

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра ”Автоматизації виробничих процесів“

”Допущено до захисту“

Зав.кафедрою АВП

к.т.н., доцент

_____Дідик О.К.

” _____ “ _____ 2023р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему

”Автоматизована система стабілізації завантаження млина типу МШЦ
4,5х6,0“

“The automated system of stabilization of loading of the mill of the
МШЦ 4.5х6.0”

Виконав: здобувач вищої освіти

IV курсу, групи АК-20-3ск

ОПП «Автоматизація та

комп’ютерно-інтегровані технології»

спеціальність 151 «Автоматизація та

комп’ютерно-інтегровані технології»

_____Сергій ПЕТРЕНКО

” _____ “ _____ 2023р.

Керівник роботи

професор, д-р техн.наук

_____Анатолій МАЦУЙ

” _____ “ _____ 2023р.

Рецензент _____

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 Призначення та область застосування системи	5
1.1 Характеристика рудозбагачувальної фабрики ПівніГЗК.....	5
1.2 Опис процесу подрібнення.....	7
1.3 Характеристика процесу класифікації.....	9
2 Огляд існуючих рішень та обґрунтування вибору прийнятого принципу побудови системи.....	13
2.1 Методи регулювання завантаження млина.....	13
3 Опис та обґрунтування обраних проектних рішень та конструкцій	22
3.1 Розробка та опис схем структурних і функціональних.....	22
3.2 Вибір та обґрунтування окремих вузлів, блоків, елементів	40
3.2.1 Вибір конвеєра.....	23
3.2.2 Вибір датчика ваги.....	26
3.2.3 Вибір двигуна.....	29
3.2.4 Вибір частотного перетворювача.....	30
3.2.5 Вибір мікроконтролера для системи.....	32
3.2.6 Вибір дисплею.....	40
3.3 Розробка принципової схеми САР завантаження руди в млин.....	41
4 Дослідження системи автоматичного регулювання завантаження млина рудною.....	45
4.1 Дані для розробки системи.....	45
4.2 Побудова АФЧХ розімкнутої системи.....	47
4.3 Побудова ЛАЧХ розімкнутої системи.....	48
4.4 Побудова ЛФЧХ розімкнутої системи.....	49
4.5 Дослідження системи на стійкість за допомогою частотного критерію Найквіста – Михайлова.....	50
4.6 Побудова дійсної частотної характеристики замкнутої системи.....	51

4.7 Оцінка якості регулювання замкнутої САР по ЛАЧХ розімкнутої системи.....	53
4.8 Побудова перехідного процесу замкнутої системи.....	54
4.9 Побудова бажаної ЛАЧХ.....	56
4.10 Оцінка якості регулювання замкнутої скоректованої САР по ЛАЧХ розімкнутої системи.....	58
4.11 Побудова кривої перехідного процесу синтезованої САР.....	59
Висновки.....	61
Список літератури.....	62

Вступ

Автоматизація технологічних процесів є одним з вирішальних факторів підвищення продуктивності і поліпшення умов праці. Підвищення продуктивності праці при сучасному стані техніки можливо лише на основі комплексної механізації та автоматизації виробничих процесів. Багато сучасних технологічних процесів без їх автоматизації взагалі не можуть бути реалізовані, що пояснюється використанням високих швидкостей, температур, тисків, ускладненням конструкцій машин, використанням нових джерел енергії.

У Україні однією з основних галузей промисловості є видобуток та переробка залізної руди. Найбільш автоматизованою в будь-якому залізорудному комбінаті є збагачувальна фабрика, яка включає в себе кілька складних процесів з подрібнення та збагачення залізної руди. Кінцевим продуктом збагачувальної фабрики є магнітний концентрат і залізні окатиші. Головна мета будь-якої збагачувальної фабрики – підвищення продуктивності і в той же час якості продукту.

Найбільш енерговитратним і складним процесом автоматизації в збагачувальній фабриці є процес подрібнення. Основними завданнями автоматизації процесу подрібнення є: автоматичний контроль процесу подрібнення і стану технологічного обладнання, автоматичне регулювання параметрів процесу і управління роботою машин і механізмів з метою забезпечення встановленої якості готової продукції. Автоматизація управління процесів збагачення ускладнюється тим, що технологічне обладнання (робочі поверхні млинів, стрічки конвеєрів тощо) у великій мірі схильні до зносу оброблюваним матеріалом.

У процесі завантаження млина залізною рудою важливо підтримувати оптимальне значення, так як при перевищенні норми допустимого завантаження, руда буде недостатньо подрібнена, що призведе до необхідності повторного подрібнення руди. Водночас недовантаження млина рудою призведе до зниження продуктивності даного процесу і до даремного зносу куль млина, так як вони будуть пошкоджувати один одного, а не подрібнювати руду.

Призначення кваліфікаційної випускної роботи – проектування автоматизованої системи управління подачі руди в млин. Об'єктом управління є конвеєр, що виконує процес переміщення руди. Регулювання здійснюватиметься за рахунок зміни устаткування, за допомогою якого швидкість конвеєрної стрічки буде найбільш оптимальною, що призведе до підвищення продуктивності млина і зниженню споживчої потужності системи.

1 Призначення та область застосування системи

1.1 Характеристика рудозбагачувальної фабрики ПівнГЗК

Існує багато комбінатів на території країни які займаються саме цією галуззю: Метінвест, Запорізький залізорудний комбінат, ВАТ «Камиш-Бурунський залізорудний комбінат» та інші.

Північний ГЗК, який входить до складу комбінату Метінвест, займає важливе місце в залізорудній промисловості.

На сьогоднішній день виробничі потужності підприємства дозволяють виробляти 14,2 млн. тонн концентрату і 11,1 млн. тонн окатишів. Сировинною базою підприємства є великі родовища залізних кварцитів, які розробляються Першотравневим і Ганнівським кар'єрами, загальні промислові запаси яких складають 3 108 млн. тонн мінеральних ресурсів.

До складу переробного комплексу Північного комбінату входять 3 дробильні фабрики, 2 рудозбагачувальних фабрики, 2 цехи з виробництва окатишів.

ДФ-1. На дробильній фабриці № 1 відбувається дроблення руди, що подається з ДФ -2 і ДФ-3. Процес включає 4 стадії дроблення.

ДФ-2. Руда Ганнівського кар'єру проходить I стадію дроблення, після чого транспортується на ДФ-1. Також здійснюється дроблення розкривних порід для виробництва щебеню.

ДФ-3. Циклічно-потокова технологія. За допомогою циклічно-потокової технології здійснюється подача руди з позначки - 115м Першотравневого кар'єру на позначку +68 м. Завдяки її впровадженню вже в першому кварталі 2007 року скоротилося відстань відкати великовантажних автомобілів, зменшилася кількість перевантажувальних майданчиків. Це дало можливість розширити фронт гірських робіт, збільшити обсяги видобутку руди, скоротити енерговитрати.

Збагачувальна фабрика № 1 (РЗФ -1). Дроблена руда проходить три стадії подрібнення і 5 стадій збагачення на магнітних сепараторах.

Збагачувальна фабрика № 2 (РЗФ -2). Концентрат, вироблений на РЗФ - 1, проходить дешламацію і фільтрацію.

Цехи з виробництва окатишів № 1 і 2 (ЦВО - 1, 2) представляють собою складний виробничий комплекс з виробництва окатишів.

Процес переробки руди також називається процесом збагачення, тому що його результатом є магнітний концентрат та залізні окатиші, які збагачені залізом.

РЗФ-1 складається з 11 однакових технологічних секцій. Розглянемо роботу фабрики на прикладі однієї секції, зображеної на рис.1.1.

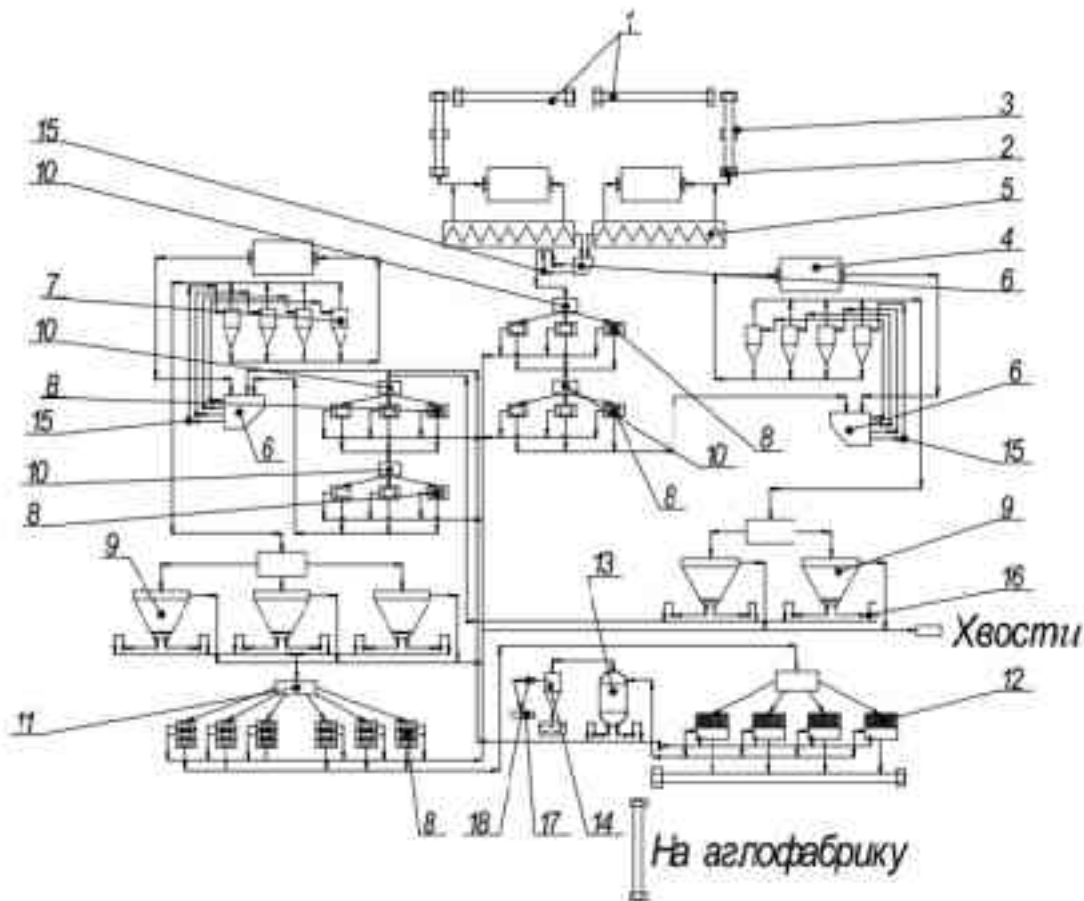


Рисунок 1.1 – Схема ланцюга апаратів однієї секції РЗФ -1:

1 – конвеєр стрічковий горизонтальний $B = 1000$ мм, $L = 12,76$ м; 2 – конвеєр стрічковий похилий $B = 1000$ мм, $L = 14,14$ м; 3 – ваги конвеєрні стрічкові; 4 – млин кульовий; 5 – класифікатор 2-спіральний; 6 – технологічна зумпфа; 7 – гідроциклон; 8 – сепаратор магнітний; 9 – дешламатор магнітний; 10 – пульпоподільник 4-х струменевий; 11 – пульпоподільник 6-ти струменевий; 12 – вакуум фільтр дисковий; 13 – вакуум ресивер; 14 – пастка; 15 – насос відцентровий ґрунтовий 8 ГР 350/40; 16 – насос відцентровий ґрунтовий 5 ГР 160/31, 5 і 5 ГР 170/40.

Отже процес переробки залізної руди на РЗФ-1 складається з наступних етапів:

1. Подрібнення.
2. Класифікація.
3. Сепарація.
4. Знешламлення.
5. Згущення.
6. Фільтрація.

1.2 Опис процесу подрібнення

Подрібнення – процес руйнування (дезінтеграції) шматків твердого матеріалу для доведення їх розміру до необхідної крупності (від 5 мм до десятків мікрон), гранулометричного складу або заданої ступеня розкриття мінералів.

Цей процес є найбільш енерговитратним і складним в плані автоматизації, тому розглянемо його найбільш детально.

Подрібнення здійснюють методами роздавлювання, розколювання, зламу, зрізання і стирання. По виду необоротної деформації (руйнування) часток виділяють подрібнення, засноване на стисненні, розтягненні, вигині і зсуві, за способом подрібнення – на мокре і сухе. Якщо матеріал піддається дією не статичних зусиль, а динамічних навантажень, то подрібнення називається ударним. По виду реалізації методів подрібнення розрізняють механічне, пневмомеханічний і аеродинамічний – в струменевих апаратах без мелюючих тіл. За способом впливу на матеріал процес подрібнення є переважно динамічним. Механічне подрібнення реалізують в барабанному млині – кульовий, стрижневий, гальковий, рудно-гальковий, рудного самоподрібнення, барабанно- роликовому, а також у роликово - кільцевому, чашевому (бігуни), дисковому (стирачі - жорна).

Подрібнення комбінують з операціями класифікації. У практиці застосовують різноманітні схеми подрібнення, що відрізняються числом стадій подрібнення і видом схеми. По виду схеми розрізняють подрібнення у відкритому циклі без попередньої класифікації, з попередньою класифікацією і з роздільним видачею двох продуктів подрібнення. Схеми у відкритому циклі на збагачувальних

фабриках застосовують рідко, але широко використовують в цементному і глиноземному виробництвах, де потрібна мінімальне розрідження (зволоження) готового продукту і допускається повторне подрібнення. Для підвищення продуктивності млинів і зменшення повторного подрібнення матеріалу його часто здійснюють у замкнутому циклі з класифікаційним апаратом, при цьому з матеріалу, розвантажується з млина, виділяється готовий подрібнений продукт (злив), а великий матеріал (піски) повертається в млин. Млини ефективно працюють тільки при певному ступені подрібнення, тому для отримання тонкого продукту подрібнення часто ведуть в два, рідше в три прийоми (стадії). При цьому можливі різні схеми подрібнення, наприклад при двухстадійній схемі млин першої стадії може працювати у відкритому циклі, а млин другої стадії – в замкнутому. Поширена схема мокрого подрібнення руд в кульовому млині.

Найкращі показники з якості продукту, продуктивності подрібнювача і енергетичним витратам досягаються в разі подрібнення в замкнутому циклі з безперервним відбором тонкої фракції. Тонке подрібнення (або помел) виробляють, як правило, в замкнутому циклі "подрібнення - класифікація". У ньому матеріал з розмірами шматків більше допустимої межі багаторазово повертається в машину на повторне подрібнення, а цільова фракція відбирається в результаті класифікації за допомогою гідравлічних або повітряних сепараторів відповідно при сухому і мокрому помолі. При вмісті у вихідному матеріалі не менше 30-40 % необхідного тонкого продукту подрібнення у відкритому чи замкнутому циклі проводять з попередньою класифікацією сировини. При високому ступені подрібнення різко зростає витрата енергії. З метою його зниження процес здійснюють у кілька стадій (зазвичай у дві, рідше в три), направляючи матеріал у встановлені послідовно млини для грубого, середнього та тонкого подрібнення.

На рисунку 1.2 приведена схема мокрого подрібнення в кульовому млині в замкнутому циклі.

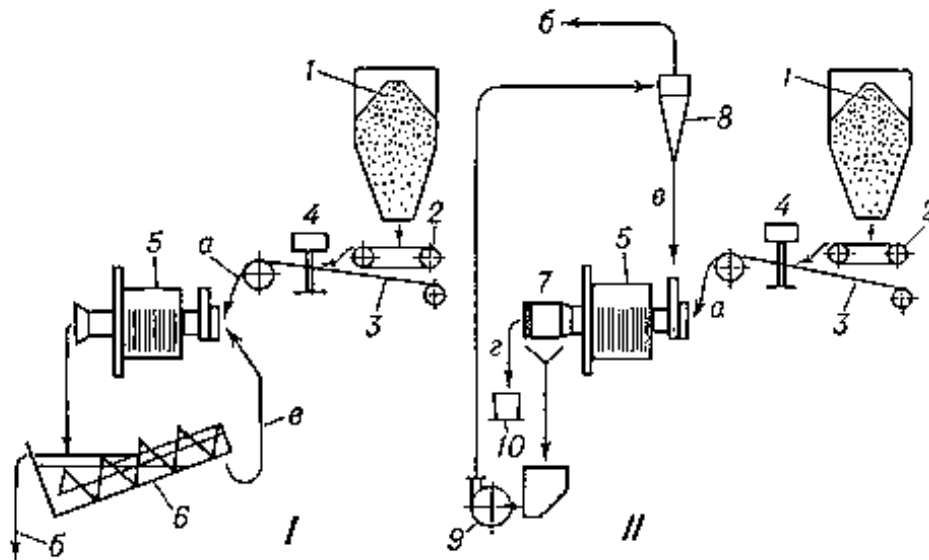


Рисунок 1.2 – Схема мокрого подрібнення в кульовий млині в замкнутому циклі зі спіральним класифікатором I і з гідроциклоном II:

- 1 – бункер роздробленої руди;
- 2 – живильник руди;
- 3 – конвеєр стрічковий;
- 4 – ваги конвеєрні;
- 5 – млин кульовий;
- 6 – класифікатор спіральний;
- 7 – грохот барабанний;
- 8 – гідроциклон;
- 9 – насос Пескова;
- 10– контейнер (а – дроблена руда дрібніше 30 мм; б – подрібнена руда – слив дрібніше 0,2 мм; в – піски, оборотний продукт; г – уламки куль, шматки руди).

Далі розглянемо принцип роботи млина та основні показники системи подрібнення.

1.3 Характеристика кульових млинів

Кульові млини з центральним розвантаженням типу МШЦ використовуються в одно- і многостадіальних подрібнення установках для подрібнення роздробленої

руди крупністю 30-5 мм і продуктів крупністю до 0,05 мм. Млини типу МШЦ працюють в замкнутому циклі з класифікуючими апаратами і у відкритому циклі.

У млин завантажують сталеві або чавунні кулі різної крупності (від 40 до 150 мм) приблизно на половину її обсягу.

Вихідний матеріал (рис.1.3) завантажується в млин живильником 9, а піски, що повертаються на повторне подрібнення з класифікатора, за допомогою улиткового черпака. Під час обертання барабана млина кулі, перекочуючись, ковзаючи і падаючи, подрібнюють зерна корисної копалини. Горловина розвантажувальної цапфи має трохи більший діаметр, завдяки чому відбувається рух пульпи в бік розвантаження.

Розвантаження пульпи з млина типу МШЦ відбувається шляхом вільного зливу через отвір в розвантажувальній цапфі. Рух пульпи уздовж осі млина відбувається за рахунок різниці рівнів отворів в завантажувальній і розвантажувальній цапфах. Заповнення барабана пульпою визначається діаметром отвору в розвантажувальній цапфі. Для утримання в барабані необхідної кількості куль в патрубку розвантажувальної цапфи встановлюється діафрагма з щілиновидними отворами або патрубок 11 виконується із зворотного спіраллю. В останньому випадку металевий скрап (осколки куль і зношені кулі) накопичується в млині і потрібно періодична заміна подрібнювального середовища.

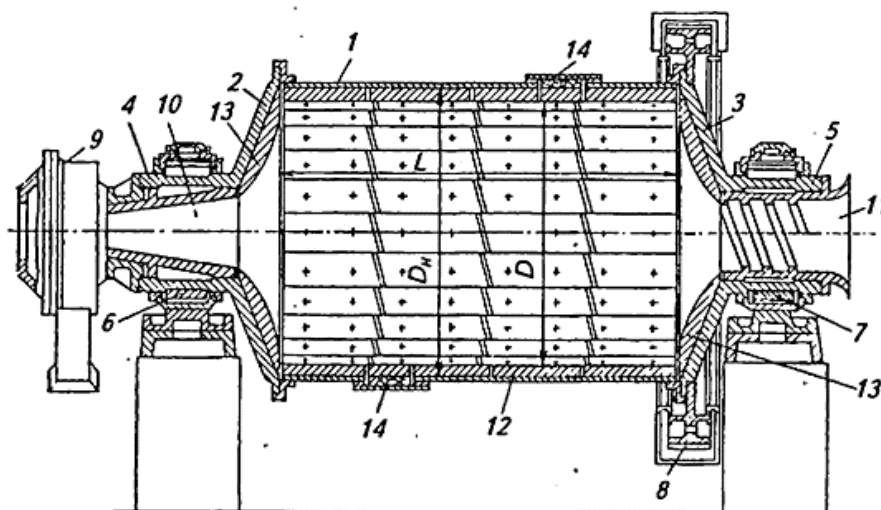


Рисунок 1.3 – Кульовий млин з центральним розвантаженням МШЦ

Кульовий млин з центральним розвантаженням для мокрого подрібнення МШЦ відповідно рис.1.3. складається з: 1 – барабан; 2 – завантажувальна кришка,

3 – розвантажувальна кришка, 4 і 5 – порожнисті цапфи; 6 і 7 – підшипники; 8 – венцова шестерня; 9 – комбінований живильник; 10 і 11 – захисні завантажувальна і розвантажувальна втулки; 12 – футеровка циліндричної частини барабана; 13 – футеровка кришки барабана; 14 – люк.

Технічні характеристики млина знаходяться в табл.1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики, опис МШЦ-4500х6000:

Характеристики	Значення
1	2
Внутрішній діаметр барабана (без футеровки), мм	4430
Довжина барабана (без футеровки), мм	6010
Номінальний об'єм барабана, м ³	82
Номінальна частота обертання барабана, об/хв	16,6
Ступінь заповнення подрібнюючими тілами, %	42
Потужність електродвигуна головного приводу, кВт	2500
Споживана (розрахункова) потужність, кВт	2200
Габаритні розміри:	
довжина, мм	16000
ширина, мм	9100
висота, мм	6800
Маса млина, кг	275000
Питома витрата електроенергії, кВт/м ³	26,8
Маса млина з електричним устаткуванням, т	312
Напруга, В	6000
Частота обертання барабана, с ⁻¹	0,3
Продуктивність, т/год.	120...340
Максимальна маса подрібнюючих тіл, т	120

З усіх технологічних процесів гірничо-збагачувального комбінату подрібнення є найбільш енергоємним процесом. Його частка в енергоспоживанні ГЗК становить 55-60 %. Річне ж споживання енергії ГЗК, що переробляє близько 30 млн. т руди в рік перевищує 1,5 млрд. кВт·год. Необхідно відзначити, що оптимізація режиму енергоспоживання тісним чином пов'язана з оптимізацією управління заповнення млина матеріалом для подрібнення, тобто рудою.

Відхилення ступеня заповнення щодо оптимального значення призводить до зниження продуктивності по вихідній руді і, отже, до зниження ефективності щодо оптимального значення. Так, надмірне збільшення продуктивності призводить до перевантаження млина, недомолу матеріалу, зростанню витрати пісків і, як

наслідок, до вимушеного зменшення продуктивності. Тому одним з найважливіших завдань управління процесом подрібнення є підтримання оптимального внутрішньомлиного заповнення матеріалом для подрібнення.

Отже проаналізувавши вище сказане, можна дійти до висновку, що основним параметром для регулювання процесу подрібнення руди в млині, є регулювання завантаження руди в млин. Саме система регулювання подачі руди в млин і потребує додаткової автоматизації, що суттєво вплине на продуктивність роботи.

2 Огляд існуючих рішень та обґрунтування вибору прийнятого принципу побудови системи

2.1 Методи регулювання завантаження млина

Проблема регулювання подачі матеріалу в млин є актуальною для будь-якої рудо-збагачувальної фабрики.

При збагаченні руди використовуються різні методи та схеми регулювання завантаження млина рудою, а саме:

1. Вібраційний метод.
2. Віброакустичний метод.
3. Схема регулювання завантаження за рівнем шуму.
4. Метод завантаження бункерів.
5. Метод регулювання завантаження по циркулюючому навантаженні.
6. Схема підтримання постійної витрати руди в млині.
7. Ваговий метод.

Розглянемо найбільш розповсюджені системи контролю подачею руди.

Система на основі аналізу вібрацій

Новий продукт під назвою MineralScan MillSlicer використовують останню технологію цифрової обробки сигналів (DSP), а також найсучасніші високошвидкісні канали радіочастотної передачі даних з наднизьким споживанням енергії для отримання надійної інформації про рівень вібрацій в реальному часі як від опорних підшипників, так і від барабана млини.

Положення датчика на барабані млина градується за допомогою легко встановлюваної магнітної штанги. Ця інформація про положення дозволяє визначити місце максимального удару кульки по млину.

Система Mill Slicer забезпечує замір структури статичної вібрації і вібрації обертання в режимі реального часу, що допомагає операторам млини запобігати пошкодженню бронеплит і скоротити витрати.

Перевагами даної системи є:

- зниження вартості продукції і споживаної енергії;
- зниження середньоквадратичного відхилення від стандартного розміру часток на виході;
- скорочення зносу гільзи за рахунок більш ефективного управління млином і збільшення рівня завантаження.

Системи на основі віброакустичного сигналу

Апаратно-програмний комплекс контролю завантаження млинів «ВАЗМ-1» призначений для оперативного контролю параметрів роботи (завантаження вихідною сировиною, тілами, що мелють, водного режиму) млинів різного типу (кульових, стрижневих, самоподрібнення) на основі комплексного аналізу віброакустичних сигналів.

Даний сигналізатор складається з таких компонентів:

1. Мікрофонний пристрій.
2. Вібродатчик (акселерометр).
3. Підсилювач вхідних сигналів.
4. Контролер ВАЗМ-1.
5. Модуль вихідного сигналу.

Переваги системи:

1. Висока достовірність контролю завантаження подрібнюючого агрегату сировиною, тілами, що мелють і водою, а в ряді випадків, і ступеня зносу мелючі і футеровки.
2. При оснащенні певними датчиками, які контролюють гранулометричний склад, щільність пульпи, активну потужність млина, а також виконавчими механізмами даний комплекс є основою локальної системи автоматизованого управління подрібнювальним процесом.

Схема регулювання завантаження за рівнем шуму.

Головними факторами, що впливають на рівень шуму млини, є продуктивність млина по руді, крупність руди, циркулююче навантаження, витрата води, кульове завантаження і технічний стан млина.

Відзначимо деякі особливості схеми звукометричних регулювання завантаження млина рудою.

1. На рівень шуму млина значно впливає циркулююче навантаження, яке залежить від щільності зливу класифікатора. Так, зміна змісту твердого в зливні класифікатора на 1 % викликає у відповідь зміна циркулюючого навантаження на 15-20%.

2. Регулювання завантаженням млина за рівнем шуму при переробці руд з різко змінною якістю не може забезпечити заданий гранулометричний склад продуктів подрібнення, що істотно впливає на технологічні показники роботи замкнутого циклу подрібнення.

3. На рівень шуму млина істотно впливає технічний стан млина, кількість тіл, що мелють і ряд інших факторів. Тому регулятори, що працюють на основі рівня шуму млина, потребують частого підстроювання.

Типовим пристроєм регулювання завантаження млина рудою за рівнем її шуму є комплектна установка «Звук». Функціональна схема установки показана на рис. 2.1.

Система регулювання включає три контури:

- регулювання завантаження млина 6 рудою за величиною частотно-амплітудного сигналу шуму млина;
- стабілізація густини зливу класифікатора 7;
- стабілізація співвідношення руда/вода в живленні млина.

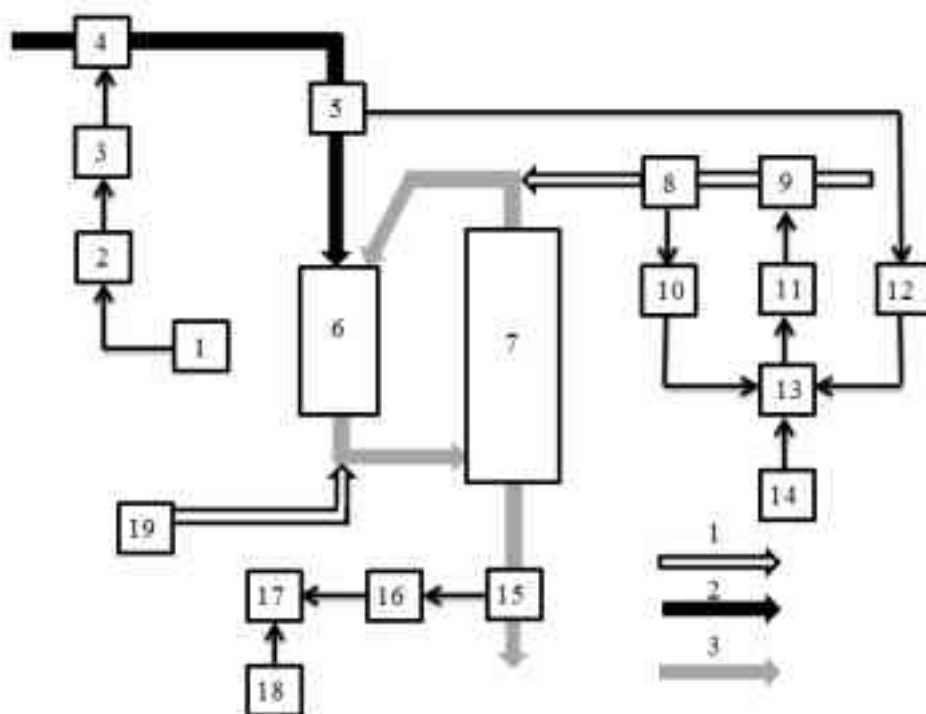


Рисунок 2.1 – Функціональна схема установки «Звук»:

1 – вода, 2 – руда, 3 – пульпа.

На деяких збагачувальних застосовують тензометричний датчик для вимірювання ступеня заповнення барабана млина рудою.

Недоліками даної системи є:

- велика кількість елементів системи;
- на точність вимірювання може впливати шум сусідніх млинів.

АСУ ТП контролю руди в параболічному бункері конвеєрів

Призначена для контролю рівня руди в параболічних бункерах конвеєрів та дистанційного керування з автоматичним позиціонуванням автостелами з метою рівномірного завантаження бункерів, а також надання інформації диспетчеру установки.

Автостела - механізм, призначений для завантаження матеріалу за розміром шматків руди з конвеєра у відповідні бункери.

Особливості системи АСУ ТП контролю руди в параболічних бункерах конвеєрів:

- продовження терміну служби механічних частин трансмісії автостели за рахунок використання частотних перетворювачів і реалізації плавного пуску/зупинки;

- контроль некерованого переміщення автостели за допомогою автоматичного повернення автостели на необхідну позицію у випадку некерованого зміщення в бік руху стрічки при незадовільному стані гальм;

- оперативне заповнення бункера на початковому етапі за рахунок більш частоті зміни позиції, що дозволяє забезпечити можливість відбору руди по всій його довжині;

- захист від переповнення допомогою автоматичного переміщення на позицію з мінімальним рівнем при досягненні аварійного верхнього рівня.

Ефективність впровадження АСУ ТП:

- підвищення ефективності завантаження бункерів за рахунок мінімізації впливу людського фактора;

- поліпшення якості управління технологічним процесом за рахунок устаткування виробництва сучасними технічними засобами, підвищення оперативності, повноти та достовірності подання інформації про стан технологічного процесу;

- підвищення ефективності та оперативності роботи диспетчера установки;

- посилення технологічної дисципліни технологічного та обслуговуючого персоналу шляхом контролю і протоколювання дій;

- поліпшення умов роботи технологічного та обслуговуючого персоналу за рахунок централізації функцій контролю, управління, діагностики;

- забезпечення керівників і фахівців виробничої інформацією шляхом передачі даних в інформаційну систему управління виробництвом.

Метод регулювання завантаження по циркулюючому навантаженні.

Регулювання завантаження млина рудою по циркулюючому навантаженні визначається з допомогою датчика циркулюючого навантаження, сигнал з якого поступає на вторинний прилад і далі на регулятор, керуючий виконавчим механізмом живильника руди.

Сутність аналізованого методу регулювання полягає в тому, що при постійній густині зливу класифікатора, підтримуваної спеціальним регулятором, циркулююче навантаження класифікатора визначає якість перероблюваної руди.

Основний недолік цього методу регулювання полягає в значному запізненні реакції циркулюючого навантаження на обурення з вихідному живленні.

Велике запізнювання не може забезпечити швидку реакцію регулятора на зміну якості вихідної руди. У результаті цього не забезпечується сталість циркулюючого навантаження.

Як показали промислові випробування розглянутого методу регулювання, коливання циркулюючого навантаження відбувалися з періодом 1,5-2 год.

Відповідно змінювалися всі інші параметри процесу: живлення млина, гранулометричний склад твердого в розвантаженні млина і в зливі класифікатора та інше.

Схема підтримання постійної витрати руди в млині.

З бункера руда надходить на тарілчасті живильники, звідки регулюючими ножами розвантажується на конвеєр і через конвеєрні ваги направляється в млин. Сигнал датчика навантаження конвеєрних ваг надходить на вторинний прилад, а потім на регулятор, в якому порівнюється із завданням. Сигнал неузгодженості викликає спрацювання виконавчого механізму, що змінює положення регулюючого ножа на живильнику і тим самим величину витрати руди в відповідності зі знаком неузгодженості таким чином, щоб привести витрату руди до заданого значення.

Достоїнство цієї схеми регулювання полягає в простоті, однак доцільно використовувати такий метод на фабриках, які перероблюють руди з порівняно постійними фізико-механічними властивостями і гранулометричним складом.

Система автоматичної стабілізації витрати руди в млині на безконтактних елементах із застосуванням станції управління ППА 9854 - 43А1.

Блок-схема автоматичної стабілізації витрати руди в млині показана на рис.2.2.

Руда надходить одночасно з декількох тічок бункера на горизонтальний конвеєр 1 з регульованим приводом 12 постійного струму.

Зважування руди здійснюється за допомогою конвеєрних ваг типу ЛТМ, встановлених на похилому конвеєрі 2, що подає руду в млин 3. Сигнал,

пропорційний миттєвому навантаженню ваг, з датчика 4 ДРВ - Н06 надходить в нормуючий перетворювач 6 НП- ПМ, з перетворювача він подається на вторинний реєструючий і показуючий прилад 5 Н-340 і паралельно на вхід регулятора 7 КП1-УП, забезпеченого задатчиком ручної корекції 8. Вихідний сигнал регулятора посилюється в станції управління 11 і прямує на двигун 12.

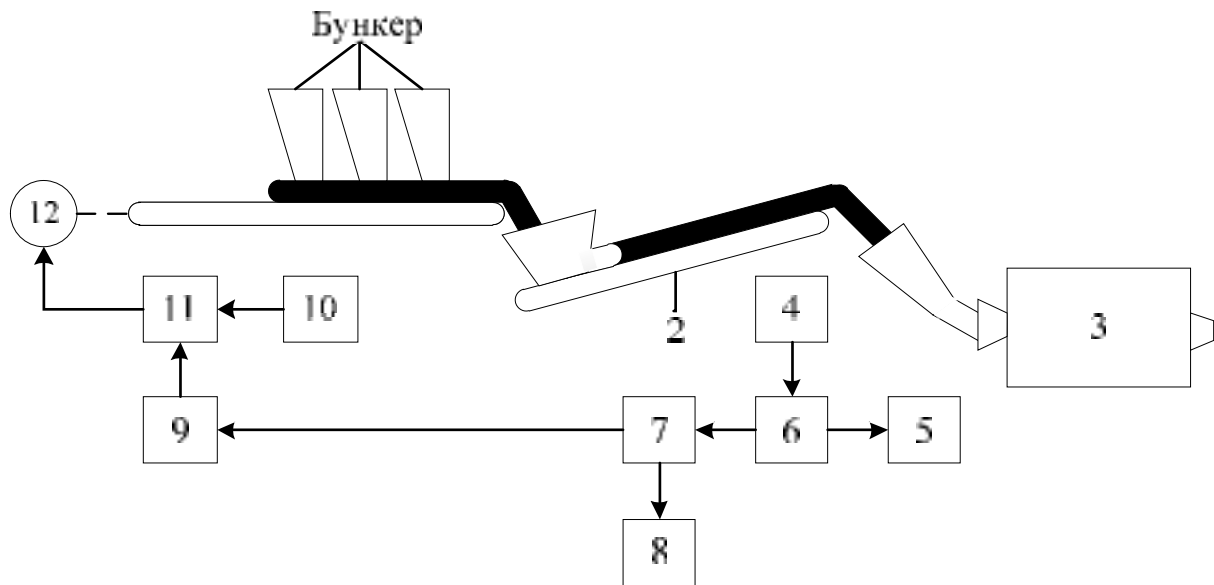


Рисунок 2.2 – Блок-схема автоматичної стабілізації витрати руди в млині з використанням безконтактних елементів

Перемикач 9 служить для вибору режиму роботи системи (ручний – автоматичний). Передбачено також ручне місцеве управління швидкістю двигуна 12 за допомогою датчика 10. Використання в схемі регулювання конвеєра в якості регульованого живильника руди, а також подача руди одночасно з декількох течок бункера (по його довжині) значно підвищили надійність системи і забезпечило високу якість роботи подрібнювального відділення.

Система з використанням конвеєрних вагів.

На сьогодні дані системи використовуються найбільш часто в збагачувальній промисловості, адже можна легко контролювати швидкість руху конвеєра та вагу поданої на нього руди.

Конвеєрні ваги з однією роликової опорою Milltronics MMI – поворамні конвеєрні ваги з кількома роликовими опорами, що забезпечують високу точність; вони розраховані на велике навантаження при використанні в критичних задачах

контролю виробництва і вивантаження. Зовнішній вигляд конвеєрних ваг зображений на рис. 2.3, а опис технічних характеристик знаходиться в табл. 2.1.



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд конвеєрних вагів.

Таблиця 2.1 – Технічний опис конвеєрних ваг Milltronics MMI-2

Цемент, хімія, вугілля, продукти	Цемент, хімія, вугілля, продукти
Типові застосування	Важкі промислові застосування
Точність	$\pm 0.25\%$
Номінальний режим, %	від 20 до 100
Максимальна швидкість стрічки, м/с	5
Максимальна продуктивність, т/ч	12000

Принцип дії системи наступний. Чутливими елементами ваг є тензодатчики, що сприймають вертикальну складову ваги стрічки конвеєра з матеріалом на ній. Тензометричні датчики генерують електричний сигнал, пропорційний навантаженню. Оскільки витрата матеріалу залежить від швидкості стрічки, для подачі сигналу пропорційно швидкості стрічки використовується датчик швидкості. Сигнал тензодатчиків і датчика швидкості реєструються на електронному інтеграторі. В результаті обчислюється поточна і сумарна витрата матеріалу. На ваговому мості MMI-2 встановлено 4 високоточних тензометричних датчика. Ваги просто встановлюються на конвеєр і можуть бути закріплені вісьмома болтами і наявними роликами, в свою чергу закріпленими на динамічній балці. Так як рухомі частини у приладу відсутні, обслуговування зводиться до мінімуму, необхідно тільки періодично перевіряти калібрування. Працюючи спільно з мікропроцесорним інтегратором, MMI-2 забезпечує відображення на

екрані: витрати в конкретний момент часу, сумарної витрати, навантаження на стрічку і швидкості потоку сипучих матеріалів на стрічковому конвеєрі.

Переваги:

- автоматичне обнулення і електронне калібрування діапазонів;
- сигнали тривоги для поточної витрати, навантаження, швидкості або помилок при діагностиці;
- вбудована підтримка інтерфейсу Modbus, опції для підтримки інтерфейсів PROFIBUS DP, Allen - Bradley RIO і DeviceNet;
- повний набір функцій для управління ваговими дозаторами;
- функції управління ПІД-регулятором і оперативне калібрування при використанні додаткової плати аналогового введення-виведення;
- диференціальне визначення швидкості з використанням другого датчика швидкості;
- вхід вимірювача вологості при використанні додаткової плати аналогового введення-виведення для розрахунку сухої ваги;
- вхід вимірювача нахилу при використанні додаткової плати аналогового введення-виведення для компенсації нахилу конвеєра.

Незважаючи на ряд переваг даної системи вона має певні недоліки, а саме високу ціну, велику споживчу потужність системи. Тому використовуючи даний метод регулювання подачею руди в млин створимо іншу систему автоматичного регулювання, яка буде задовольняти всі необхідні вимоги.

Для системи поставимо наступні умови:

- перерегулювання - не більше 30%.
- час регулювання – не більше 2 с.
- запас по модулю – 15 дБ.
- запас по фазі – не менше 30°.

3 Опис та обґрунтування обраних проектних рішень та конструкцій

3.1 Розробка та опис схем структурних і функціональних

Структурна схема системи автоматизації, яку планується розробляти, представлена на рис.3.1.

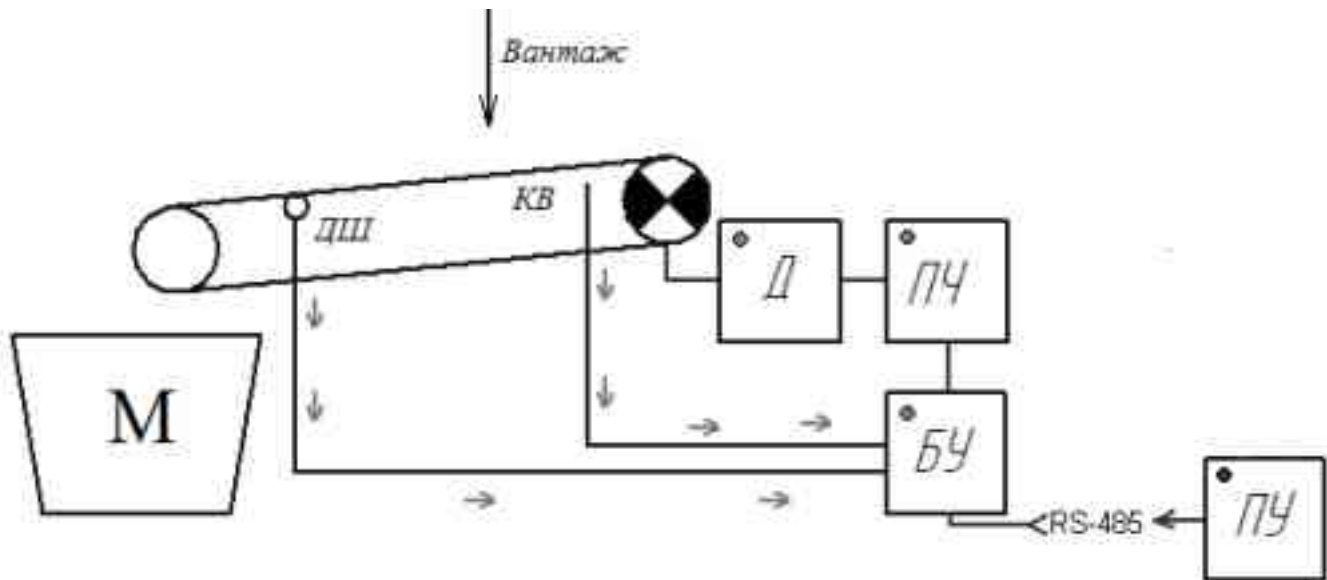


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи автоматизації

Система складається з перетворювача частоти ПЧ, підключеного до приводного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором - Д; блоку управління перетворювачем частоти БУ; пульта управління ПУ, який здійснює функції збору, обробки інформації та видачі керуючих команд на БУ, а також передачі інформації на поверхню.

Інформація з датчика швидкості ДС і конвеєрних ваг КВ надходить у блок управління БУ, де відбувається її обробка (порівняння з уставкою, що задається ПУ) і видача керуючого (аналогового) сигналу на ПЧ. Блок БУ також забезпечує плавний пуск двигуна конвеєра.

Пульт управління ПУ здійснює керування пуском конвеєрної лінії, виробляє управління швидкістю всієї лінії в залежності від навантаження, здійснює зупинку лінії в аварійних режимах і з причини незавантаженості, передає інформацію про стан лінії диспетчеру на поверхню.

Обмін даними між ПУ і БУ проводиться по інтерфейсу RS485. БУ передає дані про стан параметрів окремого конвеєра, на підставі яких ПУ здійснює узгоджене управління всієї конвеєрної лінією.

Функціональна схема автоматизації конвеєра представлена на рис.3.2. Заданий алгоритм пуску забезпечується системою управління блоку БУ, керуючий вихідний сигнал якого здійснює завдання параметрів ШІМ-модулятора перетворювача частоти ПЧ.

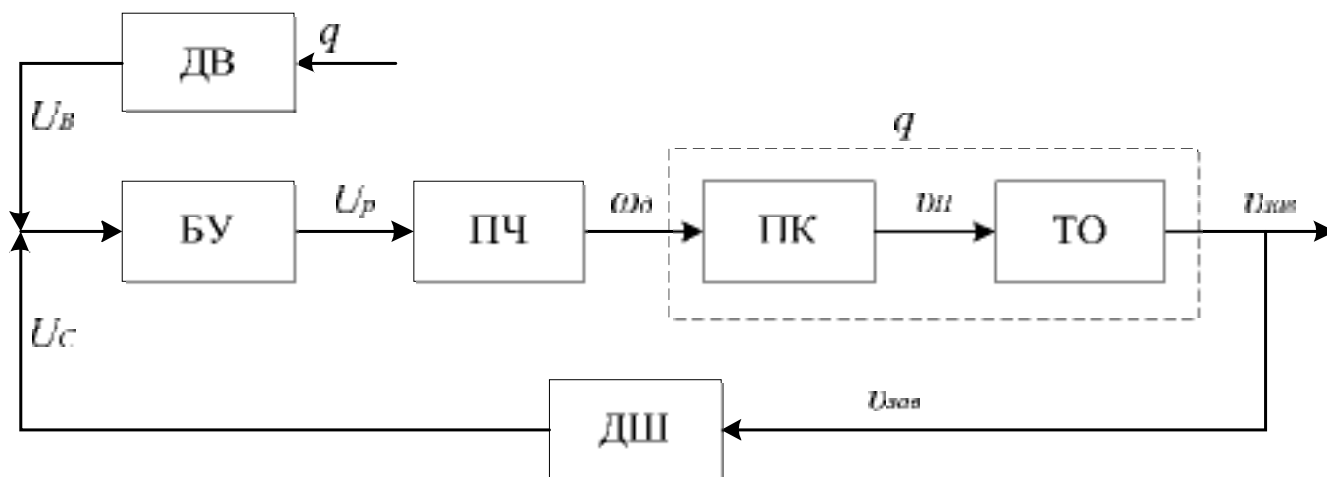


Рисунок 3.2 – Схема автоматизації окремого конвеєра

Об'єктом регулювання в САР є конвеєр, представлений двома ланками: приводом конвеєра ПК, вхід якого - частота обертання валу двигуна ω_a , а вихід - швидкість стрічки на приводних барабанах v_n , і тяговим органом ТО, вхід якого - швидкість v_n , а вихід - швидкість стрічки у місця завантаження $v_{зав}$.

Сигнали з датчиків швидкості і ваги U_c і U_b надходять у блок керування БУ, де відповідно до завдання здійснюється вироблення керуючої напруги U_p , яка вводиться в систему ПЧ і відбувається зміна швидкості приводного двигуна і стрічки.

3.2. Вибір та обґрунтування окремих вузлів, блоків, елементів

3.2.1 Вибір конвеєра

Конвеєр, для живлення млина рудою – стаціонарний стрічковий конвеєр з нахилом УКЛС-1000 з гумово-тканинною стрічкою, зовнішній вигляд якого зображений на рис. 3.3, а технічні характеристики знаходяться в табл. 3.1.



Рисунок 3.3 – Стационарний стрічковий конвеєр з нахилом УКЛС-1000.

Він складається з трьох основних частин: приводна станція, натяжна станція і лінійні секції, кількість яких залежить від довжини конвеєра (може досягати декількох кілометрів).

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики стаціонарного стрічкового конвеєру з нахилом УКЛС-1000 з гумово-тканинною стрічкою.

Швидкість руху стрічки, м/с	0,2 - 3
Ширина стрічки, мм	1000
Продуктивність, м ³ /год	до 1100
Довжина конвеєра, м	3 - 8
Діаметр барабанів, мм	530 - 1200
Натяжний пристрій	гвинтовий – крок натяжки 500-800 мм, рамковий
Кут нахилу до горизонту	не більше 30°
Привід (на вибір)	мотор-редуктори фірм BAUER Danfoss, SEW-EURODRIVE, NORD, Flender, редуктор + ел/двигун + тормоз + рама + клинопаскова передача

Профіль перетину робочої гілки	прямий, жолобчатий
Напруга живлення, В	220/380, 380/660
Діаметр роликів, мм	127-159
Діаметр приводного барабану, мм	530 1200
Діаметр натяжного барабану, мм	400-1000
Діаметр барабану, що відхиляється, мм	400-1000
Діаметр барабанів, мм	1150

У рух конвеєрну стрічку призводить привод. Приводна станція складається з приводного барабана і приводу в зборі (найчастіше мотор-редуктора).

Натяжна станція відповідає за натяг стрічки, вона складається з натяжного барабана і натяжного пристрою, який буває гвинтовим, вантажним візковим, вантажним рамним (вертикальним).

Приводна і натяжна станції монтуються на опори, роликоопори монтуються на лінійні секції, які підтримуються стійками. Іноді нижню гілку стрічки підтримують прямі верхні роликоопори, змонтовані на опори з кронштейном.

У комплект стрічкового конвеєра типу УКЛС може входити:

- приводна станція (зібрана або розібрана в межах прийнятних для транспортування автомобільним або залізничним транспортом, в стані підвищеної монтажної готовності);
- натяжна станція в зборі;
- роликоопори з роликами;
- відхиляючі барабани в зборі;
- очисні пристрої стрічки;
- канатні вимикаючі пристрої;
- важільні вимикаючі пристрої;
- пристрої автоматики, аварійні, запобіжні пристрої;
- стрічка ризинотканинна конвеєрна;
- конвеєрний став з опорами;
- укриття робочої гілки конвеєра;

- сітчаста огорожа робочої гілки конвеєра з двох сторін;
- завантажувальна воронка, приймальний стіл, розвантажувальна тічка;
- площадки обслуговування, трапи, поручні та інші металоконструкції.

3.2.2 Вибір датчика ваги

Багато задач сучасної ваговиміральної техніки передбачають подальшу обробку результатів зважування або їх використання для управління процесами. Вхідною величиною таких перетворювачів звичайно є зусилля, що розвивається масою, яка підлягає зважуванню, а їх вихідною величиною - електрична, пневматична або гідравлічна величина. Зазвичай датчик ваги складається з деформованого елемента, вкрай жорсткої пружини і датчика, що перетворює деформацію пружини в іншу, найчастіше електричну величину.

Датчики ваги описують наступними характеристиками:

- видом вихідного сигналу;
- вимогами до лінії передачі вихідного сигналу;
- динамічною характеристикою;
- лінійністю статичної характеристики;
- варіацією показань;
- гістерезисом;
- температурною характеристикою;
- впливом заважаючих впливів;
- експлуатаційною надійністю;
- надійністю (вірогідністю) результатів вимірювань;
- впливом навколишнього середовища;
- видом використовуваної зовнішньої енергії.

Електромеханічні датчики ваги. Датчики ваги з тензорезисторами.

Датчики ваги з тензорезисторами є в даний час найбільш точними силосимірвальними пристроями, застосовуваними для зважування. Поряд з

тензорезисторами в датчики ваг вбудовані опори, призначені для налаштування мостової схеми в процесі виготовлення, що забезпечує взаємозамінність датчиків, а також можливість при необхідності включати в загальну схему декілька датчиків. Характеристика тензометричного вагового датчика вказує величину вихідної напруги в мілівольтах при номінальному навантаженні, віднесена до 1В напруги живлення. Зазвичай ця величина складає 1-2мВ/В. Перевантаження в 150% номінальної не викликає зсуву нуля. При перевантаженнях до 500 % номінального значення механічні пошкодження також не виникають.

Магнітопружні датчики ваги.

Магнітопружний ефект обумовлює у відповідних матеріалах (пермалой), що піддаються навантаженню, зміна їх магнітної сприйнятливості. Такий матеріал використовують як осердя обмотки, повний опір якої знижується при збільшенні навантаження внаслідок зменшення магнітної сприйнятливості. Однак лінійний діапазон характеристики недостатній для здійснення точних вимірювань.

Індуктивні датчики ваги.

У індуктивних датчиках зміна індуктивності обмотки викликається зміщенням залізного сердечника під дією вимірюваного зусилля.

Іонізаційні методи вимірювання.

Зважування із застосуванням радіоактивних ізотопів можна здійснювати двома методами: методом просвічування (абсорбції) і методом розсіювання.

Обираємо конвеєрні ваги ВКТ-4 на базі тензорезистора, зовнішній вигляд яких показаний на рис.3.4, а технічні характеристики в табл.3.2.



Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд конвеєрних ваг ВКТ-4.

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики конвеєрних ваг ВКТ-4.

Найбільші межі продуктивності, т/год.	5, 10, 25, 50, 100, 250
Відносна похибка, %	0,5; 1
Лінійна щільність матеріалу, кг/м	від 10 до 450
Ширина стрічки конвеєра, мм	від 500 до 1600
Кут нахилу конвеєра, град.	до 20
Швидкість стрічки, м/с	від 0,5 до 4,0
Температура навколишнього середовища, °C	від -10 до +50
Вихідний сигнал, мА	4-20 (0-5, 0-20) інтерфейс RS- 485
Живлення від мережі змінного струму частотою 50 Гц: Напруга, В Споживана потужність не більше, Вт	 220 30
Габаритні розміри, мм: вантажоприймального пристрої (залежать від ширини стрічки) для транспортера – з шириною стрічки 800 мм – мікроконтролера	 1650x300x690 310x420x120

Призначені для вимірювання поточних значень продуктивності і сумарної кількості кускових і порошкоподібних матеріалів, що транспортуються стрічковими конвеєрами в безперервно діючі технологічні агрегати (млини).

Ваги можуть бути використані в металургійній, хімічній, будівельній, харчовій та інших галузях промисловості.

У роботі ваг використано перетворення сигналів тензодатчика і датчика швидкості стрічки і формування сигналу про поточну продуктивності та кількості матеріалу, що пройшов через ваги наростаючим підсумком. Перетворення і формування сигналів здійснюються мікроконтролером.

Переваги вагів:

- можуть працювати на горизонтально і похило встановлених конвеєрах з широким діапазоном швидкостей стрічки;
- прості в експлуатації;
- надійні при роботі у важких промислових умовах (за наявності статичних і ударних перевантажень, запиленості);
- при експлуатації і профілактичних ремонтах не вимагають спеціальних налагоджувальних засобів.

3.2.3 Вибір двигуна

В якості виконавчого механізму обираємо асинхронний двигун АН 81-6.

Технічні характеристики двигунів приведені в табл.3.3. Зовнішній вигляд двигуна зображено на рис.3.5.



Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд двигуна АН 81-6.

Двигуни асинхронні серії АН8 - 11 габаритів з короткозамкненим ротором, призначені для роботи від мережі змінного струму частотою 50Гц, напругою 380В або 220В в якості приводу допоміжних механізмів.

Кліматичне виконання загальнокліматичне, категорія розміщення 5 – для роботи в приміщеннях з підвищеною вологістю (корабельних та ін.)

Призначений термін служби: 25-30 років до списання.

Виконання за ступенем захисту: брызгозахисне.

Конструктивне виконання двигунів за способом монтажу:

- горизонтальне – з фланцем і без нього; з одним робочим кінцем валу або двома;
- вертикальне – на лапах або без лап; з нормальним або подовженим кінцем валу.

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики двигуна АН 81-6.

Потужність, кВт	від 15 до 18,5
Частота обертання (синхронна), об/хв.	970
Ресурс роботи, тис. годин до списання	80-100
Інтервал температури навколишнього середовища, °С	від -40 до +45
Відносна вологість при температурі 40°С, %	95
ККД, %	85
$M_{\text{макс.}}/M_{\text{ном.}}$	2,2
Маховий момент, кг·м ²	1,23

3.2.4 Вибір частотного перетворювача

В якості регулюючого органу було обрано частотний перетворювач SIEMENS серії Micromaster 430 потужністю 18,5 кВт.

Зовнішній вигляд перетворювача знаходиться на рис.3.6, технічні характеристики в табл.3.4.

Перетворювач має наступні особливості:

- просте приєднання проводів;
- три вбудованих реле;
- 6 ізольованих перемикачів рпр/рпн дискретних входів;
- 2 аналогових входи: АІН 1 0 -10В, 0-20 мА або -10 до + 10 В; АІН 2 0-10 В, 0-20 мА;
- два аналогових входи можуть використовуватися як 7-й і 8-й дискретні входи;
- функції ВІСО технології;

- модульна конструкція забезпечує гнучкість конфігурації;
- висока частота комутації для безшумної роботи електродвигуна;
- детальна інформація про стан і вбудована функції повідомлень;
- зовнішні опції для обміну даними з комп'ютером, базова панель оператора і

Profibus.



Рисунок 3.6 – Зовнішній вигляд перетворювача SIEMENS
серії Micromaster 430

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики перетворювача

Потужність, кВт	18,50
Число фаз / напруга на вході та виході, В	3-ф/380 (три фази 380В)
М _{тах} (1 min)%	150
Струм номінальний, А	38
Струм в перебігу за 1 хвилину, А	57
ЕМС фільтр	є
Вбудований регулятор	ПД
Скалярний режим управління	є
Векторний режим управління без енкодера	є
Лінійний закон управління U/f	є
Квадратичний закон управління U/f ²	є

Спеціальні функції:

- каскадний запуск двигунів, режим енергозбереження, режим визначення "сухого ходу" насоса;
- вбудоване динамічне гальмування постійним струмом;
- комбіноване гальмування для покращення можливостей гальмування;
- програмуємий час розгону і гальмування для покращення можливостей гальмування;
- пуск на обертовий двигун;
- можливість налаштування на три різних приводи;
- вільні функціональні блоки.

Захисні функції:

- захист від підвищеної і зниженої напруг;
- захист перетворювача від перегріву;
- захист від замикання на землю;
- захист від короткого замикання;
- захист від перегріву двигуна по втратах;
- захист двигуна термісторами РТС / КТҮ.

3.2.5 Вибір мікроконтролера для системи

Прилад ATmega103 є 8-розрядним CMOS мікроконтролером з AVR вдосконаленою RISC архітектурою. Виконуючи більшість команд за один тактовий цикл, мікроконтролер ATmega103 забезпечує продуктивність 1 MIPS на кожен мегагерц тактової частоти, що дозволяє розробникам оптимізувати споживання, яке залежить в основному від тактової частоти.

AVR ядро базується на вдосконаленій RISC архітектурі, з регістровим файлом швидкого доступу, що містить 32 регістри загального призначення, безпосередньо пов'язаних з арифметико-логічним пристроєм (ALU), і потужною системою команд.

Мікроконтролер ATmega103 має такими характеристики:

- Структурна схема мікроконтролера зображена на рис.3.7

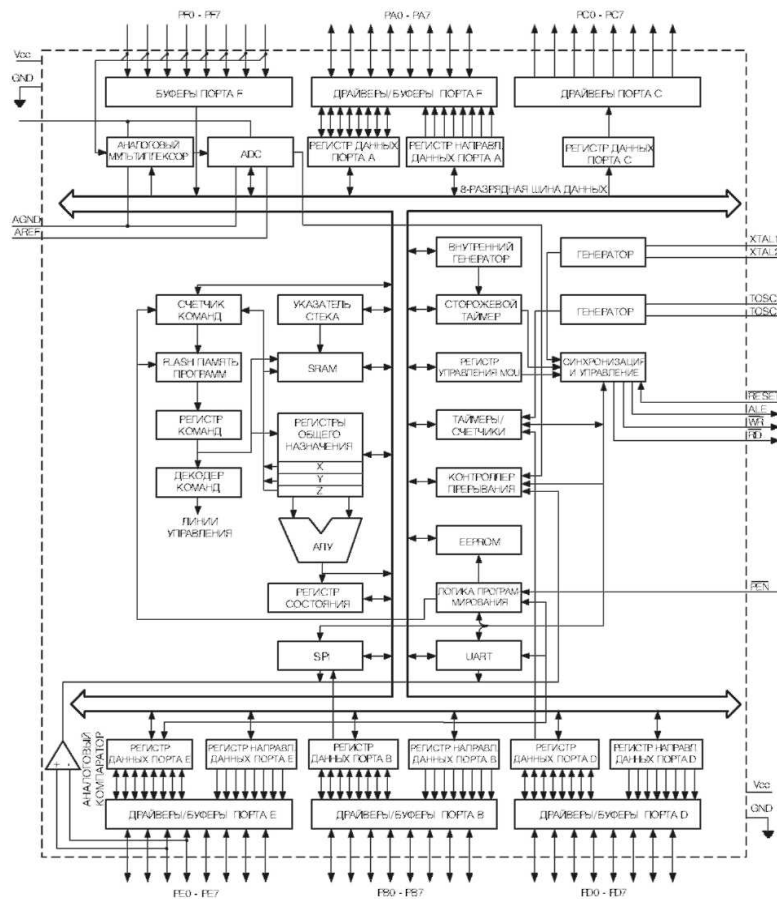


Рисунок 3.7 – Структурна схема мікроконтролера

Призначення виводів зображених на рис.3.8:

1 PEN – Вивід дозволу програмування в низьковольтному послідовному режимі програмування. При утриманні цього виводу на низькому рівні під час скидання по включенні живлення, прилад перейде в режим програмування по послідовному каналу.

2-9 Port E (PE7..PE0) – 8- розрядний двонаправлений порт I/O із вбудованими навантажувальними резисторами. Вихідні буфери забезпечують втікаючий струм 20 мА. При використанні виводів порту як входів і установці зовнішнім сигналом в низький стан, що впливає через них струм забезпечується тільки при підключених вбудованих навантажувальних резисторах.

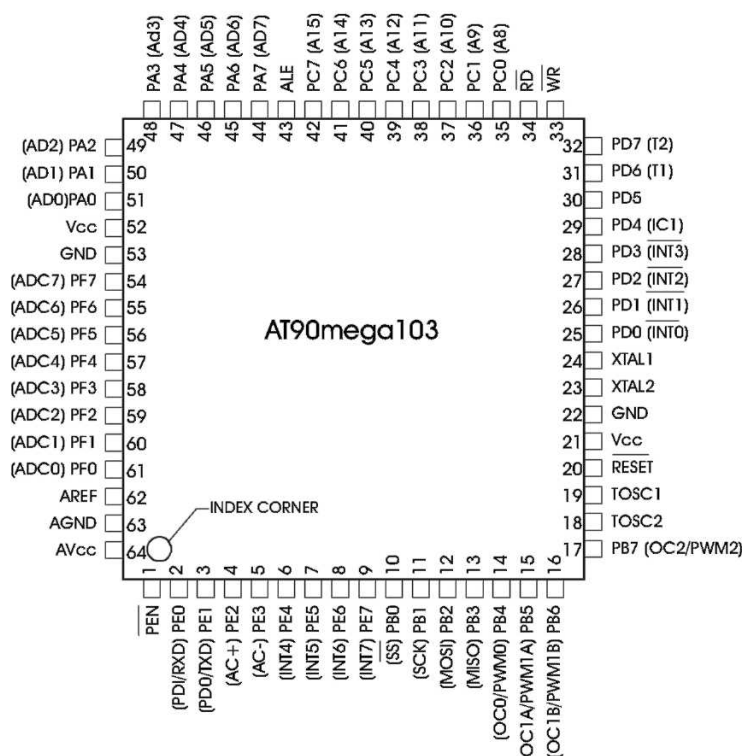


Рисунок 3.8 – Призначення виводів мікроконтролера

10-17 Port B (PB7..PB0) – 8-розрядний двонаправлений порт I/O із вбудованими навантажувальними резисторами. Вихідні буфери забезпечують втікаючий струм 20 мА. При використанні виводів порту як входів і установці зовнішнім сигналом в низький стан, струм буде витікати тільки при підключених вбудованих навантажувальних резисторах.

18 TOSC2 – Вихід підсилювача генератора таймера/лічильника, що інвертується.

19 TOSC1 – Вхід підсилювача генератора таймера/лічильника, що інвертується.

20 RESET – Вхід скидання. Для виконання скидання необхідно утримувати низький рівень на вході протягом двох машинних циклів.

21, 52 VCC – Напруга живлення.

22, 53 GND – Земля.

23 XTAL2 – Вихід підсилювача генератора, що інвертується.

24 XTAL1 – Вхід підсилювача генератора, що інвертується і вхід схеми вбудованого генератора тактової частоти.

25-32 Port D (PD7..PD0) – 8-розрядний двонаправлений порт I/O із вбудованими навантажувальними резисторами. Вихідні буфери забезпечують втікаючий струм 20 мА. При використанні виводів порту як входів і установці зовнішнім сигналом в низький стан, струм буде витікати тільки при підключених вбудованих навантажувальних резисторах.

33 WR – Строб запису зовнішньої SRAM.

34 RD – Строб читання зовнішньої SRAM.

35-42 Port C (PC7..PC0) – 8-розрядний порт виходу. Вихідні буфери забезпечують втікаючий струм 20 мА. Порт C використовується також як виходи адреси при використанні зовнішньої SRAM.

43 ALE – Строб дозволу фіксації адреси, що використовується для дозволу зовнішньої пам'яті. Строб ALE використовується для фіксації молодшого байта адреси в засувках адреси протягом першого циклу звернення, протягом другого циклу звернення, при зверненні до даних, використовуються виводи AD0 - AD.

44-51 Port A (PA7..PA0) – 8-розрядний двонаправлений порт I/O. До виводів порту можуть бути підключені вбудовані навантажувальні резистори (окремо до кожного розряду). Вихідні буфери забезпечують втікаючий струм 20 мА і здатні безпосередньо керувати LED індикатором. При використанні виводів порту як входів і установці зовнішнім сигналом в низький стан, струм буде витікати тільки при підключених вбудованих навантажувальних резисторах. Порт A, за наявності

зовнішньої SRAM, використовується в якості мультиплексуємої шини адреси/даних.

54-61 Port F (PF7..PF0) – 8-розрядний порт входу. Входи порту використовуються також як аналогові входи АЦП.

62 AREF – Вхід аналогової напруги порівняння для аналого-цифрового перетворювача. На цей вивід, для забезпечення роботи аналого-цифрового перетворювача, подається напруга в діапазоні між AGND і AVCC.

63 AGND – Цей вивід повинен бути приєднаний до окремої аналогової землі, якщо плата оснащена нею. В іншому випадку вивід під'єднується до загальної землі.

64 AVCC – Напруга живлення аналого-цифрового перетворювача. Вивід під'єднується до зовнішнього VCC через низькочастотний фільтр.

Додаткові функції виводів портів представлені в таблицях 3.5-3.7.

Таблиця 3.5 – Додаткові функції виводів порту В

Вивід	Додаткова функція
PBO	Вхід вибору веденого - SS (SPI Slave Select input)
PB1	Тактовий сигнал послідовної SPI шини - SCK (SPI Bus Serial Clock)
PB2	Установка Ведучий вихід / Ведений вхід SPI шини - MOSI (SPI Bus Master Output / Slave Input)
PB3	Установка Ведучий вхід / Ведений вихід SPI шини - MISO (SPI Master Input / Slave Output)
PB4	Порівняння виходу і PWM вихід таймера/лічильника0 -OCOА/PWMOА (Output Compare and PWM Output for Timer/Counter0)
PB5	Порівняння виходу і PWM вихід А таймера/лічильника1 - OC1A/PWM1A (Output Compare and PWM Output A for Timer / Counter1)
PB6	Порівняння виходу і PWM вихід У таймера/лічильника1 - OC1B/PWM1B (Output Compare and PWM Output Y for Timer / Counter1)
PB7	Порівняння виходу і PWM вихід таймера/лічильника2 -OC2/PWM2 (Output Compare and PWM Output for Timer/Counter2)

Таблиця 3.6 – Додаткові функції виводів порту D

Вивід	Додаткова функція
PD0	Вхід зовнішнього переривання0 - INT0 - (External Interrupt0 Input)
PD1	Вхід зовнішнього переривання0 – INT1 - (External Interrupt1 Input)
PD2	Вхід зовнішнього переривання0 – INT2 - (External Interrupt2 Input)
PD3	Вхід зовнішнього переривання0 – INT3 - (External Interrupt3 Input)
PD4	Вхід тригера захоплення таймера/лічильника1 - IC1 - (Timer / Counter1 Input Capture Trigger)
PD6	Вхід тактового сигналу таймера/лічильника1 - T1 - (Timer / Counter1 Clock Input)
PD7	Вхід тактового сигналу таймера/лічильника2 - T2 - (Timer/Counter2 Clock Input)

Таблиця 3.7– Додаткові функції виводів порту E

Вивід	Додаткова функція
PE0	Вхід програмованих даних або прийом UART (PDI / RXD)
PE1	Вихід програмованих даних або передача UART (PDO / TXD)
PE2	Позитивний вхід аналогового компаратора (AC +)
PE3	Негативний вхід аналогового компаратора (AC-)
PE4	Вхід зовнішнього переривання (INT4)
PE5	Вхід зовнішнього переривання (INT5)
PE6	Вхід зовнішнього переривання (INT6)
PE7	Вхід зовнішнього переривання (INT7)

Тактовий генератор XTAL1 і XTAL2 є входом і виходом, відповідно, інвертуємого підсилювача, який з використанням кварцового кристала або керамічного резонатора працює як вбудований генератор. Кварцовий кристал генератора таймера під'єднується безпосередньо до виводів OSC1 і OSC2. Зовнішні конденсатори не потрібні. Генератор оптимізований під часовий кварц із частотою 32,768 КГц. Зовнішній тактовий сигнал, що подається на ці виводи, надходить на

підсилювач з смугою пропускання 256 Гц. Таким чином частота зовнішнього сигналу повинна знаходитися в діапазоні від 0 до 256 КГц.

ALU - Арифметико-логічний пристрій. Високопродуктивне AVR ALU пов'язане безпосередньо з усіма 32 швидкодіючими регістрами загального призначення. За один тактовий цикл ALU виконує операцію між регістрами цього реєстрового файлу. Операції ALU підрозділяються на три основні категорії: арифметичні, логічні та операції над бітами.

Внутрішньосистемна програмована Flash пам'ять програм. Коди програм мікроконтролерів ATmega103 записуються в 64 Кбайт вбудованої Внутрішньосистемної програмованої Flash пам'яті. Оскільки всі команди мають формат одного або двох 16- розрядних слів, то і пам'ять програм має організацію 32Kx16. Flash пам'ять забезпечує не менше 1000 циклів стирання / запису. Таблиці констант можуть бути розміщені в будь-якому місці всього простору пам'яті програм.

Аналоговий компаратор порівнює рівні на позитивному виводу PE2 (AC+) і негативному виведенні PE3 (AC-). При напрузі на позитивному виводі PE2 (AC+) більшому, ніж напруга на негативному виводі PE3 (AC-), вихід аналогового компаратора АСО встановлюється до стану 1. Вихід компаратора може бути використаний для управління входом захоплення таймера/лічильника1. Крім того, компаратор може формувати свій запит переривання. Користувач може задати формування запиту на переривання по наростаючому або падаючому фронту або з перемикання.

Таймери/лічильники. Мікроконтролер ATmega103 оснащений трьома таймерами/лічильниками загального призначення – двома 8-розрядними і одним 16-розрядним. Таймер/лічильник0, на додаток до звичайного режиму, може тактуватися асинхронно від зовнішнього генератора. Цей генератор оптимізований під використання кварцового кристала на частоту 32768 кГц, що дозволяє використовувати таймер/лічильник 0 як годинник реального часу (Real Time Clock-RTC). Таймер/лічильник 0 оснащений своїм власним попереднім дільником. Таймери/лічильники 1 і 2 використовують виходи ступенів ділення загального 10-

розрядного попереднього дільника. Ці два таймера/лічильника можна використовувати як таймери з вбудованою тимчасовою базою або як лічильники, які перемикаються по стану на зовнішньому виводі.

Послідовний периферійний інтерфейс (SPI) забезпечує високошвидкісний синхронний обмін даними між мікроконтролером ATmega103 і периферійними пристроями або між кількома мікроконтролерами ATmega103.

Основні характеристики SPI інтерфейсу:

- повнодуплексний 3-дротовий синхронний обмін даними;
- режим роботи ведучий або відомий;
- обмін даними з переданими першими старшим або молодшим бітами;
- чотири програмовані швидкості обміну даними;
- прапор переривання по закінченні передачі.

UART-універсальний асинхронний приймач. Мікроконтролер ATmega103 оснащений повнодуплексним універсальним приймач (UART). Його основні можливості наступні:

- генератор забезпечує будь-яку швидкість передачі інформації;
- висока швидкість передачі при низькій частоті XTAL;
- 8-розрядний або 9-розрядний формати даних;
- фільтрація шуму;
- виявлення переповнення;
- виявлення помилок формування кадрів;
- детектування біта помилкового старту;
- три окремих переривання: по завершенню передачі (TX Complete), по порожньому регістру переданих даних (TX Data Register Empty) і по завершенню прийому (RX Complete).

Аналого-цифровий перетворювач.

Основні характеристики:

- дозвіл 10 розрядів;
- точність $\pm 1/2$ LSB;

- час перетворення 70... 280 мс;
- 8 мультиплексуємих каналів входу;
- режими циклічного і однократного перетворення;
- переривання по завершенню ADC перетворення;
- пристрій придушення шумів Sleep режиму.

Мікроконтролери ATmega103 оснащені 10-розрядним ADC послідовного наближення. ADC під'єднано до 8-канального аналогового мультиплексору, що дозволяє використовувати будь-який вивід порту F як вхід ADC. ADC містить підсилювач вибірки/зберігання, що утримує напругу входу ADC під час перетворення на незмінному рівні. Для живлення ADC використовуються два окремих виводи: AVCC і AGND.

3.2.6 Вибір дисплея

Для відображення ваги руди, яка знаходиться на конвеєрній стрічці використовується дисплей який підключається до даної системи.

Використовуємо рідиннокристалічний чотирьохрядковий дисплей NC1604A фірми NEWTEC, зовнішній вигляд якого зображений на рис.3.9, а технічні характеристики в табл..3.8.

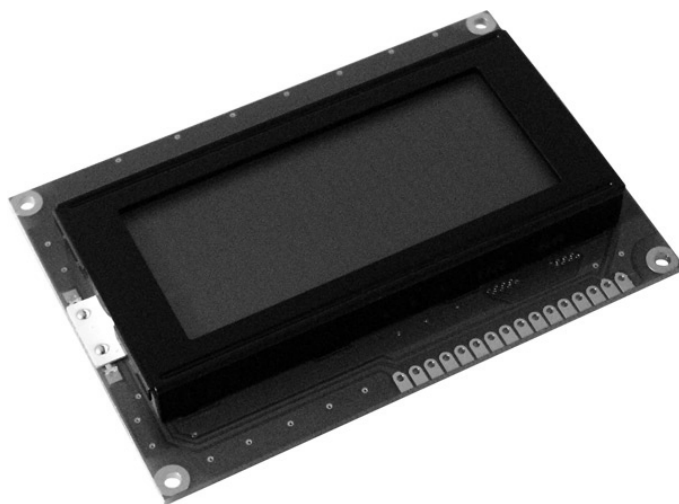


Рисунок 3.9 – Зовнішній вигляд дисплею

Таблиця 3.8 – Технічні характеристики дисплею NC1604A

Тип дисплею	LCD, символьний
Вбудований контролер	S6B0066U
Текстове розширення (x, y), символів	16, 4 симв
Технологія	STN
Тип підсвічування	LED
Колір точки	синій
Колір фону	жовтий
Оптимальний кут огляду	6
Розмір, мм	87 x 60
Робоча температура, °C	-20...70 °C

3.3 Розробка принципової схеми САР завантаження руди в млин

Мікропроцесорна система будується на основі мікроконтролера ATmega103, мікросхему, роботу та склад якого було розглянуто в пункті 3.2.5.

Схема системи працює наступним чином.

Сигнали від датчиків ваги та швидкості через роз'єми ХР2, ХР3 підключається до портів мікроконтролера PF.0 і PF.1 відповідно, за допомогою підсилювача для кожного з датчиків, так як цей порт має в собі АЦП.

Дисплей підключається до портів РА.0-РА.7 мікроконтролера для виведення даних та до портів РВ.1-РВ.3 для керування дисплеєм. На мікросхемі дисплея маємо наступні виводи:

- D0 ... D7 – це шина даних/адреси.
- E – стробуючий вхід. Всплеском напруги на цій лінії ми даємо зрозуміти дисплею що потрібно забирати/віддавати дані з/на шину даних.
- RW – визначає в якому напрямку у нас рухаються дані. Якщо 1 - то на читання з дисплея, якщо 0 то на запис в дисплей.

- RS – визначає що у нас передається, команда ($RS = 0$) або дані ($RS = 1$). Дані будуть записані в пам'ять за поточним адресою, а команда виконана контролером.
- GND – мінус, він же загальний.
- Vcc – плюс живлення, зазвичай 5V.
- V0 – вхід контрастності. Сюди потрібно подавати напругу від нуля до напруги живлення, тим самим задається контрастність зображення. Можна поставити змінний резистор, включений потенціометром і міняти контрастність, якщо потрібно.
- A – це вхід анода світлодіодного підсвічування, тобто плюс.
- K – відповідно катод, він же мінус.

Для управління дисплеєм підключаємо кнопки управління SA1-SA5 до мікроконтролера через порти PD.3-PD.7.

Для обміну інформацією з EOM використовуються виводи послідовного порту мікроконтролера RxD (порт PE.0), TxD (порт PE.1), та вхід переривання INTO (порт PE.4), до яких підключається інтерфейс RS-485.

Крім того інтерфейс RS-485 використовується для обміну інформацією з перетворювачем частоти, до якого підключений асинхронний двигун. На схемі перетворювач не зображений, але має на увазі що він підключений до виводів A31, A28, C22 роз'єму DIN41612 для управління, і виводів A25 та B26 для обміну даними.

Для кращої роботи інтерфейсу RS-485 використовуємо електричну схему з гальванічною розв'язкою. Розглянемо роботу схеми.

Електричні кола, ізольовані від корпусу приладу і від ланцюгів живлення, інших кіл частіше називають гальванічно розв'язаними. Основу схеми інтерфейсу з гальванічною розв'язкою становить мікросхема, зображена MAX1480 . Мікросхема містить елементи, що виключають електричний контакт між лінією зв'язку і схемою обробки інформації і в той же час дозволяють забезпечити надійний обмін даними. Для вирішення цього завдання застосовуються трансформатори та оптрони . Мікросхема , що забезпечує гальванічну розв'язку , виготовляється за гібридної технології і включає компоненти обох типів.

Усередині мікросхема містить дві ізольовані частини. Одна частина підключена до лінії зв'язку. Інша до виводів мікроконтролера і живлення електронного модуля. Для живлення ланцюгів, що працюють з лінією зв'язку, MAX1480 містить імпульсний перетворювач напруги, який використовує живлення схеми електронного модуля. Провід лінії: прямий балансний вхід-вихід А і інверсний балансний вхід-вихід У з'єднані з відповідними виводами мікросхеми DD1. Сигнальна земля лінії зв'язку з'єднана через резистор R1 із загальним проводом живлення кіл, що працюють з лінією зв'язку. Резистор R1 необхідний для захисту мікросхеми DD1 від пошкодження.

Гальванічну розв'язку переданого сигналу здійснює оптрон, що міститься в мікросхемі DD1. Режим роботи фотоприймача оптрона формуючого сигнал, переданий в лінію, встановлений опором резистора R4. Стабілітрон VD2 встановлює оптимальний режим оптрона, який дозволяє роботу оптрона передавача. Через резистор R5 надходить сигнал управління світлодіодом оптрона цифрового входу приймача сигналу, що надходить з лінії зв'язку.

З виводу 13 мікросхеми DD1 вихід приймача сигналу RO (receiver output) надходить сигнал, прийнятий від лінії зв'язку в інвертованому вигляді. Вихідний транзистор оптрона приймача мікросхеми DD1 з'єднує резистор R6 і затвор транзистора VT1 з загальним проводом живлення схеми.

Для перетворення інвертованого сигналу в звичайний вид в схему включений транзистор VT1 і резистор R7. Вхід передавача DI (driver input) мікросхеми DD1 через резистор R9 з'єднаний з виходом TxD мікроконтролера DD2 . Резистор R9 встановлює режим світлодіода оптрона передавача.

Резистор R8, з'єднаний з входом DE (driver enable) мікросхеми DD1 встановлює режим світлодіода оптрона, який дозволяє роботу передавача. Під час прийому необхідно відключати передавач, а під час передачі сигналу відключати приймач.

При низькому логічному рівні на вході DE відбувається прийом, при високому логічному рівні мікросхема DD1 переходить в режим передачі. Схема живиться від

перетворювача напруги DA1, гальванічно розв'язує живлення 24В від живлення мікросхеми інтерфейсу і мікроконтролера.

4 Дослідження системи автоматичного регулювання завантаження млина рудою

4.1 Дані для розробки системи

Структурна схема досліджуваної САК конвеєром представлена на рис. 4.1.

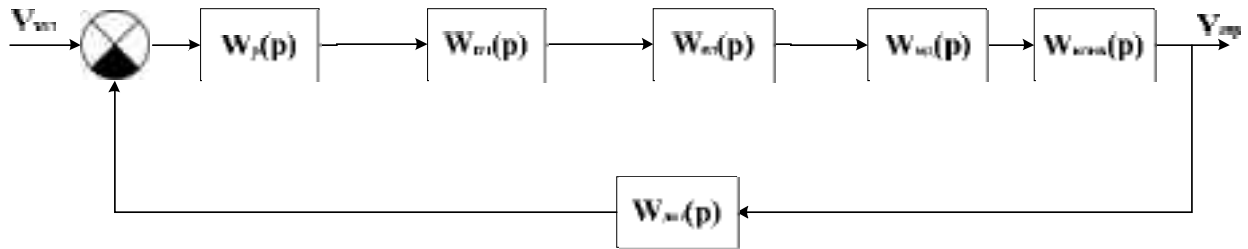


Рисунок 4.1 – Структурна схема САК конвеєром

На рис.4.1 позначено:

$V_{\text{зад}}$ – задана швидкість;

$W_p(p)$ - передаточна функція регулятора швидкості;

$W_{\text{пч}}(p)$ - передаточна функція перетворювача частоти;

$W_{\text{ед}}(p)$ - передаточна функція електромагнітної складової двигуна;

$W_{\text{мд}}(p)$ - передаточна функція механічної складової двигуна;

$W_{\text{конв}}(p)$ - передаточна функція тягового органу стрічкового конвеєра;

$W_{\text{дш}}(p)$ - передаточна функція датчика швидкості;

$V_{\text{ст}}$ - швидкість стрічки.

Для практичних розрахунків передавальні функції елементів САК визначені відповідно до рекомендацій. Датчик швидкості представлений у вигляді пропорційної ланки

$$W_{\text{дш}}(p) = k_{\text{дш}} = 1. \quad (4.1)$$

Передаточна функція регулятора швидкості для практичних розрахунків має вигляд

$$W_p(p) = k_p = 1 \quad (4.2)$$

Передаточна функція тиристорного перетворювача частоти змінного струму по керуючому впливу має вигляд

$$W_{\text{пч}}(p) = \frac{k_{\text{пч}}}{T_{\text{пч}}p + 1}, \quad (4.3)$$

де $T_{\text{пч}} = 0,1$ с, $k_{\text{пч}} = 1$.

Передаточна функція асинхронного двигуна представлена у вигляді двох складових, відповідно електромагнітній і механічній

$$W_{\text{ед}}(p) = \frac{k_{\text{ед}}}{T_{\text{ед}}p + 1}, \quad (4.4)$$

де $T_{\text{ед}} = 0,5$ с, $k_{\text{ед}} = 3,2$.

$$W_{\text{мд}}(p) = \frac{k_{\text{мд}}}{T_{\text{мд}}p + 1}, \quad (4.5)$$

де $T_{\text{мд}} = 0,25$ с, $k_{\text{мд}} = 1$.

Передаточна функція тягового органу стрічкового конвеєра має вигляд

$$W_{\text{конве}}(p) = \frac{e^{-\tau p}}{T_1^2 p^2 + T_2 p + 1}, \quad (4.6)$$

де $\tau = 0,005$ с, $T_1 = 0,031$ с, $T_2 = 0,055$ с.

Перемножимо передаточні функції всіх елементів щоб отримати передаточну функцію розімкнутої системи

$$W_{\text{Р}}(p) = W_{\text{р}}(p) \cdot W_{\text{пч}}(p) \cdot W_{\text{ед}}(p) \cdot W_{\text{мд}}(p) \cdot W_{\text{конве}}(p) \quad (4.7)$$

$$W_{\text{Р}}(p) = \frac{k_{\text{р}} \cdot k_{\text{пч}} \cdot k_{\text{ед}} \cdot k_{\text{мд}} \cdot e^{-\tau p}}{(T_{\text{пч}}p + 1)(T_{\text{ед}}p + 1)(T_{\text{мд}}p + 1)(T_1^2 p^2 + T_2 p + 1)}$$

Для спрощення запису введемо позначення

$$k = k_{\text{р}} \cdot k_{\text{пч}} \cdot k_{\text{ед}} \cdot k_{\text{мд}} = 1 \cdot 1 \cdot 3,2 \cdot 1 = 3,2 \quad (4.8)$$

В такому випадку передаточна функція розімкнутої системи матиме вигляд

$$W_{\text{Р}}(p) = \frac{k \cdot e^{-\tau p}}{(T_{\text{пч}}p + 1)(T_{\text{ед}}p + 1)(T_{\text{мд}}p + 1)(T_1^2 p^2 + T_2 p + 1)} \quad (4.9)$$

Передаточну функція замкнутої системи, з врахуванням того, що $W_{\text{дш}}(p) = 1$, розраховуємо за формулою

$$W_{\text{з}}(p) = \frac{W_{\text{Р}}(p)}{1 + W_{\text{Р}}(p)} = \frac{k \cdot e^{-\tau p}}{(T_{\text{пч}}p + 1)(T_{\text{ед}}p + 1)(T_{\text{мд}}p + 1)(T_1^2 p^2 + T_2 p + 1) + k \cdot e^{-\tau p}}$$

Звідси дістаємо характеристичне рівняння:

$$\begin{aligned}
& T_{\text{пч}} T_{\text{ед}} T_{\text{мд}} T_2 T_1^2 p^5 + (T_{\text{пч}} T_{\text{ед}} T_{\text{мд}} T_2 + T_{\text{пч}} T_{\text{ед}} T_1^2 + T_{\text{пч}} T_{\text{мд}} T_1^2 + T_{\text{ед}} T_{\text{мд}} T_1^2) p^4 + \\
& + (T_{\text{пч}} T_{\text{ед}} T_{\text{мд}} + T_{\text{пч}} T_{\text{ед}} T_2 + T_{\text{пч}} T_{\text{мд}} T_2 + T_{\text{пч}} T_1^2 + T_{\text{ед}} T_{\text{мд}} T_2 + T_{\text{ед}} T_1^2 + T_{\text{мд}} T_1^2) p^3 + \\
& + (T_{\text{пч}} T_{\text{ед}} + T_{\text{пч}} T_{\text{мд}} + T_{\text{пч}} T_2 + T_{\text{ед}} T_{\text{мд}} + T_{\text{ед}} T_2 + T_{\text{мд}} T_2 + T_1^2) p^2 + (T_{\text{пч}} + T_{\text{ед}} + T_{\text{мд}} + \\
& + T_2) p + 1 + k \cdot e^{-\tau p} = 0
\end{aligned}$$

4.2 Побудова АФЧХ розімкнутої системи

Для побудови амплітудно-фазової частотної характеристики розімкнутої системи проводимо заміну $p=j\omega$ ($j=\sqrt{-1}$, ω – частота)

$$\begin{aligned}
W_{\text{р}}(j\omega) &= \frac{k \cdot e^{-\tau j\omega}}{(T_{\text{пч}} j\omega + 1)(T_{\text{ед}} j\omega + 1)(T_{\text{мд}} j\omega + 1)(T_1^2 (j\omega)^2 + T_2 j\omega + 1)} = \\
&= \frac{k \cdot e^{-\tau j\omega}}{T_{\text{пч}} T_{\text{ед}} T_{\text{мд}} T_2 T_1^2 (j\omega)^5 + (T_{\text{пч}} T_{\text{ед}} T_{\text{мд}} T_2 + T_{\text{пч}} T_{\text{ед}} T_1^2 + T_{\text{пч}} T_{\text{мд}} T_1^2 + T_{\text{ед}} T_{\text{мд}} T_1^2) (j\omega)^4 + \\
&\quad 1 + (T_{\text{пч}} T_{\text{ед}} T_{\text{мд}} + T_{\text{пч}} T_{\text{ед}} T_2 + T_{\text{пч}} T_{\text{мд}} T_2 + T_{\text{пч}} T_1^2 + T_{\text{ед}} T_{\text{мд}} T_2 + T_{\text{ед}} T_1^2 + T_{\text{мд}} T_1^2) (j\omega)^3 + \\
&\quad 1 + (T_{\text{пч}} T_{\text{ед}} + T_{\text{пч}} T_{\text{мд}} + T_{\text{пч}} T_2 + T_{\text{ед}} T_{\text{мд}} + T_{\text{ед}} T_2 + T_{\text{мд}} T_2 + T_1^2) (j\omega)^2 + (T_{\text{пч}} + T_{\text{ед}} + T_{\text{мд}} + \\
&\quad + T_2) j\omega + 1} = \frac{k \cdot e^{-\tau j\omega}}{[1 - (T_{\text{пч}} T_{\text{ед}} + T_{\text{пч}} T_{\text{мд}} + T_{\text{пч}} T_2 + T_{\text{ед}} T_{\text{мд}} + T_{\text{ед}} T_2 + T_{\text{мд}} T_2 + T_1^2) \omega^2 - \\
&\quad 1 - (T_{\text{пч}} T_{\text{ед}} T_{\text{мд}} T_2 + T_{\text{пч}} T_{\text{ед}} T_1^2 + T_{\text{пч}} T_{\text{мд}} T_1^2 + T_{\text{ед}} T_{\text{мд}} T_1^2) \omega^4] + [j((T_{\text{пч}} + T_{\text{ед}} + T_{\text{мд}} + T_2) \omega + \\
&\quad 1 + (T_{\text{пч}} T_{\text{ед}} T_{\text{мд}} + T_{\text{пч}} T_{\text{ед}} T_2 + T_{\text{пч}} T_{\text{мд}} T_2 + T_{\text{пч}} T_1^2 + T_{\text{ед}} T_{\text{мд}} T_2 + T_{\text{ед}} T_1^2 + T_{\text{мд}} T_1^2) \omega^3 + \\
&\quad 1 + T_{\text{пч}} T_{\text{ед}} T_{\text{мд}} T_2 T_1^2 \omega^5)]} = \frac{k \cdot e^{-\tau j\omega} [[1 - (T_{\text{пч}} T_{\text{ед}} + T_{\text{пч}} T_{\text{мд}} + T_{\text{пч}} T_2 + T_{\text{ед}} T_{\text{мд}} + T_{\text{ед}} T_2 + \\
&\quad + T_{\text{мд}} T_2 + T_1^2) \omega^2 - (T_{\text{пч}} T_{\text{ед}} T_{\text{мд}} T_2 + T_{\text{пч}} T_{\text{ед}} T_1^2 + T_{\text{пч}} T_{\text{мд}} T_1^2 + T_{\text{ед}} T_{\text{мд}} T_1^2) \omega^4] + \\
&\quad + T_{\text{мд}} T_2 + T_1^2) \omega^2 - (T_{\text{пч}} T_{\text{ед}} T_{\text{мд}} T_2 + T_{\text{пч}} T_{\text{ед}} T_1^2 + T_{\text{пч}} T_{\text{мд}} T_1^2 + T_{\text{ед}} T_{\text{мд}} T_1^2) \omega^4]^2 + \\
&\quad [j((T_{\text{пч}} + T_{\text{ед}} + T_{\text{мд}} + T_2) \omega + (T_{\text{пч}} T_{\text{ед}} T_{\text{мд}} + T_{\text{пч}} T_{\text{ед}} T_2 + T_{\text{пч}} T_{\text{мд}} T_2 + T_{\text{пч}} T_1^2 + T_{\text{ед}} T_{\text{мд}} T_2 + \\
&\quad [j((T_{\text{пч}} + T_{\text{ед}} + T_{\text{мд}} + T_2) \omega + (T_{\text{пч}} T_{\text{ед}} T_{\text{мд}} + T_{\text{пч}} T_{\text{ед}} T_2 + T_{\text{пч}} T_{\text{мд}} T_2 + T_{\text{пч}} T_1^2 + T_{\text{ед}} T_{\text{мд}} T_2 +
\end{aligned}$$

$$\frac{+T_{ед}T_1^2 + T_{нд}T_1^2)\omega^3 + T_{пч}T_{ед}T_{нд}T_2T_1^2\omega^5)]}{+T_{ед}T_1^2 + T_{нд}T_1^2)\omega^3 + T_{пч}T_{ед}T_{нд}T_2T_1^2\omega^5)]^2}$$

Будуємо таблицю значень.

Таблиця 4.1 – Значення $P(\omega)$ та $Q(\omega)$ для побудови АФЧХ

ω, c^{-1}	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	5,2	8,5	24
$P(\omega)$	3,2	2,8	2,2	1	0	-0,3	-0,6	-0,74	-0,58	-0,2	0
$Q(\omega)$	0	-1,23	-1,9	-2,24	-1,9	-1,67	-1,3	-0,72	-0,17	0,1	0

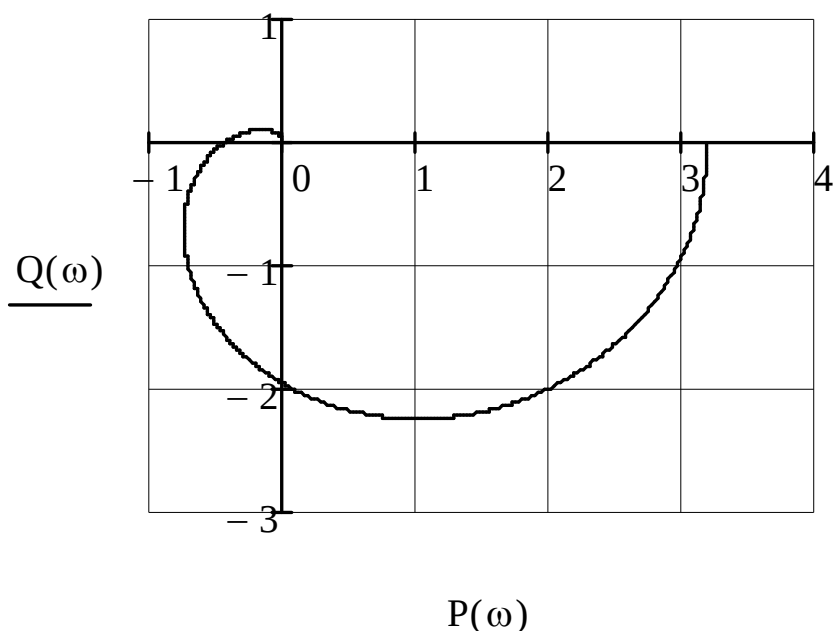


Рисунок 4.2 – АФЧХ розімкнутої системи

4.3 Побудова ЛАЧХ розімкнутої системи

Щоб побудувати ЛАЧХ знаходимо спрягаючи частоти за сталими часу динамічних ланок

$$\omega_{ед} = \frac{1}{T_{ед}} = \frac{1}{0,5} = 2 c^{-1}$$

$$\omega_{нд} = \frac{1}{T_{нд}} = \frac{1}{0,25} = 4 c^{-1}$$

$$\omega_{пч} = \frac{1}{T_{пч}} = \frac{1}{0,01} = 10 c^{-1}$$

$$\omega_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{0,031} = 32,3 \text{ с}^{-1}$$

Знайдені спрягаючи частоти відмічаємо на осі частот в логарифмічному масштабі. Низькочастотна асимптота ЛАЧХ при $\omega < \omega_{ед}$ являє собою пряму з нахилом 0 дБ/дек. Ця пряма або її продовження при $\omega=2 \text{ с}^{-1}$ має ординату $20 \lg k=10,1 \text{ дБ}$ ($k=3,2$ – коефіцієнт підсилення розімкнутої системи). При другій спрягаючій частоті $\omega_{мд}$ нахил характеристики $L(\omega)$ становить - 20 дБ/дек, при третій частоті $\omega_{пч}$ нахил становить - 40 дБ/дек, при четвертій частоті ω_1 нахил становить - 60 дБ/дек. Високочастотна асимптота ЛАЧХ, тобто її частина при частотах, більших ω_1 , має нахил - 100 дБ/дек.

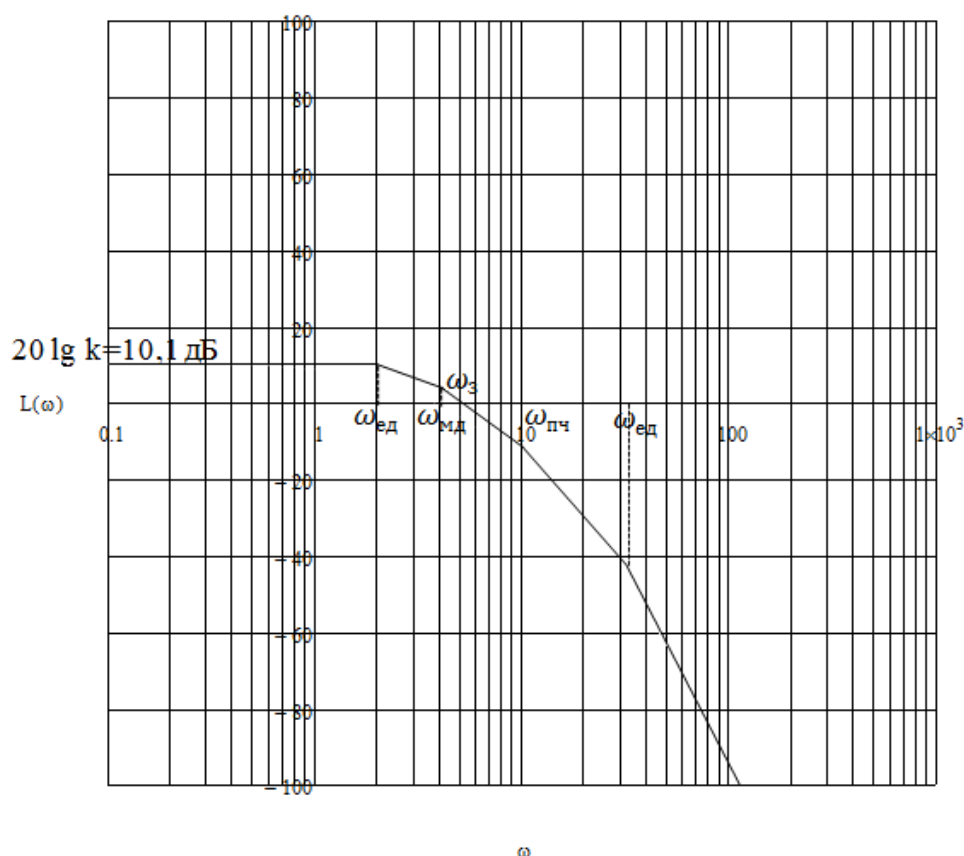


Рисунок 4.3 – ЛАЧХ розімкнутої системи $L(\omega)$.

4.4 Побудова ЛФЧХ розімкнутої системи

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

$$\varphi(\omega) = \frac{180}{\pi} \left(-(\arctg \left(\frac{\omega T_2}{1 - \omega^2 T_1^2} \right)) - (\arctg(\omega T_{ед})) - \arctg(\omega T_{мд}) - \right.$$

$$\arctg(\omega T_{пч}) - \tau\omega \quad (4.11)$$

Будуємо таблицю значень.

Таблиця 4.2 – Значення $\varphi(\omega)$ вихідної системи

$\omega, \text{с}^{-1}$	0,1	0,4	1	3	5	8	20	40	62
$\varphi(\omega)$	-5,2	-20,5	-49,2	-119,1	-136,9	-204,5	-292,5	-324,1	-400

За отриманими значеннями будуємо ЛФЧХ розімкнутої системи (рис.4.4).

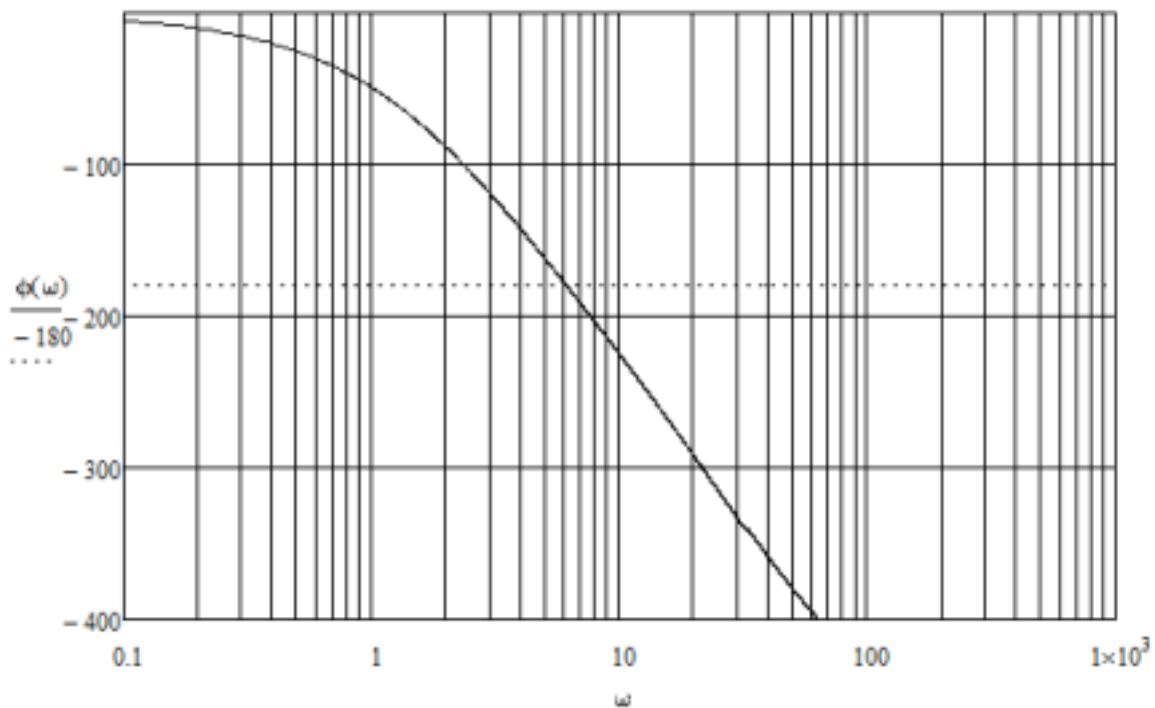


Рисунок 4.4 – ЛФЧХ розімкнутої системи.

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

За цим критерієм стійкість замкнутої системи автоматичного регулювання визначають за амплітудно-фазовою частотною характеристикою стійкої розімкнутої системи.

Формулювання критерію: якщо система автоматичного управління стійка в розімкненому стані, то для її стійкості в замкненому стані необхідно і достатньо,

щоб АФЧХ розімкненої системи $W(j\omega)$ при зміні ω від нуля до нескінченності не охоплювала точку з координатами $(-1; j0)$ комплексної площини.

При використанні даного критерію необхідно побудувати годограф Найквіста (амплітудно-фазова частотна характеристика) розімкненої системи і пересвідчитися, що годограф не охоплює точку з координатами $(-1; j0)$.

Таким чином, за критерієм Найквіста-Михайлова система стійка і запас стійкості за модулем $3_m = 0,57$; за фазою $3_\phi = 47^\circ$.

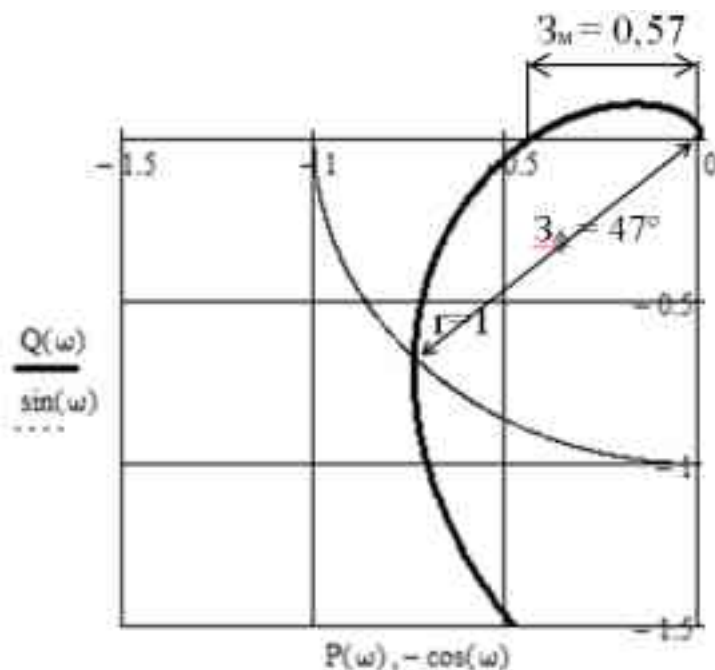


Рисунок 4.5 – Визначення запасів стійкості за модулем і фазою за допомогою частотного критерію Найквіста-Михайлова

4.6 Оцінка якості регулювання замкнутої САР по ЛАЧХ розімкнутої системи

Оцінка якості регулювання замкнутої САР полягає в визначення запасу стійкості (по модулю і фазі), та частоти зрізу.

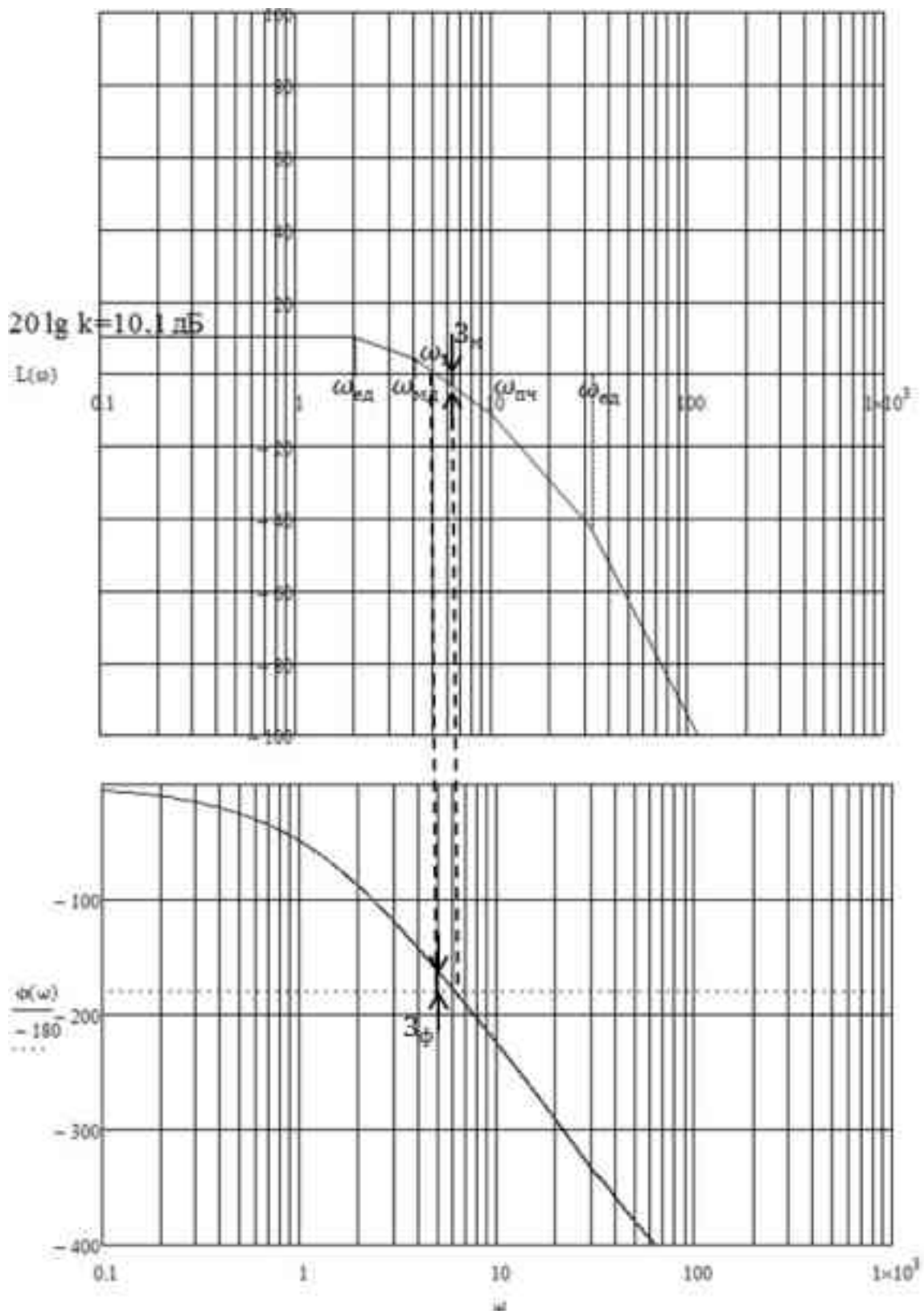


Рисунок 4.6 – Оцінка якості регулювання замкнутої САР
ЛАЧХ розімкнутої системи.

З побудови зображеної на рис.4.6 можна визначити: частоту зрізу $\omega_z = 5 \text{ c}^{-1}$, звідси можна визначити час регулювання, поставивши систему в жорсткі умови,

$t_p = \frac{2\pi}{\omega_s} = \frac{6,28}{5} = 1,26 \text{ с}$; запас стійкості по амплітуді $3_M \approx 4 \text{ дБ}$; запас стійкості по фазі $3_\phi \approx 14^\circ$.

4.7 Побудова дійсної частотної характеристики замкнутої системи

Для побудови дійсної частотної спочатку характеристик знаходимо передаточну функцію замкнутої системи

$$W_z(p) = \frac{k \cdot e^{-\tau p}}{(T_{пч}p + 1)(T_{ед}p + 1)(T_{нд}p + 1)(T_1^2 p^2 + T_2 p + 1) + k \cdot e^{-\tau p}} \quad (4.12)$$

Підставляємо $p=j\omega$

$$\begin{aligned} W_p(j\omega) &= \frac{k \cdot e^{-\tau j\omega}}{(T_{пч}j\omega + 1)(T_{ед}j\omega + 1)(T_{нд}j\omega + 1)(T_1^2(j\omega)^2 + T_2j\omega + 1) + k \cdot e^{-\tau j\omega}} = \\ &= \frac{k \cdot e^{-\tau j\omega}}{T_{пч}T_{ед}T_{нд}T_2T_1^2(j\omega)^5 + (T_{пч}T_{ед}T_{нд}T_2 + T_{пч}T_{ед}T_1^2 + T_{пч}T_{нд}T_1^2 + T_{ед}T_{нд}T_1^2)(j\omega)^4 + \\ &\quad 1 + (T_{пч}T_{ед}T_{нд} + T_{пч}T_{ед}T_2 + T_{пч}T_{нд}T_2 + T_{пч}T_1^2 + T_{ед}T_{нд}T_2 + T_{ед}T_1^2 + T_{нд}T_1^2)(j\omega)^3 + \\ &\quad 1 + (T_{пч}T_{ед} + T_{пч}T_{нд} + T_{пч}T_2 + T_{ед}T_{нд} + T_{ед}T_2 + T_{нд}T_2 + T_1^2)(j\omega)^2 + (T_{пч} + T_{ед} + T_{нд} + \\ &\quad + T_2)j\omega + 1 + k \cdot e^{-\tau j\omega}} = \frac{k \cdot e^{-\tau j\omega}}{[1 - (T_{пч}T_{ед} + T_{пч}T_{нд} + T_{пч}T_2 + T_{ед}T_{нд} + T_{ед}T_2 + T_{нд}T_2 + \\ &\quad + T_1^2)\omega^2 - (T_{пч}T_{ед}T_{нд}T_2 + T_{пч}T_{ед}T_1^2 + T_{пч}T_{нд}T_1^2 + T_{ед}T_{нд}T_1^2)\omega^4] + [j((T_{пч} + T_{ед} + \\ &\quad + T_{нд} + T_2)\omega + (T_{пч}T_{ед}T_{нд} + T_{пч}T_{ед}T_2 + T_{пч}T_{нд}T_2 + T_{пч}T_1^2 + T_{ед}T_{нд}T_2 + T_{ед}T_1^2 + \\ &\quad + T_{нд}T_1^2)\omega^3 + T_{пч}T_{ед}T_{нд}T_2T_1^2\omega^5) + k \cdot e^{-\tau j\omega}]} \end{aligned}$$

Таблиця 4.3 – Значення $Pz(\omega)$ вихідної системи при зміні частоти ω від 0 до ∞ .

$\omega, \text{с}^{-1}$	0	1,5	2,8	3,5	4,5	5,3	7,5	9	11	15
$Pz(\omega)$	0,76	0,78	0,79	0,66	-0,33	-1,1	-0,39	-0,12	-0,08	0

За отриманими значеннями будемо дійсну частотну характеристику замкнутої системи (рис.4.7).

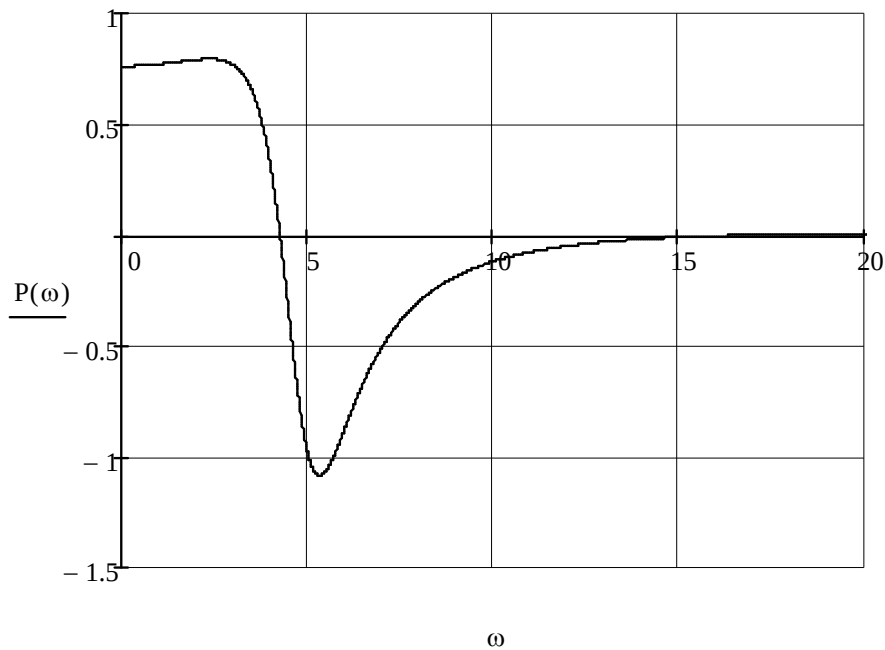


Рисунок 4.7– Дійсна частотна характеристика замкнутої системи.

4.8 Побудова перехідного процесу замкнутої системи

Побудувати перехідний процес можна за допомогою комп'ютера, використовуючи формулу

$$h(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} Pz(\omega) \frac{\sin(\omega t)}{\omega} d\omega \quad (4.13)$$

Прийнявши різний час отримуємо таблицю.

Таблиця 4.4 – Значення перехідної функції $h(t)$.

t, с	0	0,8	1,44	2,2	2,8	3,45	4,1	4,8	5,29
$h(t)$	0	1,1	0,6	0,84	0,722	0,78	0,75	0,77	0,76

За отриманими значеннями побудуємо графік перехідного процесу

По графіку зображеному на рис.4.8 можна зробити висновок, що перехідний процес – коливальний (період коливань не змінюється з часом).

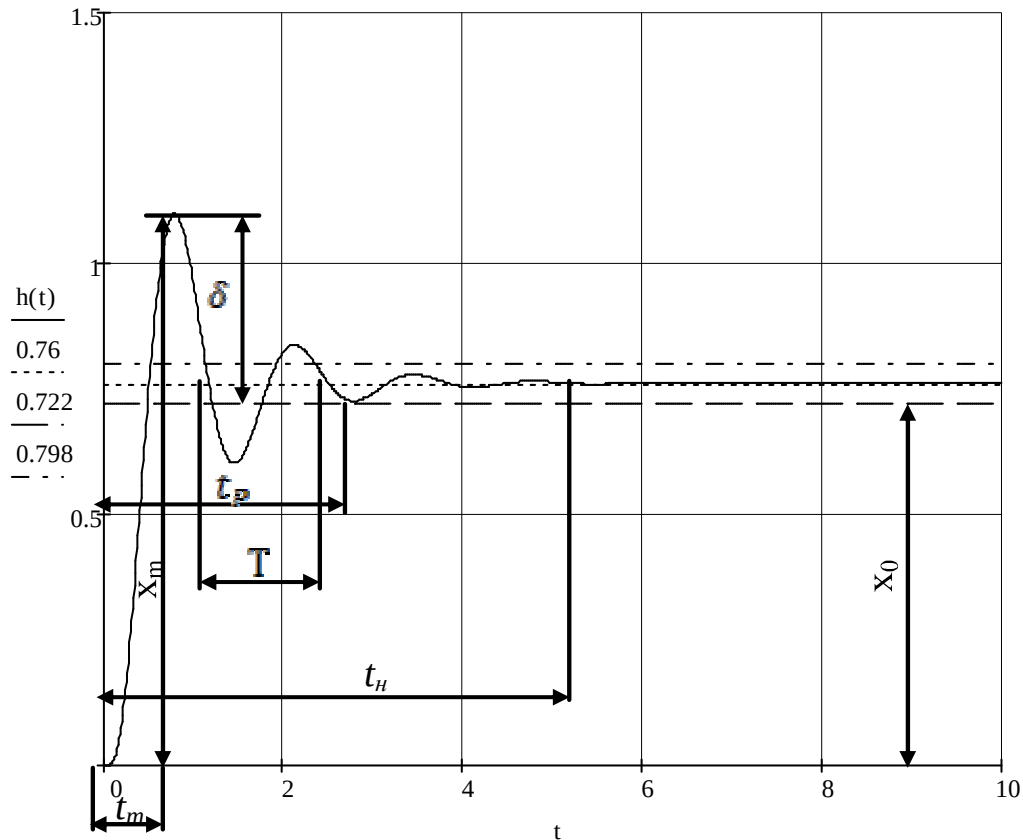


Рисунок 4.8 – Графік перехідного процесу вихідної системи

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

- 1) час регулювання $t_p \approx 2,8 \text{ c}$ – це час від початку дії вхідного діяння до входження системи в зону 2Δ ;
- 2) перерегулювання $\delta = 43\%$ - максимальне відхилення керованої величини в бік, протилежний початковому відхиленню від усталеного значення.;
- 3) частота коливань $\omega = \frac{2\pi}{T} = 4,7 \text{ c}^{-1}$, де $T = 1,35 \text{ c}$ – період коливань;
- 4) кількість коливань перехідного процесу $n = 2$;
- 5) час досягнення першого максимуму $t_m = 0,8 \text{ c}$;
- 6) час наростання перехідного процесу $t_n = 5,29 \text{ c}$ – це час досягнення вихідною величиною усталеного значення;
- 7) декремент затухання перехідного процесу характеризує затухання перехідного процесу, це відношення відхилень сусідніх коливань $d = 23$.

4.9 Побудова бажаної ЛАЧХ

Для синтезу САР необхідно побудувати вихідну ЛАЧХ розімкнутої системи, бажану ЛАЧХ та ЛАЧХ коректуючого пристрою.

Бажану ЛАЧХ, яка визначає потрібну якість САР, умовно поділяють на три частини: низькочастотну $L_{н.ч.}(\omega)$, середньочастотну $L_{с.ч.}(\omega)$ та високочастотну $L_{в.ч.}(\omega)$.

До низькочастотної частини ЛАЧХ належить ділянка характеристики, нахил якої не змінюється при $\omega \rightarrow \infty$. Вона проходить через точку з координатами $L(\omega) = 20 \lg(k), \lg(\omega) = 0$, де k – коефіцієнт передачі розімкнутої системи, і має нахил 0дБ/дек. Низькочастотна ЛАЧХ визначається коефіцієнтом передачі розімкнутої системи K і порядком астатизму, отже, вона характеризує точність роботи системи в усталених режимах. Якщо до незмінюваної частини системи належать елементи, що забезпечують потрібну точність роботи САР в усталеному режимі, то низькочастотні частини бажаної ЛАЧХ і ЛАЧХ вихідної системи збігаються.

До середньочастотної частини $L_{с.ч.}(\omega)$ належить ділянка ЛАЧХ з однаковим нахилом, що проходить через частоту зрізу ω_z . ця частина ЛАЧХ є найважливішою, бо вона визначає переважно якість перехідних процесів. Основними параметрами, які характеризують середньочастотну частину, є її нахил і частота зрізу. Для задовільної якості перехідних процесів замкнутої системи необхідно, щоб нахил ЛАЧХ на частоті зрізу дорівнював -20 дБ/дек.

Високочастотна частина ЛАЧХ $L_{в.ч.}(\omega)$ знаходиться в зоні від'ємних децибелів, тому майже не позначається на якості перехідного процесу і впливає лише на його початок. Після проведення кількох експериментів отримали бажану ЛАЧХ зображену на рис.4.9.

Частота зрізу становить частоту зрізу $\omega_z = 2,8 \text{ с}^{-1}$, так як $t_p = 2,8 \text{ с}$.

ЛАЧХ коректуючого пристрою визначаємо як різницю бажаної та незмінної

$$\text{ЛАЧХ } L_k = L_0(\omega) - L_n(\omega). \quad (4.14)$$

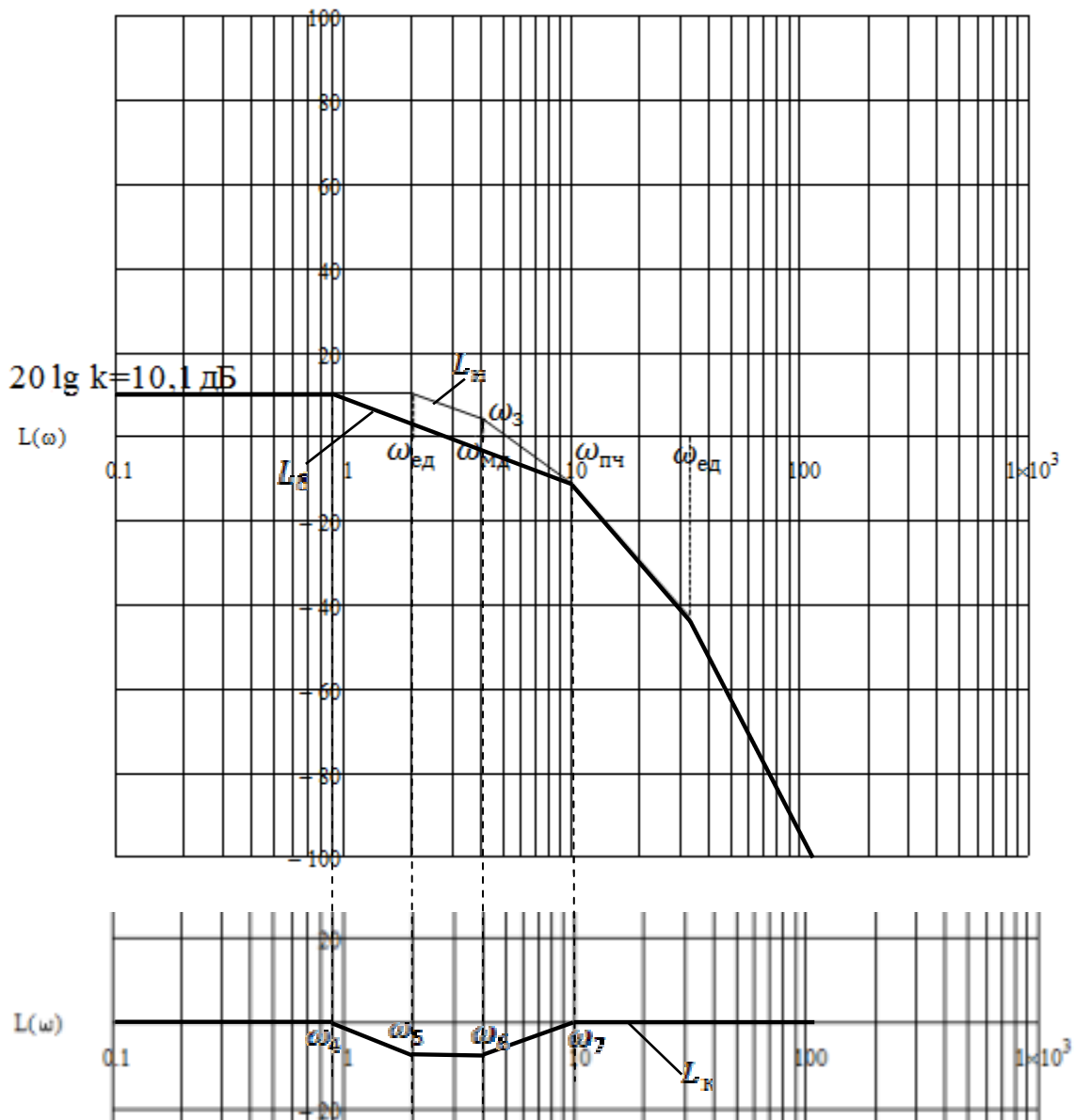


Рисунок 4.9 – Побудова бажаної ЛАЧХ та визначення ЛАЧХ керуючого пристрою

Передаточна функція коректуючого пристрою у загальному вигляді

$$W_{\text{кп}}(p) = \frac{k_5(T_5 p + 1)(T_6 p + 1)}{(T_4 p + 1)(T_7 p + 1)} \quad (4.15)$$

Підставивши у рівняння загального виду сталі часу

$$\omega_4 = 0,9 \text{ с}^{-1} \rightarrow T_4 = \frac{1}{\omega_4} = 1,11 \text{ с}; \quad \omega_5 = 2 \text{ с}^{-1} \rightarrow T_5 = \frac{1}{\omega_5} = 0,5 \text{ с}$$

$$\omega_6 = 4 \text{ с}^{-1} \rightarrow T_6 = \frac{1}{\omega_6} = 0,25 \text{ с}; \quad \omega_7 = 10 \text{ с}^{-1} \rightarrow T_7 = \frac{1}{\omega_7} = 0,1 \text{ с} \quad k_5 = 1$$

Отже, передаточна функція коректуючого пристрою

$$W_{\text{кп}}(p) = \frac{(0,5p + 1)(0,25p + 1)}{(1,1p + 1)(0,1p + 1)}$$

4.10 Оцінка якості регулювання замкнутої скоректованої САР по

ЛАЧХ розімкнутої системи

Оцінка якості регулювання замкнутої САР полягає в визначення запасу стійкості (по модулю і фазі), та частоти зрізу.

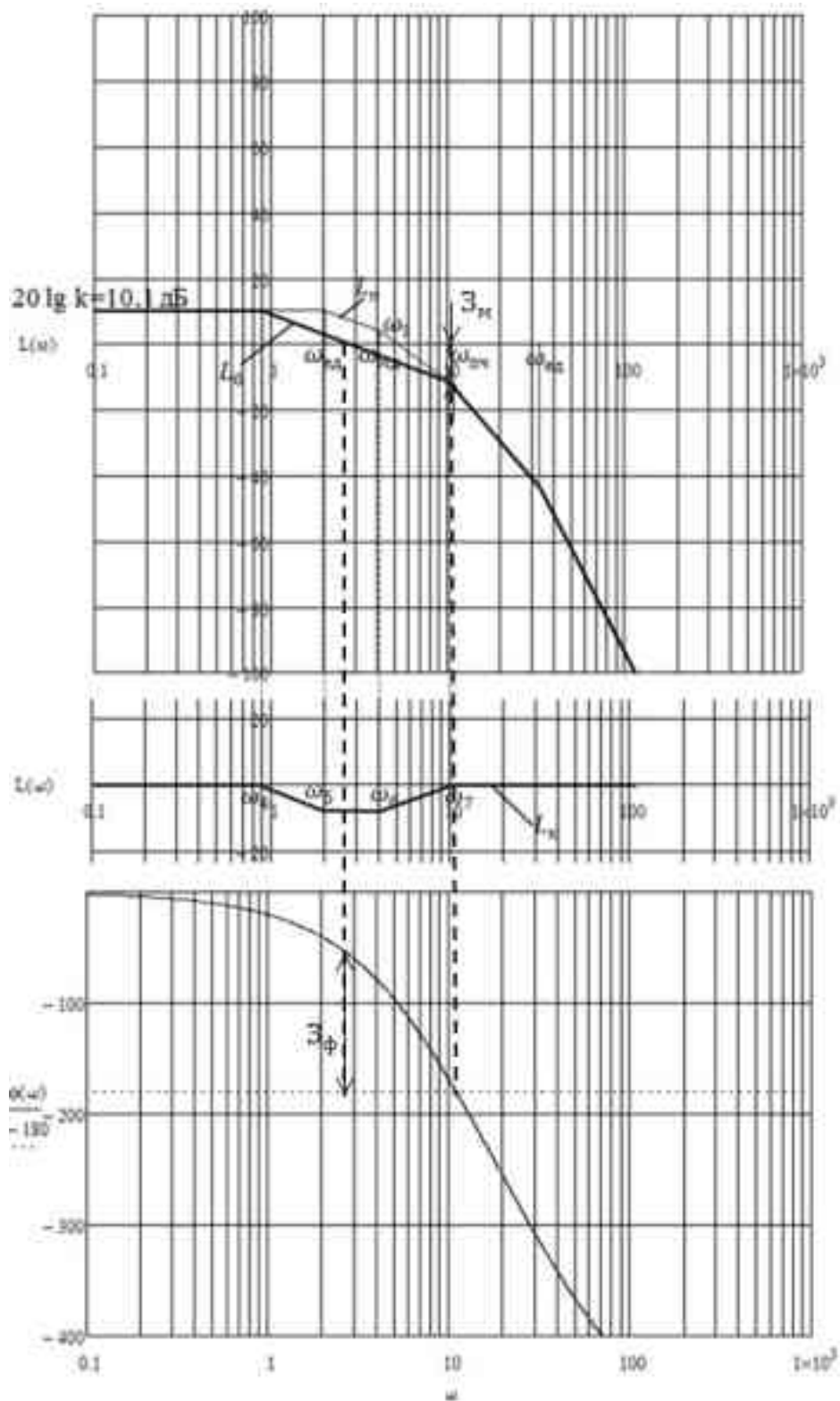


Рисунок 4.10 – Оцінка якості регулювання САР, скоректованої синтезом по ЛАЧХ розімкнутої системи.

З побудови зображеної на рис.4.10 можна визначити: запас стійкості по амплітуді $3_n \approx 15$ дБ; запас стійкості по фазі $3_\phi \approx 115^\circ$.

4.11 Побудова кривої перехідного процесу синтезованої САР

Запишемо передаточну функцію замкнутої скорегованої системи

$$W_F(p) = \frac{k \cdot e^{-\tau p} (T_5 p + 1)(T_6 p + 1)}{(T_{пч} p + 1)(T_{зд} p + 1)(T_{нд} p + 1)(T_1^2 p^2 + T_2 p + 1)(T_4 p + 1) \cdot (T_7 p + 1) + k \cdot e^{-\tau p} (T_5 p + 1)(T_6 p + 1)}$$

За допомогою комп'ютера виділимо дійсну частину.

Таблиця 4.5 – Значення $P_3(\omega)$ системи, скорегованої шляхом синтезу.

$\omega, \text{с}^{-1}$	0	1	2	3	4	5	7	11	16
$P_3(\omega)$	0,76	0,68	0,42	0,04	-0,22	-0,3	-0,21	-0,06	0

За отриманими значеннями побудуємо дійсну частотну характеристику з системи, скорегованої шляхом синтезу (рис.4.11).

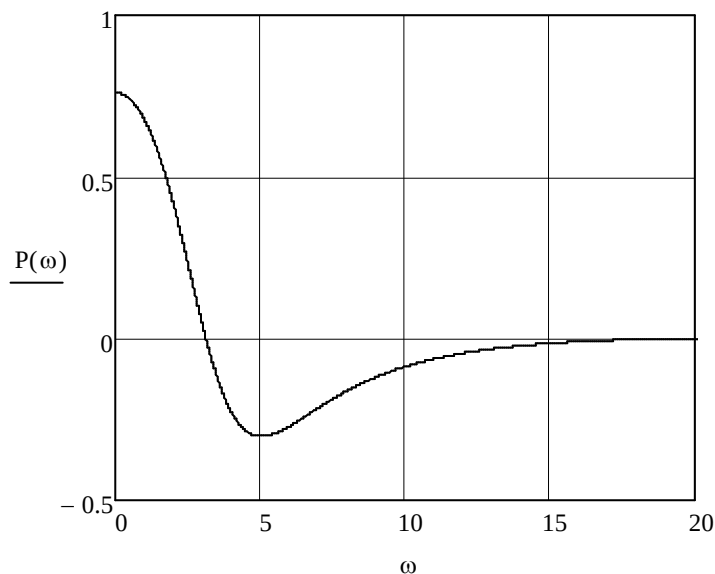


Рисунок 4.11 – Дійсна частотна характеристика замкнутої скорегованої системи.

Таблиця 4.6. Значення перехідної функції $h(t)$.

t, с	0	0,5	1	1,5	2	2,5	1,12	1,96	2,26
$h(t)$	0	0,16	0,61	1,02	1,145	0,954	0,79	0,75	0,76

Побудуємо криву перехідного процесу скорегованої САР частоти, зображену на рис.4.12.

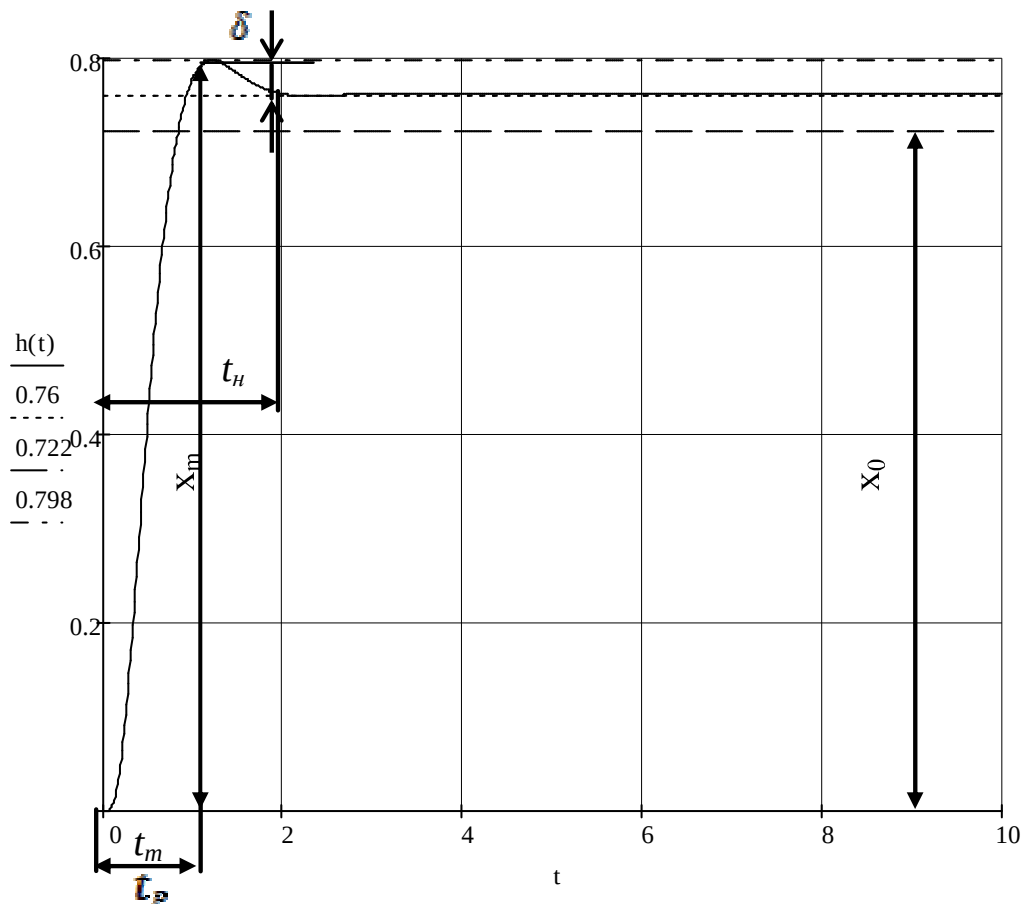


Рисунок 4.12 – Графік перехідного процесу системи, скорегованої шляхом синтезу.

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

- час регулювання $t_p \approx 1,12$ с;
- перерегулювання $\delta = 5\%$;
- час досягнення першого максимуму $t_m = 1,12$ с;
- час наростання перехідного процесу $t_H = 2,26$ с;

Висновки

В даній кваліфікаційній роботі було розроблено систему стабілізації подачі руди в млин, що робить оптимальним його завантаження.

Після аналізу існуючих систем регулювання було розглянуто всі їхні переваги та недоліки та створено систему, в основі якої лежить зважування руди на конвеєрі та регулювання його швидкості.

Система складається з наступних елементів: конвеєрних ваг ВКТ-4, які оснащенні додатково датчиком швидкості, асинхронного двигуна АН81-6 та частотного перетворювача SIEMENS серії Micromaster 430 потужністю 18,5 кВт. Для виведення інформації про вагу матеріалу на конвеєрі до системи було підключено дисплей NC1604A фірми NEWTEC.

Була перевірена працездатність системи за допомогою побудови амплітудних та частотних характеристик а також перехідного процесу. Отримана система має наступні показники: перерегулювання - 43%, час регулювання – 2,8 с, запас по модулю – 4 дБ, запас по фазі - 14°. Після корегування системи шляхом синтезу система задовольнила поставлені умови, а саме: перерегулювання - 5%, час регулювання – 1,12 с, запас по модулю – 15 дБ, запас по фазі - 115°.

Система керування побудована на базі мікроконтролера ATmega 103 серії AVR.

Список літератури

1. Білецький В. С., Смирнов В. А. Переробка і якість корисних копалин. Донецьк: Східний видавничий дім, 2005. 324 с.
2. Марюта А.Н. Зависимости энергетических параметров электродвигателя шаровой мельницы от загрузки ее шарами и измельчаемым материалом / А.Н. Марюта, Е.В. Кочура // Известия ВУЗов. Горный журнал. – 1973. – №2. – С. 23–28.
3. Смирнов В.О., Білецький В.С. Проектування збагачувальних фабрик. Донецьк, Східний видавничий дім, 2002. 269 с.
4. Бедрань Н.Г. Машины для обогащения полезных ископаемых. Киев – Донецк: Вища школа, Головное изд-во, 1980. 416 с.
5. Бережний М.М., Мовчан В.П. Збагачення та окускування сировини. Кривий Ріг: Інститут сучасних професій. 2000. 365 с.
6. Гірничий енциклопедичний словник. - Донецьк: Східний видавничий дім, 2001. Т. 1. 514 с.
7. Серго Е.Е. Опробование и контроль технологических процессов обогащения. Київ: Вища школа, 272 с.
8. Кондратець В.О. Теорія і технічні засоби систем. Київ: Вища шк., 1993. 319 с.
9. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування. Львів: Либідь, 1997. 544 с.
10. Кравець В.Г., Білецький В.С., Смирнов В.О. Техніка і технологія збагачення корисних копалин. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 286с.
11. Barry A. Wills. Mineral processing technology. В/Н, Oxford, 2001.
12. Ларичева Л.П., Волошин М.Д., Луценко О.П. Контроль та автоматичне регулювання хіміко-технологічних процесів. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2015. 320с.
13. Кожухар В.Я., Брем В.В., Каверин Ю.Ф. Автоматичні системи керування хіміко-технологічними процесами. Одеса: Екологія, 2005. 224 с.
14. Транспортні системи гірничих підприємств (шахти та збагачувальні фабрики) / Маланчук З.Р. та ін. Рівне: НУВГП, 2020. 157 с.

15. Basic concepts of minerals mining technology / Bondarenko V. etc. Dnipropetrovs'k: LizunoffPress, 2014. 428 p. (in English). ISBN 978-966-2575-35-4.
16. Кириченко М. Т., Кузьменко О. Х. Основи гірничого виробництва. Житомир: ЖДТУ, 2003. 340 с.
17. Коваленко І.В., Малиновський В.В. Основні процеси, машини та апарати хімічних виробництв. Київ: Інрес : Воля, 2005. 264 с.
18. Смирнов В.О., Білецький В.С. Підготовчі процеси збагачення корисних копалин. Донецьк: Східний видавничий дім, Донецьке відділення НТШ, 2012. 284с.
19. Дезінтеграція мінеральних ресурсів: монографія / Сокур М.І. та ін. Кременчук: видавництво ПП Щербатих О. В., 2014. 304 с.
20. Сокур М.І., Білецький В.С. Ведмідь І.А., Робота Є.М. Рудопідготовка: дроблення, подрібнення, грохочення. Кременчук: ПП Щербатих О. В. 2020. 494 с.
21. Бондаренко С.Г., Складанний Д.М., Абрамова А.О. Технологічні вимірювання і прилади. Вимірювання рівня та витрат. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 117 с.
22. Лукінюк М. В. Технологічні вимірювання та прилади. Київ: НТУУ «КПІ», 2007. 436 с.
23. Сусліков Л.М., Студеняк І.П. Метрологія та вимірювання. Ужгород: Видавництво УжНУ, 2014. 292 с.