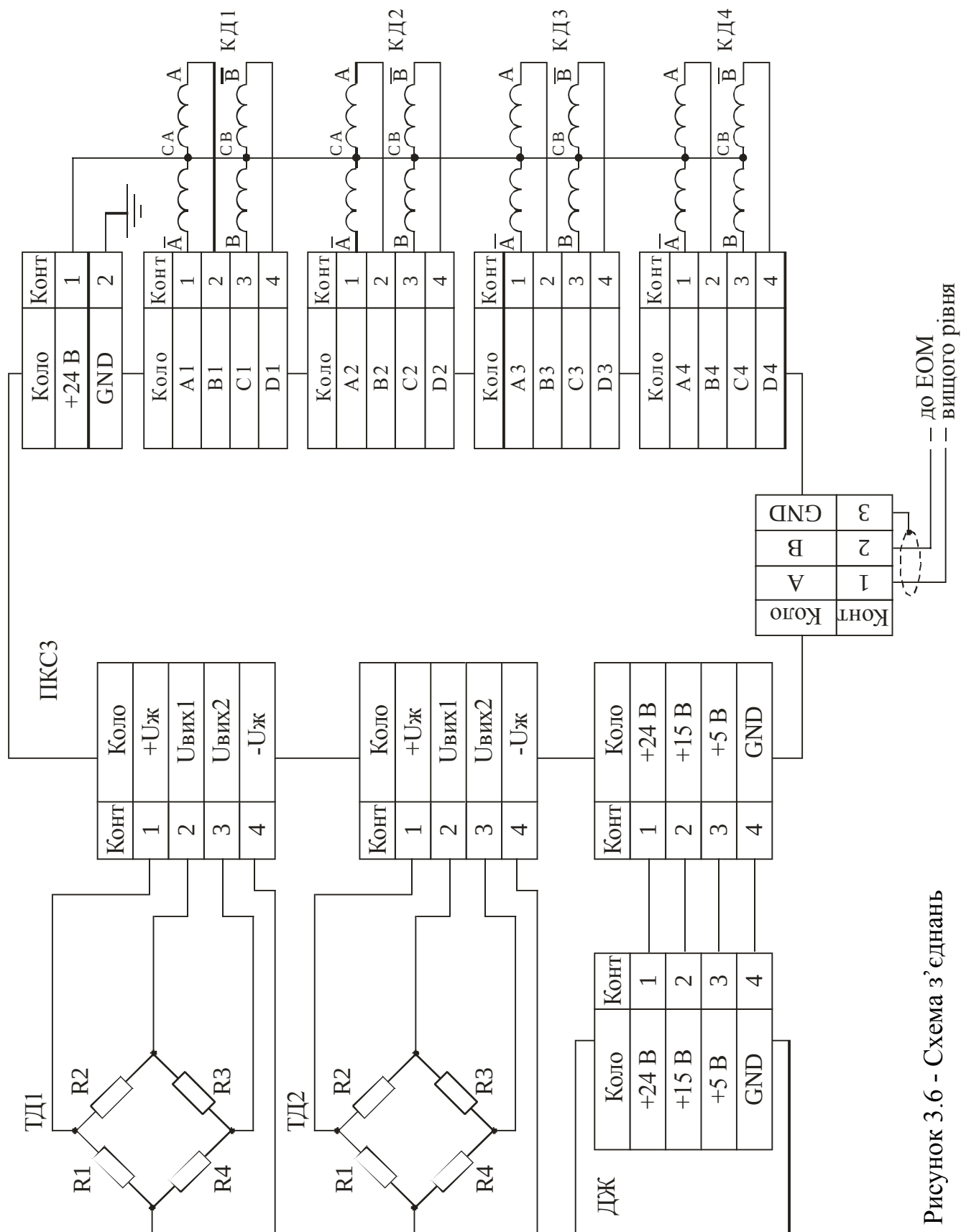


Рисунок 3.6 - Схема з'єднань

3.6 Вибір пульта управління

Пульти виконують роль постів контролю, управління та сигналізації автоматизованого об'єкта. Вони є з'єднувальним ланцюгом між об'єктом управління та оператором. На пультах розташовують засоби контролю, управління та сигналізації технологічних процесів (контрольно-вимірювальні прилади, апаратуру керування та регулювання, пристрої сигналізації та захисту. Крім того, на фасадних сторонах пультів розташовують мнемонічні схеми, накладні підписи).

Виконання приладів та апаратів, які встановлюються на пультах, а також виконання самих пультів в усіх випадках повинно відповідати умовам зовнішнього середовища виробничих приміщень. В сухих (нормальних) і вологих) приміщеннях допускається застосовувати оперативні та неоперативні пульти в місцях, найбільш зручних для контролю та управління автоматизованих технологічним обладнанням.

В приміщеннях сирих, особливо сирих, жарких, пильних, з хімічно активним середовищем, вибухо та пожежонебезпечних пульти встановлювати не рекомендується.

В пультах для розміщення апаратів та приладів потрібно, як правило, використовувати тільки робочу (верхню) поверхню пульта і передню стінку приладної приставки. На внутрішніх стінках пульта рекомендується встановлювати тільки збірки зажимів.

Апарати і прилади всередині пультів потрібно групувати по приналежності до систем виміру, управління, сигналізації, в середині цих груп по роду струму, значенню напруги, типів апаратів.

При розміщенні приладів і апаратів на пультах відстань між відкритими струмопровідними елементами різних фаз (полярності), а також між елементами і неізовльованими металічними частинами (корпусом) повинно бути не менше 20мм по поверхні ізоляції, та 12мм по повітрю.

Електричні проводки в пультах потрібно виконувати в закритих коробках (металічних, поліхлоровинилових) або відкритими жгутами. Для електропроводки пультів застосовують мідні ізольовані провoda, мінімальні перерізи яких відповідають мінімальним перерізам електропроводок систем автоматизації.

Прилади та апарати на лицьовій стороні пультів розташовуються у відповідності з прийнятими принципами компоновки пультів систем автоматизації, виходячи з умов забезпечення зручностей та ефективності роботи оператора, а також умов безпечності обслуговування.

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

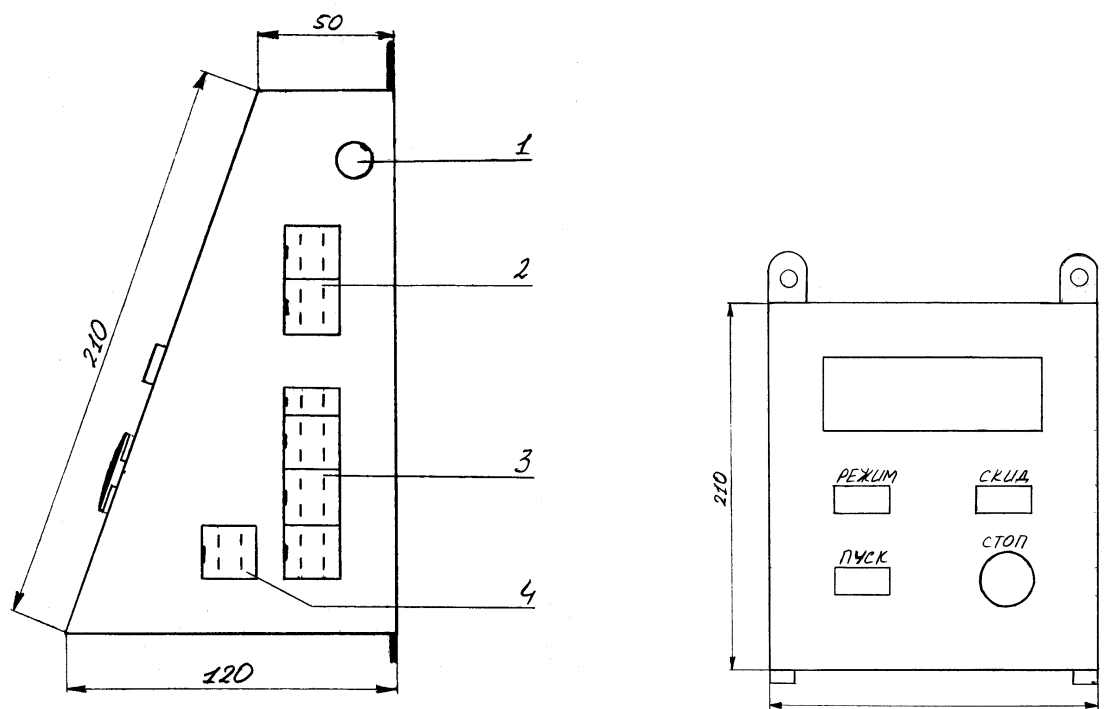


Рисунок 3.7 - Конструкція пульта управління системи керування процесом сепарації зерна:

- 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 та дослідження процесу сепарації зерна

Для доведення зерна до посівних або споживацьких кондицій, необхідно виділити його із зернового вороху, що отримується після обмолоту в комбайнах або молотарках.

Зерновий ворох є багатокомпонентною сумішшю і окрім зерна вміщує велику кількість сторонніх домішок (рис. 4.1).

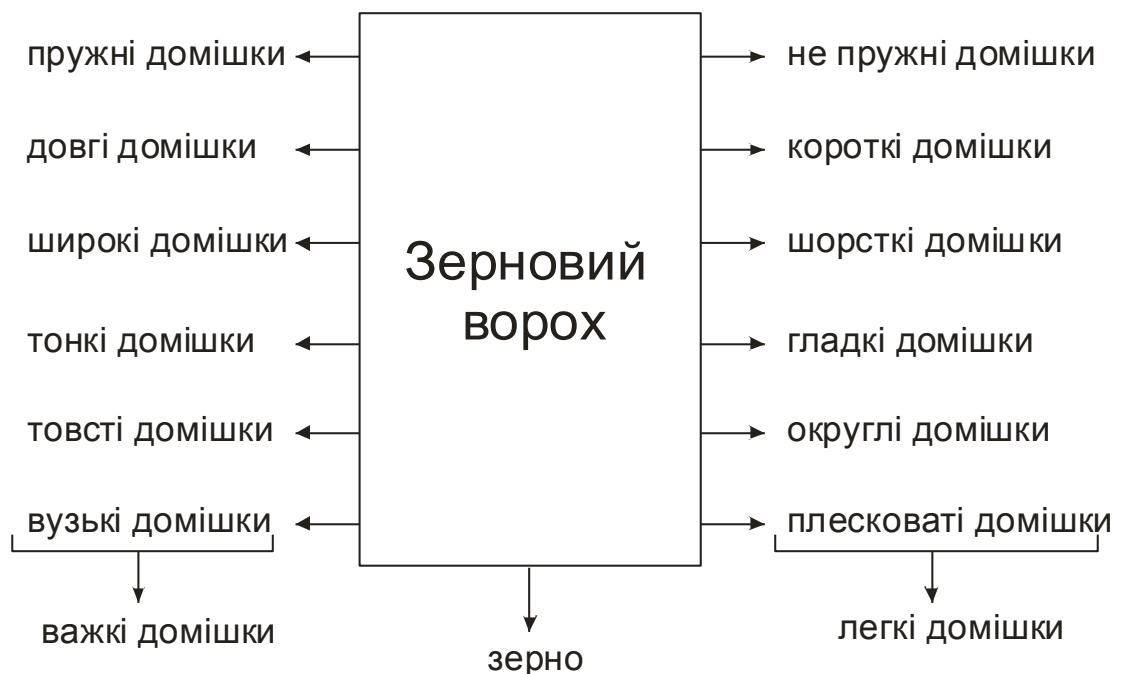


Рисунок 4.1 - Структурний склад зернового вороху

Задачею первинного очищення зернового вороху – є виділення з останнього біологічно цінного зерна в короткі строки і з мінімальною кількістю сторонніх домішок.

Склад і властивості вороху будемо визначати по його вазі складових.

Але як показують теоретичні дослідження продуктивності сепаруючих органів (Дисертація к.т.н. Васильківського А.М.) це пов'язано із розрахунками таких параметрів як швидкість і напрямок руху частинок, їх маси і парусності,

відстані встановлення датчика і його положення до напрямку потоку частинок, коефіцієнта сепарації, відносного вмісту підсіву у воросі, розмірів зерна, швидкості повітряного потоку і решітного барабану і інших параметрів більшість із яких являються випадковими величинами, функції розподілу яких невідомі.

Тому залишається тільки один шлях - це експериментальні дослідження характеристик датчиків.

Для визначення маси домішок або інтенсивності процесу сепарації і її продуктивності використовують питому продуктивність q (кг·с)/м². Вихідним параметром тензорезистивного датчика буде ΔU - відповідне значення напруги на виході вимірювального моста датчика. При цьому обов'язково встановлюються параметри розташування датчиків.

4.1.1 Дослідження по визначенню зон встановлення датчиків

Ці дослідження необхідно провести, щоб визначити місця для встановлення чутливих елементів – датчиків, які будуть контролювати процес сепарації.

Для цього беремо ємність (стакан) і розташовуємо її в зоні сепарації (0,1 м) на певний час (1 хв.), для відбору частинок потоку домішок, потім зважуємо ємність на електронних вагах і результати зводимо в табл. 4.1. Так проводимо дослідження на різній довжині зони сепарації.

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 повітряної μ_n і решітної μ_p сепарації від довжини зони сепарації L_n і L_p на рис. 4.2.

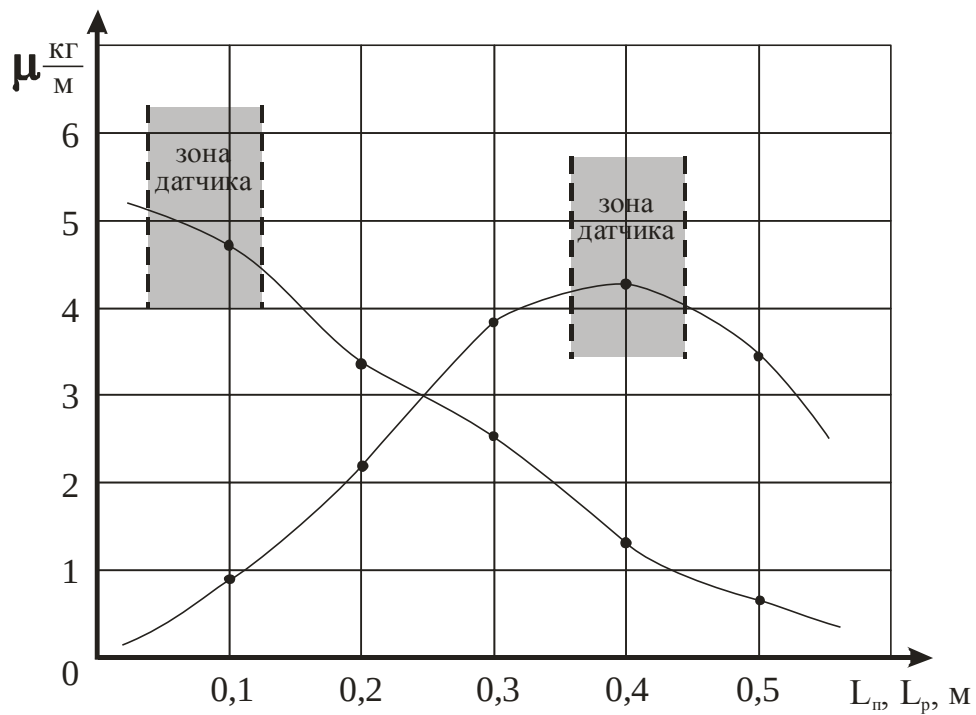


Рисунок 4.2 - Залежність коефіцієнтів повітряної μ_n і решітної μ_p сепарації від довжини зони сепарації L_n і L_p

Ми визначили зони, де через датчики будуть проходити максимальні потоки легких і важких домішок.

З графіка видно, що датчик повітряної сепарації треба розміщати на відстані 0,35-0,45 м від початку зони сепарації, а датчик решітної сепарації – на відстані 0,05-0,12 м.

4.2 Визначення стійкості системи та показників якості

4.2.1 Вихідні 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:

$$T_0 = 2,0 \text{ с}; \quad T_1 = 0,045 \text{ с}; \quad k_0 = 4,2 \text{ Па/см}; \quad k_1 = 1,8 \text{ Па/см};$$

$$k_2 = 0,8 \text{ В/Па}; \quad k_3 = 15; \quad k_4 = 0,12 \text{ см/В}\cdot\text{с}; \quad f = 1,3 \text{ см}$$

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.

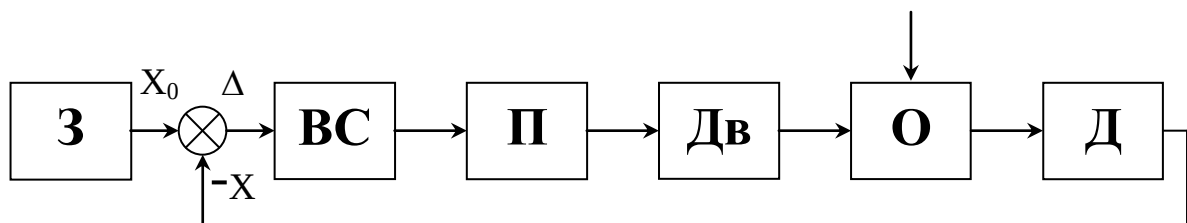


Рисунок 4.3 – Функціональна схема системи:
З – задаючий пристрій; ВС – вимірювальна схема; П – підсилювач; Д – двигун (з редуктором і клапаном); О – об'єкт регулювання; Д – датчик

4.2.4 Структурна схема системи при дослідженні на стійкість

Для отримання передаточної функції об'єкта слід прирівняти до нуля збурюючі 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:

$$W_{\text{д}}(p) = 1. \quad (4.10)$$

Це повторювач.

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

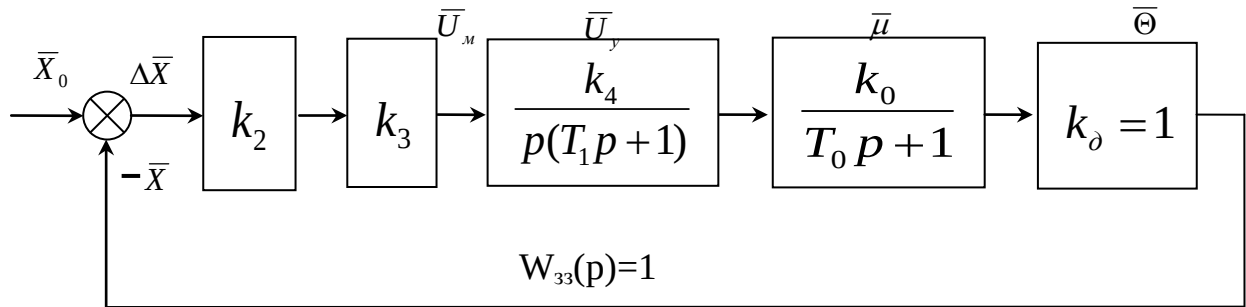


Рисунок 4.4 – Структурна схема системи

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:

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

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

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

Характеристичне рівняння має вигляд:

$$T_1 T_0 p^3 + (T_1 + T_0) p^2 + p + k = 0, 0,09 p^3 + 2,042 p^2 + p + 6,048 = 0. \quad (4.13)$$

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:

$$\begin{aligned} P(\omega) &= \frac{k(-(T_1 + T_0)\omega^2)}{(-(T_1 + T_0)\omega^2)^2 + ((\omega - T_1 T_0 \omega^3))^2} = \frac{6,048(-2,045\omega^2)}{(-2,045\omega^2)^2 + ((\omega - 0,09 \cdot \omega^3))^2}; \\ Q(\omega) &= \frac{k(-(\omega - T_1 T_0 \omega^3))}{(-(T_1 + T_0)\omega^2)^2 + ((\omega - T_1 T_0 \omega^3))^2} = \frac{6,048(-(\omega - 0,09 \cdot \omega^3))}{(-2,045\omega^2)^2 + ((\omega - 0,09 \cdot \omega^3))^2} \end{aligned}$$

Побудуємо графік АФЧХ розімкнутої системи (рис. 4.5).

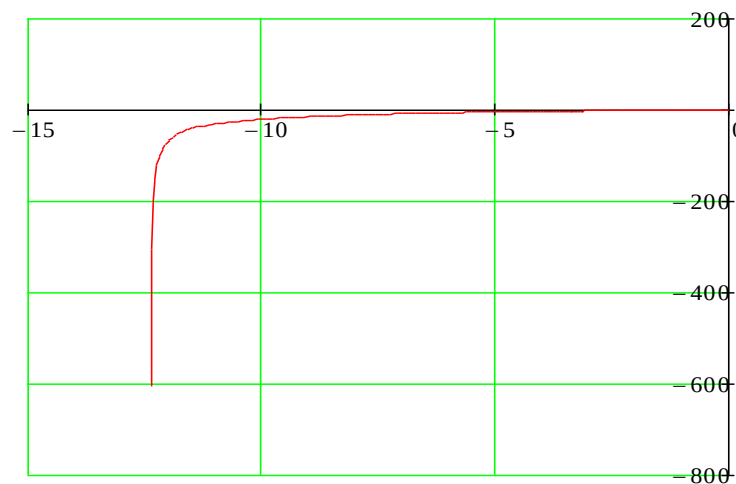


Рисунок 4.5 – АФЧХ розімкнутої системи

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

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

$$\omega_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{0,045} = 22,22 \text{ с}^{-1}, \text{ належить аперіодичній ланці.}$$

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 $20 \lg k = 15,6$ дБ ($k = 6,048$ – 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.

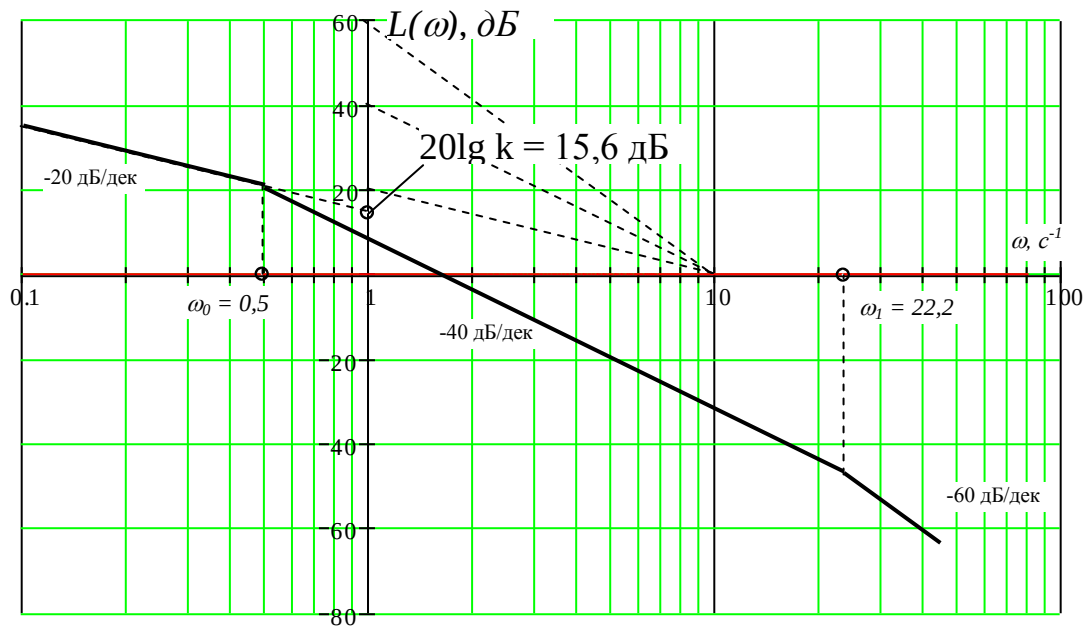


Рисунок 4.6 – ЛАЧХ розімкнутої системи $L(\omega)$

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

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

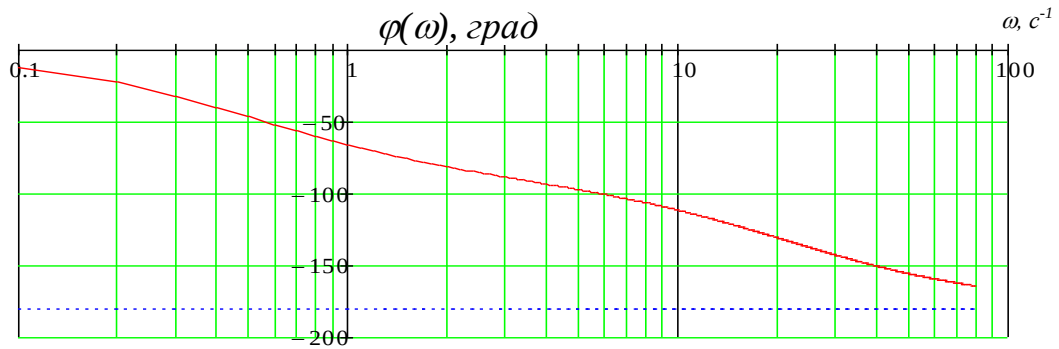


Рисунок 4.7 – ЛФЧХ розімкнутої системи $\varphi(\omega)$

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:

$$P_3(\omega) = \frac{k(k - (T_1 + T_0)\omega^2)}{(k - (T_1 + T_0)\omega^2)^2 + (\omega - T_1 T_0 \omega^3)^2} = \frac{6,048(6,048 - 2,045\omega^2)}{(6,048 - 2,045\omega^2)^2 + ((\omega - 0,09 \cdot \omega^3))^2}$$

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

4.2.8 Визначення стійкості замкнутої системи і запасів стійкості.

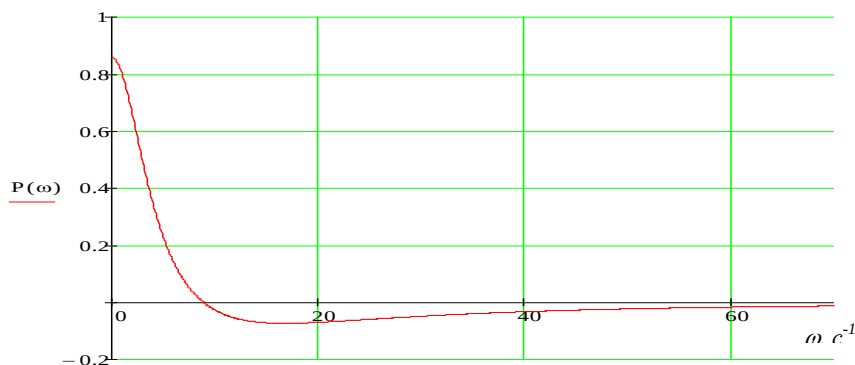


Рисунок 4.8 – Дійсна частотна характеристика замкнутої системи

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 за фазою – $3_\phi = 12^\circ$; $3_M = 0,74$.

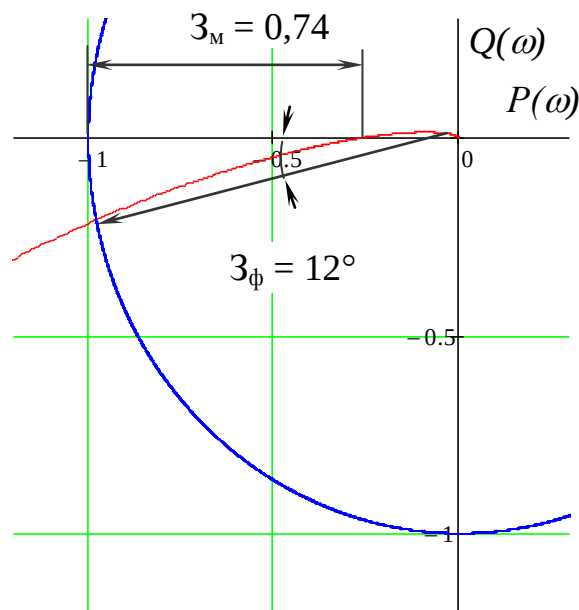


Рисунок 4.9 – Визначення запасів стійкості за модулем і фазою за допомогою частотного критерію Найквіста-Михайлова

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).

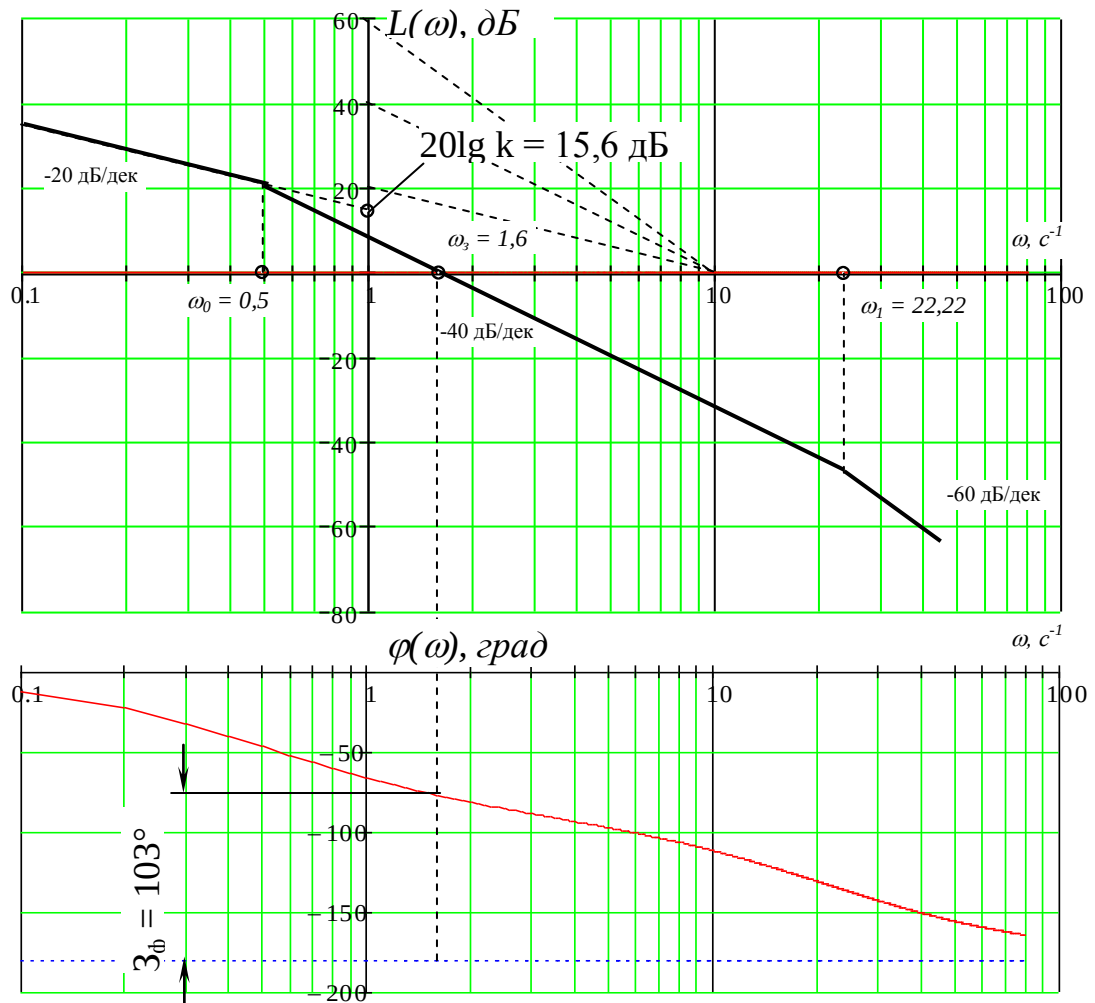


Рисунок 4.10 – Оцінка якості регулювання замкнутої САР по ЛАЧХ розімкнутої системи

З даної побудови можна визначити: частота зрізу $\omega_z = 1,6 \text{ c}^{-1}$, звідки можна визначити час регулювання, поставивши систему в жорсткі умови, $t_p = \frac{2\pi}{\omega_z} = 3,93 \text{ c}$; запас стійкості по амплітуді $z_A \gg 40 \text{ дБ}$ (в межах графіка ФЧХ не перетинає -180°); запас стійкості по фазі $z_\phi \approx 103^\circ$.

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. 4.1), з виду якого можна зробити висновок, що перехідний процес – монотонний.

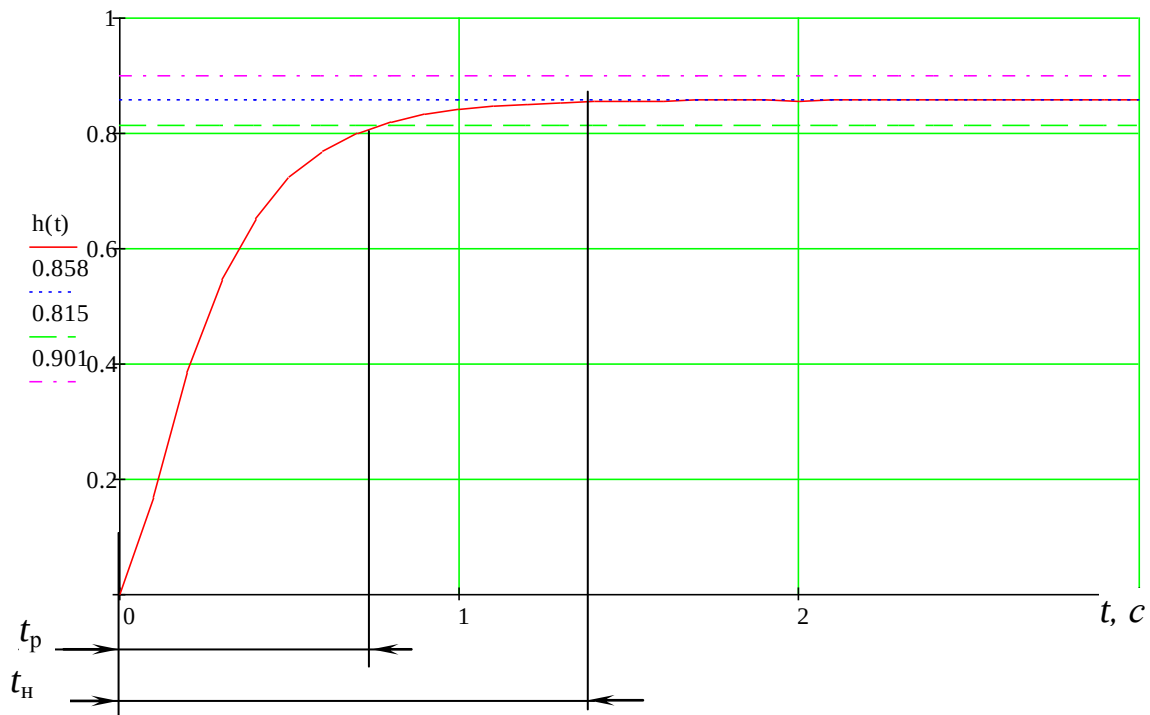


Рисунок 4.11 – Графік перехідного процесу системи

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

- час регулювання $t_p \approx 0,77$ с;
- час наростання перехідного процесу $t_H = 1,6$ с;
- перерегулювання $\delta = 0$ %.

5 МОНТАЖ, НАЛАГОДЖЕННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ СИСТЕМИ І ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

5.1 Організація проведення монтажних робіт

5.1.1 Організація монтажних робіт

Монтажні організації виконують монтажні роботи на об'єктах спеціалізованими ланками та бригадами, а також комплексними бригадами з повним або частковим розділенням робіт між членами бригади. Організаційні форми монтажних підрозділів залежать в значній мірі від об'єма монтажних робіт.

Досвід монтажних робіт показує наступне. На об'єктах з малим об'ємом виробництва (до 3000 год), а також при недостатній концентрації технологічно однорідних видів робіт необхідно створити комплексні бригади з повним і частковим розділенням робіт.

Для виконання монтажу комплектів обладнання на різнотипних об'єктах при працеемності від 3000 до 12000 год доцільно організувати спеціалізовані ланки (групи) з розділенням праці по видам робіт технологічного признаку.

Монтаж обладнання і поточних технологічних ліній на крупних об'єктах с/г виробництва з працеемністю більше 12000 год необхідно виконувати спеціалізовані бригади з розділенням праці по технологічним операціям.

Сучасні методи монтажу обладнання і систем автоматизації засновані на максимальній Індустріалізації і спеціалізації робіт.

Індустріалізація заключається в використанні стандартних і нормалізованих виробів, виробляємих серійно, а також в попередньому виготовленні на заготівельних підприємствах і дільницях монтажних вузлів, блоків і нестандартного обладнання. В такому випадку монтаж ведуть крупними блоками і вузлами, що дозволяє механізувати і скоротити об'єм робіт безпосередньо на місці монтажу.

Застосування індустріальних методів монтажних робіт, а також їх спеціалізація дозволяють істотно знизити трудоемність і скоротити термін монтажу обладнання і засобів автоматики.

Монтажні роботи умовно поділяють на три основних вида: підготовчі, заготівельні та монтажно-установочні.

Підготовчі роботи ведуть будівельники. Сюди входять риття каналів та траншей, обладнання проходів в стінах або перекриттях для електричних та трубних проводок.

Заготівельні роботи ведуть на виробничих базах та на заводах монтажних трестів, де виготовляється нестандартне обладнання, різні монтажні вироби, ведуть зборку трубних блоків, монтажних вузлів та виробів, а також зборку та комунікацію щитів та пультів.

Підготовчі та заготівельні роботи виконують одночасно з основними будівельними роботами та монтажем технологічного обладнання.

Монтажно-установчі роботи полягають в установці готових вузлів та блоків, щитів та пультів, датчиків, первинних приладів, виконавчих механізмів, прокладці електричних та трубних проводок. Цей вид робіт є другою стадією монтажу засобів автоматизації і виконується після закінчення будівельних і оздоблювальних робіт на об'єкті.

Щоб забезпечити якість монтажних робіт, скоротити термін монтажу і зменшити трудові затрати, необхідно старанно підготувати і організувати проведення монтажних робіт.

Важливим технічним документом, який забезпечує організацію і проведення монтажних робіт, являється проект виробництва монтажних робіт.

Зміст проекту виробництва монтажних робіт:

- пояснювальна записка;
- робочі креслення з уточненням трубних і електричних мереж;
- робочі креслення та ескізи на нетипові та неуніфіковані вузли, вироби і блоки, які не ввійшли в проект автоматизації;

- сітьовий графік на виконання робіт по монтажу приладів і засобів автоматизації, який складається звичайно для технічно складних об'єктів.

При побудові сітьового графіка визначають всі види виконуваних робіт, послідовність їх виконання, затрати часу на кожний вид роботи.

5.1.2 Техніка безпеки при проведенні монтажних робіт

При монтажних роботах особлива увага звертається на дотримання правил техніки безпеки.

Особи, які відповідають за проведення монтажних робіт на об'єкті (начальник ділянки, майстер або бригадир), до початку виконання монтажних робіт і при їх проведенні повинні провести ряд організованих заходів для підвищення безпеки праці:

- передбачити максимальну механізацію монтажних робіт, в тому числі механізацію підйому і переміщення тяжких елементів, механізацію завантажувально-розвантажувальних робіт;
- примітити також методи роботи, при яких зводиться до мінімуму виконання збиральних і зварювальних робіт на висоті або в тісних і незручних місцях;
- забезпечити наявність і справність захисних пристроїв і огорожень на робочих місцях, справність засобів індивідуального захисту, спецодягу і спецвзуття, достатнє освітлення робочих місць, а також забезпечити наявність санітарно побутових приміщень і пристроїв.

Перед початком монтажних робіт робітники повинні пройти загальний інструктаж по техніці безпеки при виконанні монтажних робіт, а також інструктаж по безпечним методам праці безпосередньо на робочому місці.

Інструктаж повинен проводитися при кожному переході монтажника на друге робоче місце і при зміні умов праці.

Роботи на висоті (більше 1,5м від підлоги або перекриття) здійснюються з драбин чи будівельних лісів.

До монтажної роботи на висоті допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд, підготовлені по техніці безпеки і отримали спеціальне посвідчення. Медичний огляд осіб, які допущені до роботи на висоті, повинен виконуватись кожен день.

Роботу можна виконувати тільки справним інструментом, застосовуючи його по прямому призначенню.

При роботі з електроінструментом напругою 127 або 220 В треба застосовувати діелектричні рукавиці, калоші та коврики, які пройшли випробування.

Зварювальні роботи проводять згідно інструкції про пожежну безпеку. Зварювальник і працюючі з ним робітники повинні захищати очі від дій електричної дуги щіткою зі світлофільтром або спеціальними захисними окулярами.

Завантажувально-розвантажувальні роботи необхідно виконувати під наглядом особи, яка відповідальна за дотримання техніки безпеки. В небезпечній зоні не повинно бути осіб, які не мають відношення до виконуючих робіт.

5.2 Проведення монтажних робіт

Проведення монтажних робіт пов'язане з встановленням несучих та опорних конструкцій, приладів і засобів автоматизації і підключення до них електричних мереж. Монтажні роботи включають монтаж пультів, монтаж електропроводок, датчиків, приладів, регуляторів та виконавчих механізмів.

5.2.1 Монтаж електричних проводок

Для монтажу електропроводок систем автоматизації повинні, як правило, застосовуватись кабелі та проводи з алюмінієвими жилами мінімальним перерізом $2,5\text{мм}^2$.

Електричні проводи прокладають в відповідності з проектом відкрито і закрито. При відкритих лініях проводів, або кабелі прокладаються безпосередньо

по поверхням будівельних конструкцій, станинам обладнання та панелям. При закритих лініях, провід або кабель прокладають по стінам, стелям, підлогам.

Для монтажу електропроводок систем автоматики застосовують наступні марки проводів з алюмінієвою жилою: АПВ - з поліхлорвініловою ізоляцією та АПР – з гумовою ізоляцією. З проводів з мідною жилою частіше всього використовують провід марки ПВ – одножильний з поліхлорвініловою ізоляцією, ПГВ – одножильний, гнучкий з поліхлорвініловою ізоляцією, ПР660 – одножильний з гумовою ізоляцією.

Кабелі поділяють на силові, контрольні, сигналізації та спеціальні. Для кабелів силових, контрольних та сигналізації встановлене багатолітерне маркування, по якому можна визначити матеріал жили, конструктивні особливості, матеріал обмотки, матеріал ізоляції і тип захисного покриття. Після буквенного позначення ставиться число і переріз жил кабеля.

Проводи і кабелі прокладають в відповідності з проектом наступними способами: на кабельних конструкціях, в лотках, в коробах та кабельному колекторі.

Крім цього, кабелі прокладають в землі. При цьому на дно роблять підсипку з піску чи просіяної землі шаром не менше 100мм. Глибина закладання кабелю не менше 0,7м. Кабель в траншею вкладають з запасом для компенсації можливих зміщень ґрунту. Перед засипанням землею кабель приймає комісія і складає акт. Кабельна траса позначається розпізнавальними знаками.

Після закінчення монтажу проводок їх оглядають та випробовують.

При зовнішньому огляді встановлюють, чи відповідають змонтовані проводки проекту. Після усунення замічених дефектів проводять наступні випробування:

- для електропроводок всіх видів вимірюють опір ізоляції між всіма жилами кабелю, а також між кожної жили і металічною захисною оболонкою електричних проводок. Вимірювання проводять мегомметром на напругу 1000В. При цьому опір ізоляції повинен бути не менше 1МОм;

- для силових ланцюгів і ланцюгів живлення, крім виміру опору ізоляції, перевіряють полярність ланцюгів;
- для електропроводок в сталених трубах в вибухонебезпечних приміщеннях, крім вказаних іспитів, проводять іспит трубопроводів на густину з'єднань і ущільнень.

5.2.2 Монтаж пультів

Пульти на монтаж повинні доставлятися підготовленими до встановлення і підключення зовнішніх електричних і трубних проводок. На них повинні бути розміщені необхідна апаратура і комплектуючі вироби, змонтована вся проводка, встановлені конструкції для кріплення входних кабелів, а також підготовлені всі кріпильні вироби для встановлення пультів на об'єкті. Для тих приладів і апаратів, які встановлюють в процесі виконання монтажних робіт, на пультах повинні бути передбачені конструкції для їх розміщення і кріплення.

Після закінчення монтажу перевіряють, чи відповідають монтажні роботи проекту і технічним умовам.

5.2.3 Монтаж приладів і засобів автоматизації

Прилади і засоби автоматизації приймають в монтаж тільки після проходження стендової повірки. При цьому вони повинні бути оснащенні актом про стендову повірку по встановленій формі. При стендовій повірці перевіряють окремі характеристики і елементи приладів і засобів автоматизації, необхідні виявлення можливих несправностей, які визвані умовами зберігання і транспортування приладів і засобів автоматизації; перевіряють цілісність електричних ланцюгів, опір ізоляції, спрацювання регулюючої частини і перемикачів.

Стендову повірку приладів і засобів автоматизації проводить замовник або спеціалізовані організації, які виконують роботи по налагодженні приладів і засобів автоматизації з врахуванням вимог інструкцій Держстандарту та інструкцій заводів – виробників приладів і засобів автоматизації.

Прилади і засоби автоматизації на пультах, а також на технологічному обладнанні повинні кріпитися способами, які передбачені конструкцією приладів і засобів автоматизації і деталями, які входять в їх комплект.

При наявності вібрації в місцях встановлення приладів різьбові кріпильні прилади повинні мати пристрої, які виключають їх відгвинчення.

При встановленні датчиків необхідно спостерігати за тим, щоб їх чутливі елементи розташовувались в центрі маси вимірюваного середовища.

Виконуючі вимоги встановлюються після розміщення регулюючих органів. При їх встановленні повинно бути забезпечено правильне взаємне розташування осей та валів, які виключають нахили і завдання при роботі в сполученому стані.

Перед монтажем приладів і засобів автоматизації, які встановлюються в технологічне обладнання, то необхідно це обладнання очистити і помити.

Після закінчення монтажних робіт перед здачею об'єкта замовнику і до початку пусконаладжувальних робіт проводять індивідуальне випробування змонтованих приладів і засобів автоматизації. Індивідуальне випробування виконує монтажна організація. Іноді до цієї роботи залучають спеціалістів – налагоджувальників із налагоджувальних організацій.

Індивідуальне випробування приладів і засобів автоматизації, як правило, здійснюють при непрацюючому технологічному обладнанні. Метою випробування являється перевірка правильності і качества монтажу, а також нормального функціонування приладів і засобів автоматизації.

При цьому перевіряють:

- чи відповідають виконані монтажні роботи проекту, чи правильно розташовані прилади і регулятори, чи правильно вони включені в схеми виміру чи регулювання, чи правильно виконані електричні проводки;
- чи відповідають значення опору електричних проводок значенням, які вказані в паспортах або інструкціях до приладів; при невідповідності підганяють зовнішній опір за допомогою підгоночних котушок на затискачах приладів;

- чи правильно функціонують прилади і засоби автоматизації при подачі на вхід приладу штучної дії (електричного чи пневматичного сигналу);
- комплектність і повноту оформлення здаточної документації.

Після закінчення індивідуального випробування приладів і засобів автоматизації оформлюють акт про закінчення монтажних робіт по встановленій формі.

5.3 Налагоджувальні роботи

В цілому налагоджувальні роботи – це складна сукупність робіт з перевірки, регулювання, налагодження, включення і забезпечення нормальної роботи систем керування технологічними процесами в заданих умовах. Мета налагодження – забезпечення встановлених показників функціонування комплексу змонтованих технічних засобів в складі автоматичної системи керування технологічними процесами. Для засобів і систем вимірювань, основними нормуючими показниками є метрологічні характеристики, що впливають на результати і похибки вимірювань. Для автоматичної системи регулювання нормуючими показниками якості регулювання є максимальне динамічне відхилення, перерегулювання, час регулювання. Якість налагоджувальних робіт визначає надійність приладів і систем автоматизації. Включення системи виконується по окремим каналам технологічного контролю і вимірювання, окремим контуром регулювання, після чого включається система. В першу чергу налагоджуються схеми сигналізації, захисту та блокування. Заклучний етап, коли налагодження систем контролю і автоматичного керування виконується на технологічний режим, це є найбільш відповідальним етапом всього комплексу налагоджувальних робіт.

Висновок

В дипломному проекті розроблена система автоматичного керування процесом сепарації на прямоточних машинах.

Проведено дослідження в результаті яких визначені зони встановлення датчиків, встановлені статичні характеристики регулюючих органів (повітряної і решітної сепарації), навантажувальні характеристики датчиків, статичні характеристики задатчиків якості процесу сепарації зерна, за допомогою яких можна регулювати якість сепарації в певних межах. В результаті проведених розрахунків на основі вихідних даних встановлено, що розроблювана система є стійкою, визначені запаси стійкості за модулем та фазою, визначені показники якості регулювання.

В якості керуючого апарату застосована мікропроцесорна система, в основі якої використаний мікроконтролер серії AT90S4433.

Список літератури

1. «Сільське господарство та меліоративні машини». За ред. Д.Г. Войтюка, Київ, «Вища освіта», 2004. – 225 с.
2. Краснокришина А.А, Яковлев В.Б. «Электрические элементы систем управления промышленными работами». Киев. «Вища школа», 1990. – 325 с.
3. Коваленко І.О., Коваль А.М. «Метрологія та вимірювальна техніка». Житомир, 2001. – 125 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.