

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

« ____ » _____ 2025 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:

**«Визначення оптимальних налаштувань параметрів
регулятора в системі автоматичного керування
продуктивністю дробарки»**

**«Determination of optimal settings for the controller
parameters in the automatic control system for crusher
performance»**

Виконав здобувач вищої освіти
II курсу, групи АК-24 М
спеціальності 174 «Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

_____ Б.С. Шимановський
« ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи
доц, канд.техн.наук

_____ О.М. Сербул
« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент
доц. каф. ЕТС та ЕМ, к.т.н

_____ 2025 р.
« ____ » _____

м. Кропивницький

ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 Опис технологічного процесу дроблення матеріалів.....	5
1.1 Валкові дробарки та сучасні підходи до автоматизації виробництва щебеню.....	5
1.2 Огляд існуючих конструкцій дробарок валкового типу.....	10
1.2.1 Одновалкові дробарки.....	11
1.2.2 Двовалкові дробарки.....	14
1.2.3 Тривалкові дробарки.....	20
1.2.4 Чотиривалкові дробарки.....	21
1.3 Матеріал дроблення.....	22
1.4 Фізичні властивості гірських порід.....	23
1.5 Вимоги до якості продукту дроблення.....	27
2 Принципи функціонування та вимоги до автоматизованих систем управління технологічними процесами.....	29
3 Обґрунтування обраних проектних рішень.....	33
3.1 Опис технологічного процесу з погляду автоматизації.....	33
3.2 Обґрунтування структурної схеми системи автоматизації.....	37
4 Розрахунки та дослідження, що підтверджують працездатність виробу.....	45
4.1 Аналіз системи автоматизації.....	45
4.2 Вибір регулятора та аналіз САУ з регулятором.....	50
4.3 Вибір технічних засобів автоматизації для розроблюваної САУ валковою дробаркою.....	59
5 Особливості монтажу обладнання.....	68
Висновок.....	72
Список літератури.....	74
Додатки.....	76

ВСТУП

Задачі розвитку народного господарства України передбачають істотне нарощування обсягів видобутку та перероблення мінеральної сировини. Реалізація цих завдань здійснюється шляхом зведення нових і модернізації діючих підприємств гірничорудної галузі, промисловості будівельних матеріалів та низки інших сфер економіки, у яких мінеральна сировина як вихідний матеріал проходить процеси дроблення. Зменшення собівартості продукції за одночасного підвищення її якості та зростання рентабельності виробництва забезпечується насамперед широким упровадженням сучасних технічних засобів і підвищенням ефективності використання наявного обладнання. При цьому особливу увагу необхідно зосередити на вдосконаленні дробильного устаткування, яке широко застосовується у виробничих процесах і на яке припадає значна частка експлуатаційних витрат під час переробки сировини. Процес дроблення є ключовим етапом у виробництві таких важливих будівельних матеріалів, як цемент і щебінь.

В Україні є ряд підприємств, які виробляють двовалкові дробарки:

1. НПП “Укрмінерал Інвест” (м. Дніпро)
 - Випускає валкові дробарки ДГВ та інші типи.
 - Заявлена продуктивність – “до 1000 т/годину” для деяких моделей.
2. Новокраматорський машинобудівний завод (НКМЗ, Краматорськ)
 - Один з великих виробників гірничо-збагачувального обладнання.
3. ТОВ “Завод промислового обладнання “Прогрес” (Харків)
 - Виробляють двовалкові дробарки (тип “ДВ”) - моделі: ДВ-2,3×2,3, ДВ-4×2,5, ДВ-6×4, ДВ-8×5, ДВ-10×5,5, ДВ-15×6.

З огляду на різноманітність властивостей матеріалів, що підлягають переробці, а також відмінності у вимогах до готової продукції, машинобудівні підприємства мають виготовляти широкий спектр дробильних машин різних типів і типорозмірів. Водночас поряд із розробленням нових зразків необхідно постійно модернізувати та вдосконалювати наявні конструкції обладнання, а також нарощувати обсяги їх виробництва.

Під час проєктування машин значна увага приділяється поліпшенню умов праці обслуговуючого персоналу, зокрема шляхом механізації та автоматизації трудомістких операцій, а також дотриманню чинних санітарних вимог щодо допустимих рівнів шуму, вібрації та запиленості. Автоматизація виробничих процесів є найбільш ефективним і перспективним засобом підвищення якості готової продукції та зростання продуктивності обладнання, у зв'язку з чим основні типи дробильних машин адаптовані для роботи у складі автоматизованих технологічних ліній.

Підвищення інтенсивності процесу дроблення можливе лише за умови ґрунтовного знання принципів роботи та конструктивних особливостей застосовуваних машин, а також специфіки їх експлуатації. Системний аналіз наявного парку дробильного обладнання різних типів як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва слугує вихідною основою для пошуку інноваційних рішень у сфері розроблення прогресивних машин і раціональних технологічних схем їх компонування. Водночас слід зауважити, що нестача інформації про сучасні досягнення науки і техніки у галузі конструювання та практичного використання дробильних машин останнім часом певною мірою стримує їх подальше вдосконалення та розширення сфер застосування.

У роботі розглядається проєкт модернізації валкової дробарки СМД-175А. У межах дослідження передбачається виконання розрахунків і обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації для проєктованої системи, проведення аналізу системи автоматичного керування продуктивністю валкової дробарки, а також визначення наближених оптимальних значень параметрів налаштування регулятора продуктивності з метою забезпечення заданої якості регулювання.

Для досягнення поставлених цілей доцільно застосувати програмне середовище Matlab та його додаток Simulink, розробити функціональну схему автоматизації процесу дроблення та структурні схеми системи автоматичного керування (САУ) продуктивністю валкової дробарки. Крім того, необхідно провести аналіз САУ, забезпечити досягнення заданої якості управління та гарантувати наявність запасів стійкості системи.

1 ОПИС ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ДРОБЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ

1.1 Валкові дробарки та сучасні підходи до автоматизації виробництва щебеню

У багатьох галузях промисловості будівельних матеріалів (керамічній, скляній, цементній та інших) широке застосування знайшли валкові агрегати — валкові дробарки та вальці, призначені для крупного, середнього, дрібного та тонкого подрібнення матеріалів малої та середньої міцності, а також для видалення кам'янистих включень з глини тощо. У валкових дробарках подрібнення матеріалу відбувається шляхом роздавлювання, часткового розтирання, удару або вигину між двома валками, що обертаються назустріч один одному, і можуть мати гладку, зубчасту або рифлену поверхню.

Перевагами валкових дробарок є простота конструкції, надійність у роботі та низьке енергоспоживання. До їхніх недоліків належать обмежена здатність дробити великі шматки матеріалу у дробарок з гладкими валками, порівняно невисока продуктивність, виникнення вібрації та потреба в рівномірному і безперервному подачі матеріалу для підтримки ефективності роботи валків. Крім того, до мінусів таких дробарок можна віднести неоднорідний зерновий склад готового продукту, що характеризується значною кількістю плоских і подовжених частинок.

Проблему виробництва високоякісного щебеню зазвичай вирішують двома способами:

1. Закупівля та застосування імпортного дробильного обладнання, виготовленого компаніями з Англії, Німеччини, Італії, США, Швеції та Японії. Основні недоліки цього підходу — висока вартість техніки та можливе надалі скорочення частки вітчизняного та зарубіжного ринку для виробників дробильного обладнання.

2. Розробка нового покоління вітчизняного дробильного обладнання, яке поєднує надійність, конкурентоспроможну продуктивність, зручність обслуговування та доступну вартість.

Реалізація цього шляху потребує значних інвестицій у галузь та перегляду підходів підприємств до розподілу коштів і ресурсів на розвиток перспективних технологій. Перевагами такого підходу є підтримка вітчизняних виробників, створення дробильного обладнання, більш доступного для оснащення українських асфальтобетонних заводів, а також збереження та розширення експорту техніки.

Аналіз сучасного стану вітчизняної дробильно-сортувальної техніки дозволяє дійти висновку, що для істотного збільшення обсягів виробництва високоякісного дробленого щебеню при одночасному зниженні витрат на його виготовлення необхідна суттєва модернізація всієї лінійки вітчизняного технологічного обладнання для дроблення, насамперед основної її складової - дробильних установок.

Світовий досвід демонструє, що одним із ключових напрямів підвищення технічного рівня вітчизняних установок є, поряд із вдосконаленням традиційних технологій та пошуком нових методів дроблення щебеню і приготування асфальтобетонних сумішей, впровадження систем управління на базі мікропроцесорної техніки. Такі системи забезпечують автоматичний запуск і зупинку машин у заданій послідовності, діагностику вузлів і агрегатів, контроль параметрів і регулювання технологічних процесів.

Схема найбільш поширеної технологічної лінії виробництва щебеню на асфальтобетонному заводі представлена на рис. 1.1.

Основним агрегатом цієї лінії, який забезпечує випуск високоякісного щебеню, є валкова дробарка. Проектована дробарка призначена для виробництва щебеню з визначеними фізико-механічними властивостями, гранулометричною формою та складом.

Властивості подрібненого щебеню залежать від низки факторів:

Гранулометрична форма продукту дроблення, як показують дослідження та практичний досвід, здебільшого формується за рахунок процесів самодроблення під час роботи валкової дробарки у режимі завалу (коли камера дроблення постійно заповнена матеріалом). У такому режимі валкова дробарка забезпечує високий відсоток кубоподібних фракцій. Крім того, рівень кубовидності можна підвищити за умови підтримки постійного заповнення камери дроблення та стабільної потужності, витраченої на процес подрібнення.

Гранулометричний склад продукту валкової дробарки при сталому рівні якості вихідного матеріалу можна регулювати шляхом зміни відстані між валками або частоти їх обертання. Аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду дроблення показує, що більш ефективним є регулювання саме відстані між валками.

Отже, для забезпечення можливості автоматизації валкова дробарка має бути обладнана механізмом регулювання цієї відстані.

З урахуванням зазначеного, система автоматизованого управління валковою дробаркою (САУ ВД) повинна забезпечувати:

- підтримку стабільного рівня завантаження камери дроблення через керування обладнанням вузла живлення технологічної лінії;
- стабілізацію активної потужності електродвигуна головного приводу дробарки на заданому рівні шляхом регулювання відстані між валками;
- підтримку відстані між валками при обмеженні активної потужності головного приводу;
- управління роботою механізмів та агрегатів дробарки під час процесу дроблення;
- створення комфортних умов для оператора при мінімальній складності виконуваних ним функцій.

Переваги впровадження САУ ВД включають:

- підвищення загальної продуктивності завдяки роботі дробарки на максимально допустимому або близькому до нього навантаженні;

- збільшення виходу фракцій потрібного гранулометричного складу: при повному завантаженні та максимально допустимій потужності двигуна досягається висока однорідність ділових фракцій щебеню;
- підвищення ступеня подрібнення щебеню завдяки самодробленню при роботі на повному завантаженні без зміни відстані між валками;
- економне використання подрібнюючих органів завдяки їх рівномірному зношуванню;
- усунення потреби у постійному контролі роботи дробарки та забезпечення комфортних умов для оператора в кабіні управління;
- надійний захист дробарок від потенційно небезпечних перевантажень.

Висновок

Аналіз сучасного стану виробництва щебеню показує, що валкові дробарки є ключовими агрегатами для отримання продукту з високими фізико-механічними характеристиками та стабільним гранулометричним складом. Попри простоту конструкції, надійність та низьке енергоспоживання, традиційні валкові дробарки мають низку обмежень, зокрема низьку продуктивність, виникнення вібрацій, неоднорідність зернового складу та потребу в рівномірній подачі матеріалу.

Для забезпечення високоякісного виробництва щебеню можливі два шляхи: закупівля імпортного обладнання або створення сучасного вітчизняного дробильного обладнання. Переваги другого підходу включають підтримку національних виробників, доступність обладнання для українських асфальтобетонних заводів та потенціал для розвитку експорту техніки.

Досвід показує, що підвищення ефективності валкових дробарок можливо через модернізацію обладнання та впровадження систем автоматизованого управління (САУ), що забезпечують контроль процесів, стабілізацію навантаження, підтримку заданої відстані між валками та захист від перевантажень. САУ дозволяє підвищити продуктивність дробарок, забезпечити більшу однорідність та кубоподібність фракцій, економно

використовувати подрібнювальні органи та створити комфортні умови роботи для оператора.

Таким чином, впровадження сучасних технологій управління та модернізація валкових дробарок є необхідними умовами підвищення якості та ефективності виробництва щебеню вітчизняними асфальтобетонними заводами.

1.2 Огляд існуючих конструкцій дробарок валкового типу

Валкові дробарки використовуються для дрібного та середнього дроблення в'язких і вологих матеріалів, а також для вторинного дроблення міцних порід [2]. Робочими органами валкової дробарки є циліндричні валки, що обертаються на горизонтальних осях. Матеріал подається зверху, захоплюється між валками або між валком і футерівкою камери дроблення, внаслідок чого відбувається його подрібнення [1].

Валкові дробарки бувають одно-, дво-, три- та чотиривалковими. Чотиривалкова дробарка у деяких випадках розглядається як поєднання двох двовалкових дробарок, змонтованих в одному корпусі.

Поверхні валків можуть бути гладкими, рифленими, ребристими та зубчастими — довго- або короткозубчастими (довгозубчасті — при висоті зуба більше 0,1 діаметра валка, короткозубчасті — при висоті зуба менше 0,1 діаметра валка). Можливі різні комбінації поверхонь, що дроблять. Дробарки з гладкими або рифленими валками зазвичай застосовують для обробки матеріалів середньої міцності (до $\sigma_{сж} = 150$ МПа), тоді як зубчасті валки використовують для подрібнення кам'яного вугілля та інших слабких матеріалів (до $\sigma_{сж} = 80$ МПа). Крупність продукту дроблення залежить як від розміру вихідної щілини між валками, так і від типу поверхні робочих органів. У світовій практиці валкові дробарки переважно застосовують на заключних стадіях дроблення — для середнього та дрібного подрібнення.

Основні конструктивні схеми валкових дробарок показані на рис. 1.2.

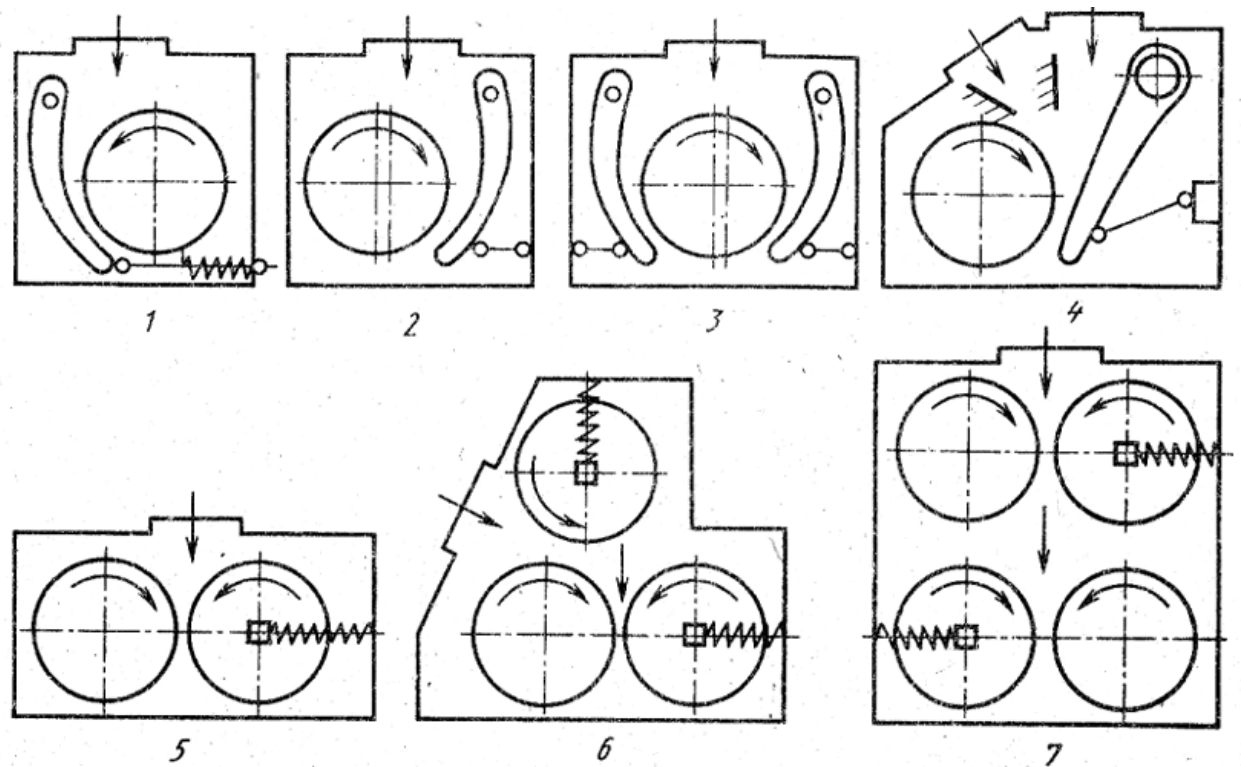


Рисунок 1.2 – Основні конструктивні схеми валкових дробарок

1.2.1 Одновалкові дробарки

Схема 1 (рис. 1.2), де камера дроблення утворена поверхнею валка та нерухомим футеруванням, застосовується для зубчастих валків. Одновалкова зубчаста дробарка використовується для подрібнення вугілля, агломерату та інших матеріалів. Вона складається зі зубчастого валка та колосникових ґрат, шарнірно закріплених у верхній частині рами. Нижній кінець колосникових ґрат притискається пружиною до регульованого упору, що дозволяє змінювати зазор між зубами та ґратами та захищає дробарку від пошкоджень у разі попадання великих частинок.

Для подрібнення агломерату на агломераційних фабриках у деяких випадках довгозубчасті валки встановлюють прямо над колосниковими ґратами, по яких переміщаються пласти агломерату, при цьому зуби валка входять у проміжки між колосниками (рис. 1.3).

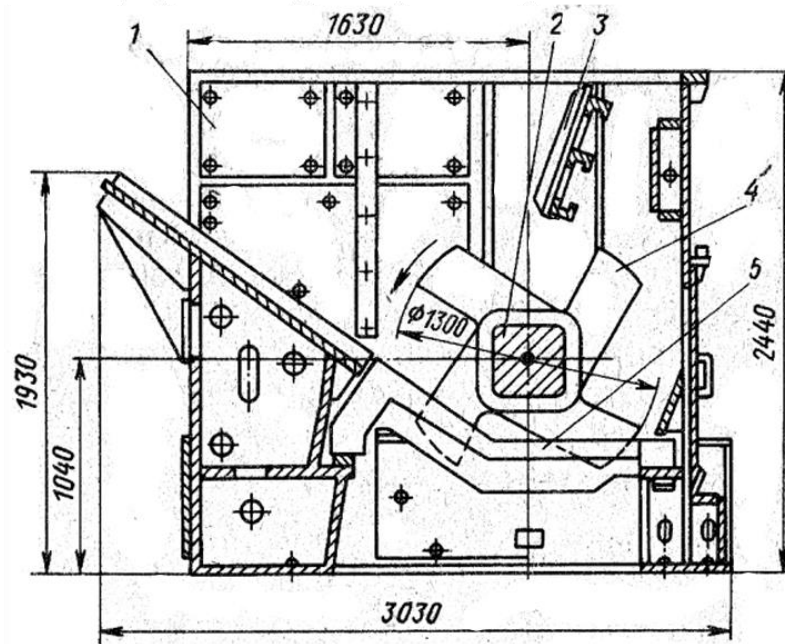


Рисунок 1.3 – Одновалкова зубчаста дробарка

У табл. 1.1 представлена технічна характеристика вітчизняних одновалкових довгозубчастих дробарок.

Дробарки, зазначені в табл. 1.1, призначені для подрібнення гарячого агломерату з температурою 600–850 °С. Для відведення тепла, що надходить до цапф валу при безпосередньому контакті ротора з гарячим агломератом, вал виконаний порожнистим із передбаченою циркуляцією води для охолодження.

Таблиця 1.1 Одновалкові довгозубчасті дробарки

Показники	СМД-1	СМД-2А	СМД-3Б
Розміри валка, мм			
- діаметр	1200	1300	1300
- довжина	2100	2700	4200
Частота обертання валка, об/хв	3,2	4,7	3; 4,5; 6; 9
Розмір подрібнюваного матеріалу, мм	250×1000× ×2000	250×1300× ×2500	400×1500× ×4000
Розмір готового продукту, мм	200	До 150	До 150
Продуктивність, т/год	80	200	800-900
Потужність двигуна, кВт	30	55	40; 60; 90; 125
Вага дробарки, т	22,3	27,8	52,7

Валкові дробарки, виконані за схемами 2 і 3 (рис. 1.2), принципово відрізняються від інших конструкцій. Валки в цих дробарках не жорстко з'єднані з валом, а закріплені шарнірно на його ексцентричній частині.

За схемою 2 (рис. 1.2) побудована валково-щогова дробарка-гранулятор «Гравілор» фірми АБМ (Франція). Валок, облицьований бандажом з трикутними рифленнями, закріплений на ексцентриковому валу на роликових підшипниках. Верхня частина нерухомої щогоки підвішена на осі, з'єднаній із бічними стінками корпусу, а нижня частина спирається на розпірну плиту, що складається з двох частин, з'єднаних болтами. Болти виконують функцію запобіжників і зрізаються при потраплянні в камеру подрібнення великих предметів. Розпірна плита опирається на регулювальний пристрій, який дозволяє змінювати зазор між нею та валком. Дробарка призначена для виробництва дрібного щебеню з підвищеним вмістом зерен кубоподібної форми.

У схемі 3 (рис. 1.2) передбачено дві камери дроблення, а поверхні робочих органів виконані гладкими. Порівняно з дробаркою за схемою 2 (рис. 1.2), вузол кріплення валка принципово не відрізняється, проте наявність двох камер дроблення приблизно вдвічі підвищує продуктивність машини.

Дробарка «Ротекс» фірми Візерхютте (Німеччина), створена за цією схемою, обладнана подвійним запобіжним пристроєм: приводний шків через фрикційну муфту пов'язаний з ексцентриковим валом, що обмежує момент, а між щогою та корпусом дробарки встановлені попередньо напружені спіральні пружини, які стискаються при попаданні великих предметів. Фірма випускає три моделі дробарки «Ротекс» (D×L): 300×330, 500×540 та 800×850 мм.

Фірма Вестінгауз (США) також створила аналогічну дробарку з валками розміром 800 × 600 мм, у якій гідравліка застосовується як для регулювання розміру вихідної щілини, так і для захисту машини при потраплянні недробимих предметів. Експерименти показали, що за певних режимів така дробарка здатна виробляти щебінь розміром до 20 мм із вмістом лещадних зерен до 15%, що відповідає вимогам чинних нормативних документів. Водночас було

встановлено, що дробарка легко забивається вологим матеріалом, а у продукті дроблення міститься до 40–45% дрібного матеріалу (менше 5 мм), що є небажаним для умов виробництва товарного щебеню.

Схема 4 (рис. 1.2) реалізована у валково-щоківій дробарці, вперше запропонованій фірмою Даймонд (США) для пересувних дробильно-сортувальних установок. На загальній рамі змонтовані рухома та нерухома щоки, а також валок. Рухома щока здійснює складний рух, а привід валка через ланцюгову передачу пов'язаний з ексцентриковим валом рухомої щоки. Матеріал надходить у камеру дроблення між нерухомою та рухомою щоками, після чого роздроблений продукт переходить на другу стадію дроблення — між обертовим валком і нижньою частиною тієї ж рухомої щоки. У цю камеру додатково можна подавати дрібний матеріал.

За даними фірми, застосування такої дробарки дозволяло зменшити масу всієї установки на 30–40%.

1.2.2 Двовалкові дробарки

Найбільш поширеним типом є двовалкова дробарка, принципова схема якої представлена на рис. 1.2 (схема 5). За цією схемою виготовляють більшість вітчизняних та зарубіжних валкових дробарок. Валки обертаються назустріч один одному, захоплюючи та подрібнюючи матеріал, що потрапляє між ними, розчавлюючи та частково стираючи його. У деяких випадках для посилення стираючого ефекту, який необхідний при подрібненні певних матеріалів, валки можуть обертатися з різними кутовими швидкостями.

Корпуси підшипників валу одного з валків встановлені на пружинах і здатні переміщуватися. Завдяки цьому при потраплянні недробимого предмета один валок відходить від іншого, пропускаючи сторонній об'єкт, після чого під дією пружин повертається у вихідне положення. Існують конструкції, у яких підпружинені обидва валки — їх застосовують у випадках, коли вихідний матеріал містить багато великих включень. Технічні характеристики окремих двовалкових дробарок наведено в табл. 1.2.

Привід валків виконаний відповідно до схеми, показаної на рис. 1.4.

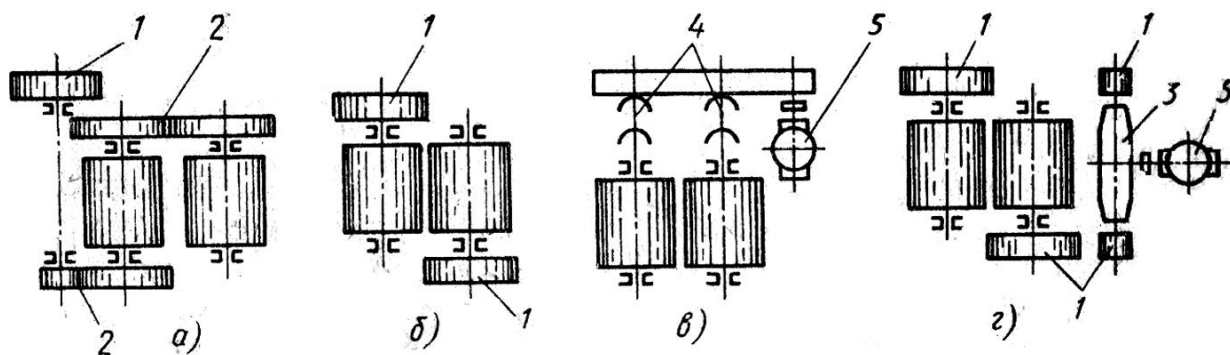


Рисунок 1.4 – Варіанти приводу валків двовалкових дробарок:
1 – шків; 2 – шестерна передача; 3 – редуктор; 4 – кардан; 5 – електродвигун

Таблиця 1.2 - Технічна характеристика двовалкових дробарок

Показники	Валкові дробарки					
	з гладкими валками					з рифленими і гладкими валками
Розміри валка, мм						
- діаметр	400	600	800	1000	1500	600
- довжина	250	400	500	550	600	400
Розмір подрібнюваного матеріалу, мм	20	30	40	50	75	60
Відстань між валками, мм	2-12	2-14	4-16	4-18	2-20	10-30
Частота обертання валків, об/хв	200	180	150	100	83	175
Колова частота валків, м/с	4,2	5,6	6,2	5,2	6,5	5,5
Потужність двигуна, кВт	2×4,5	2×7,5	28	40	55	20
Продуктивність, м ³ /год	2,7... 16,2	4,3... 30,2	10,8... 43,0	11,9... 53,5	13...65	18...54
Вага, т	2,2	3,4	12,5	15,9	32,4	33,3

Широко поширена досі «традиційна» двовалкова дробарка (рис. 1.5), виконана за схемою, наведеною на рис. 1.4, а.

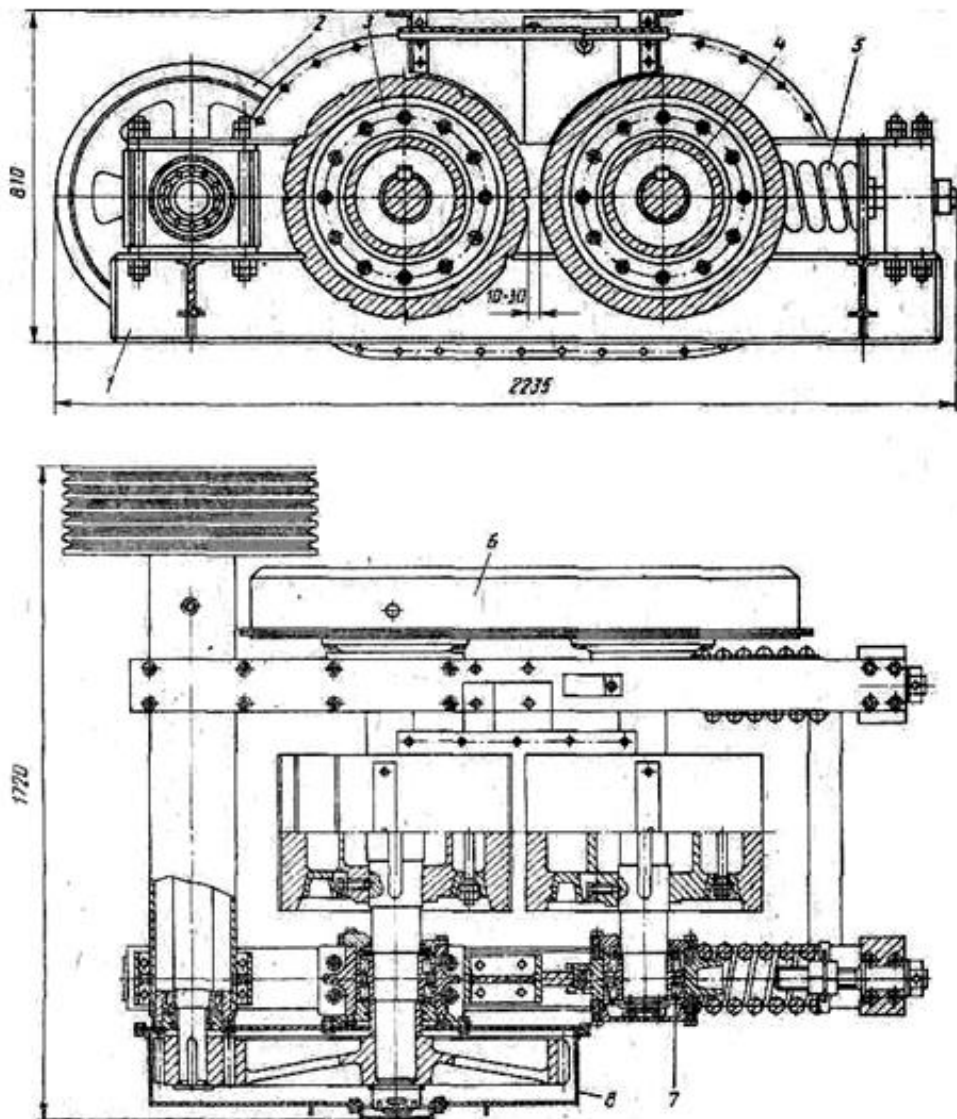


Рисунок 1.5 - «Традиційна» двовалкова дробарка

Шків 2 (рис. 1.5) дробарки обертається за допомогою електродвигуна, а далі через одноступінчастий редуктор, захищений кожухом 8, обертання передається першому рифленому валку 8, корпус підшипників якого жорстко закріплений на рамі 1 дробарки. Підшипники 7 другого гладкого валка 4 притиснуті до упору амортизаційними пружинами 5 і можуть переміщуватися, стискаючи пружини, що збільшує зазор між валками та дозволяє пропускати недробимі предмети. Обертання від першого (привідного) валка передається другому (відомому) валку за допомогою шестерень з подовженими зубами, що допускають зміну міжцентрової відстані між валами. Шестерні обертаються в масляній ванні та закриті кожухом 6.

Існують також конструктивні варіанти, у яких кожен валок приводиться в рух від електродвигуна (рис. 1.4, б) або через редуктор 3 та карданні вали 4 (рис. 1.4, в).

Валкова дробарка (рис. 1.6), виконана за схемою, показаною на рис. 1.4, б, має два валки: один гладкий, інший рифлений. Підшипники одного валка закріплені на корпусі 5 дробарки, а підшипники іншого — на рухомій рамі 3, що з'єднана з корпусом шарніром 4.

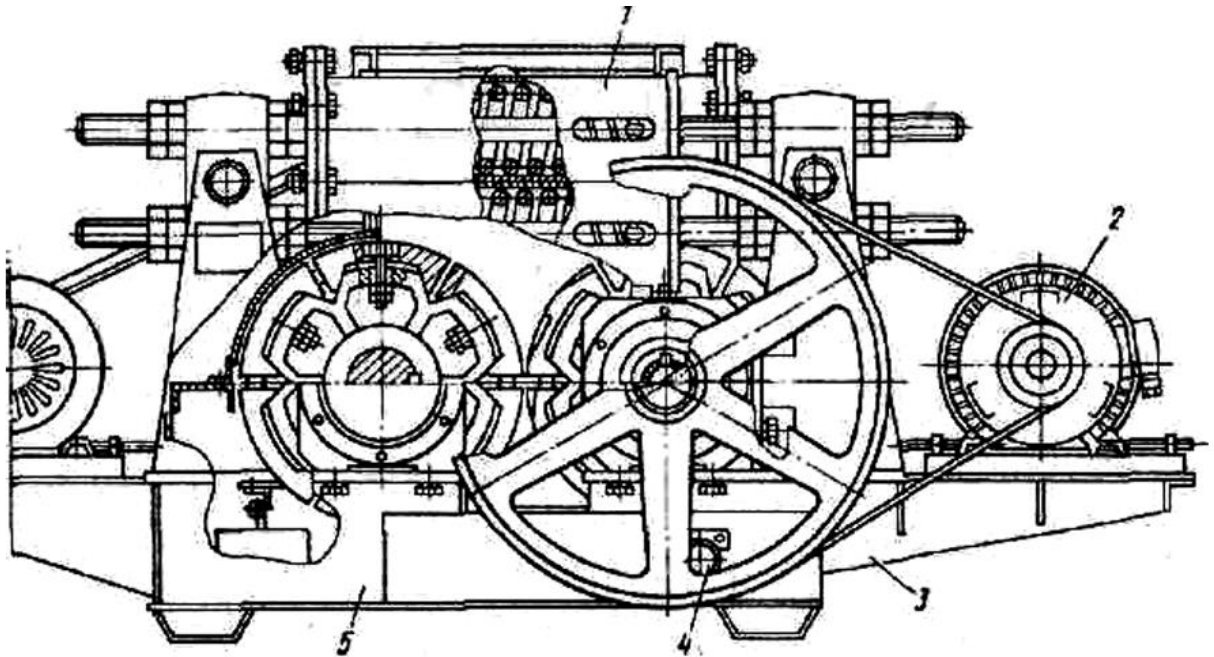


Рисунок 1.6 – Двухвалкова дробарка з роздільним приводом

У верхній частині корпус і рама з'єднані запобіжним механізмом 1, що складається з системи тяг і пружин. Він дозволяє регулювати зазор між валками та забезпечує їх розходження при потраплянні недробимого предмета. У такому випадку валок разом із рухомою рамою та встановленим на ній електродвигуном обертається навколо шарніра, збільшуючи зазор між валками. Після проходження стороннього предмета пружини повертають валок у вихідне положення. Зусилля, необхідне для дроблення матеріалу, створюється за рахунок попереднього стискання пружин.

Кожен валок приводиться в рух за допомогою клинопасової передачі від окремих електродвигунів 2, встановлених на корпусі та рухомій рамі, тому

при розходженні валків міжцентрова відстань клинопасової передачі залишається незмінною.

Двовалкова дробарка з короткозубчастими валками машинобудівного комбінату ім. Е. Тельмана (Німеччина) виконана за схемою, показаною на рис. 1.4, в. Валки обладнані дрібними зубцями: нерухомий валок приводиться безпосередньо від електродвигуна через редуктор, а другий, рухомий, — через електродвигун, редуктор і короткий шарнірний вал. Такі дробарки застосовуються для подрібнення порід малої міцності, наприклад, глини, мергелю, м'якого вапняку, гіпсу та вугілля.

Машинобудівна промисловість також випускає короткозубчасту двовалкову дробарку СМД-175А з ротором розміром 1500×1200 мм (рис. 1.7). Вона призначена для подрібнення вапняку, мергелю, вугілля, солі та інших подібних матеріалів з межею міцності до 120 МПа та температурою до 40 °С (табл. 1.3) [3].

На зварену раму дробарки в підшипниках кочення встановлено два валки: підшипники одного валка нерухомі, а підшипники другого спираються на амортизаційні пристрої. У разі потрапляння між валками недробимого предмета рухомий валок відходить від нерухомого і після проходження стороннього об'єкта повертається у вихідне положення.



Рисунок 1.7 - Дробарка двовалкова зубчаста СМД - 175А

До валу валка (рис. 1.8) прикріплені дві маточини, на яких за допомогою болтів закріплюються робочі зубчасті сегменти.

У нижній частині рами встановлені металеві гребінки, які очищують робочу поверхню валків від налиплого матеріалу під час дроблення. Кожен валок обладнаний індивідуальним приводом, що включає електродвигун, еластичну муфту, редуктор і універсальний шпindel.

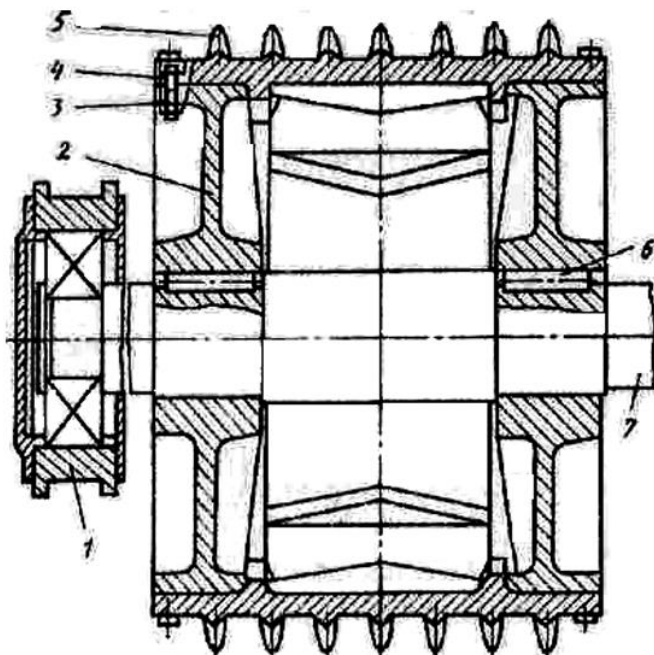


Рисунок 1.8 – Валок двовалкової зубчастої дробарки СМД – 175А:
1 – корпус підшипника; 2 – маточина; 3 – болт кріплення; 4 – сегмент;
5 – зуб; 6 – шпонка; 7 – вал

Валково-зубчасті дробарки відзначаються надійністю у роботі та високою продуктивністю при порівняно компактних габаритах і невеликій масі.

1.2.3 Тривалкові дробарки

Тривалкова дробарка фірми Пайонір (США) виконана за схемою б (рис. 1.2). Підшипники провідного валу жорстко закріплені на рамі дробарки, тоді як підшипники двох інших валків можуть переміщуватися в напрямних і притискаються пружинами до упорів, що регулюють зазор між валками.

Фірма Пайонір та Універсал (США) використовують для приводу валків автомобільні шини. Пружна деформація шин забезпечує надійне

зчеплення валків між собою як під час регулювання зазорів, так і при відході валків для пропуску недробних предметів.

Верхній валок зазвичай має гладкий бандаж і разом із лівим нижнім валком з рифленим бандажом забезпечує першу стадію дроблення. Роздрібнений матеріал, ковзаючи по поверхні лівого валка, потрапляє у наступну камеру дроблення, утворену цим валком та третім валком, також із гладким бандажом. За даними фірми Пайонір, тривалкові дробарки порівняно з двовалковими тієї ж величини дозволяють збільшити крупність вихідного матеріалу на 60–65% при збільшенні потужності двигуна всього на 20%.

Тривалкова дробарка СМД-130 (рис. 1.9) з валками діаметром 600 мм і довжиною 1000 мм розроблена спеціально для подрібнення сільськогосподарських добрив від початкового розміру 80 мм до кінцевого 3 мм. Водночас її можна використовувати для дроблення інших матеріалів, схильних до налипання, з невеликою межею міцності при стиску, з такими ж розмірами вихідного та кінцевого продукту.

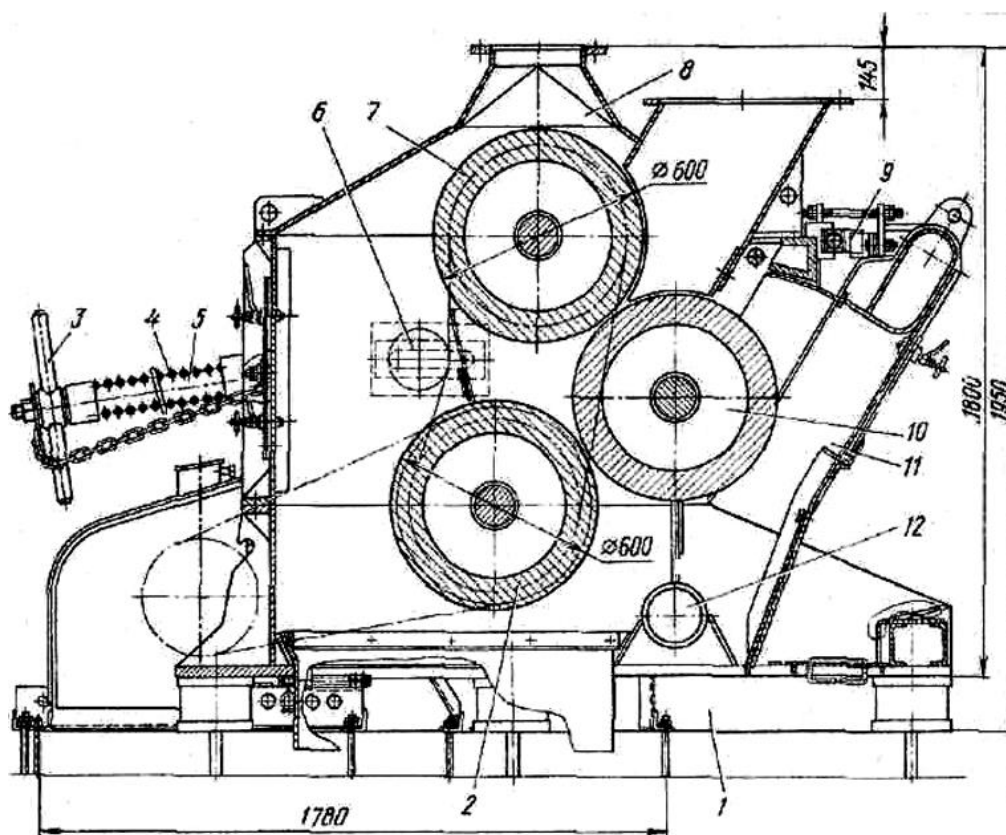


Рисунок 1.9 – Тривалкова дробарка СМД-130

1.2.4 Чотирихвалкові дробарки

Дробарки за схемою 7 (рис. 1.2) складаються з двох пар валків, розташованих одна над одною, тобто їх можна розглядати як дві двовалкові дробарки, змонтовані в одному корпусі. Верхню пару валків зазвичай виконують з рифленою або зубчастою поверхнею, а нижню — переважно гладкою. Така конструкція забезпечує високу ефективність дроблення всієї дробарки. Подібні дробарки використовують на агломераційних фабриках для подрібнення коксу та вугілля.

Оригінальні рішення чотиривалкових дробарок фірми Універсал (США). На рис. 1.11 показана схема дробарки цієї фірми, у якій на двох валах змонтовано чотири валки різного діаметра. Таким чином, у одній дробарці фактично поєднані дві паралельні (здвоєні) дробарки для середнього та дрібного дроблення. У цій конструкції обидві пари валків регулюються одночасно, тобто окремо регулювати кожен валок неможливо, що є недоліком. Проте, за оцінкою фірми, таке технічне рішення дозволяє здійснити тристадійне дроблення без значного збільшення габаритів установки та споживаної енергії.

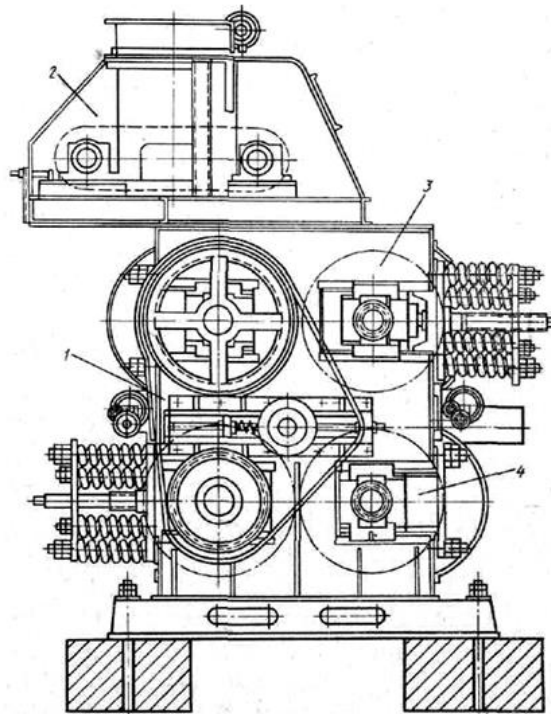


Рисунок 1.10 – Чотирихвалкова дробарка

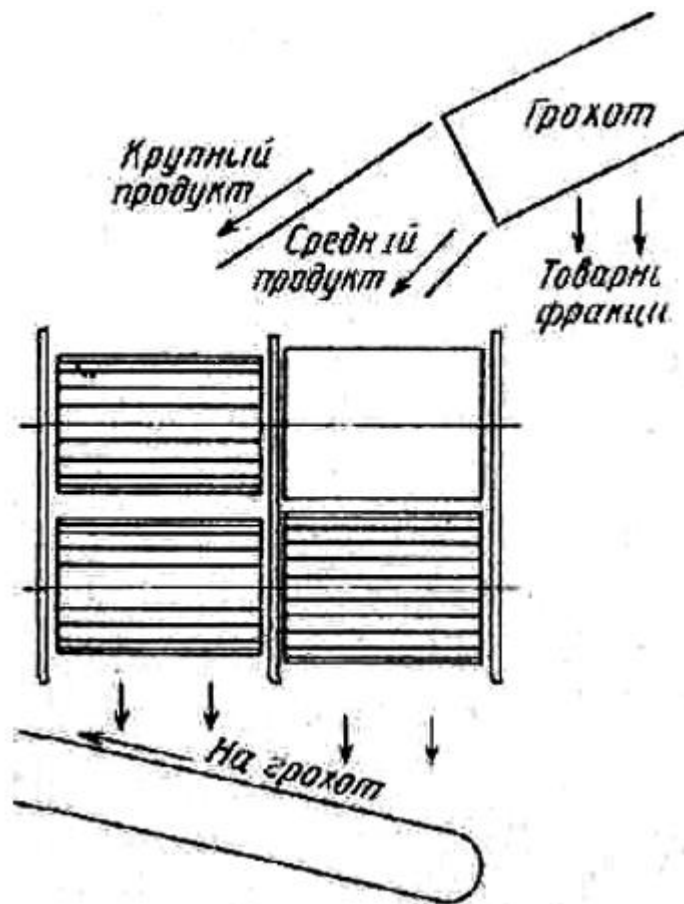


Рисунок 1.11 – Схема чотиривалкової дробарки фірми Універсал (США)

На відміну від схеми 7 (рис. 1.2), ця схема є більш ефективною, оскільки після кожної стадії дроблення дозволяє здійснювати розсів готового продукту і направляти на подальше подрібнення лише ті частки, які потребують дроблення.

1.3 Матеріал дроблення

Гірські породи можуть бути монокристалічними, утвореними кристалами розміром від кількох мікрометрів до кількох сантиметрів, або полікристалічними, де кристали мають подібні розміри [4].

В. Ржевський класифікував усе різноманіття гірських порід на три групи [5]:

1. скельні та напівскельні породи у природному стані;
2. зруйновані породи - штучно або природно змінені породи першої групи;

3. щільні, м'які (зв'язкові) та сипкі гірські породи.

Тип порід визначає методи їх розробки та використовувані при цьому механічні засоби.

До скельних порід належить більшість вивержених і метаморфічних порід, а також частина осадових порід з межею міцності при одноосному стискуванні у шматку, насиченому водою на 3–5 %, від 50 до 350 МПа. Сюди входять граніти, базальти, габро, міцні вапняки, мармури, пісковики та інші.

Напівскельні породи включають вивітрілі, вивержені, метаморфічні та осадові породи, міцність яких при одновісному стиску в зразку, насиченому водою до 12%, становить 20–50 МПа. До цієї категорії належать конгломерати, гіпс, вапняк-черепашник, а також менш міцні вапняки та інші породи.

Роздроблені та зруйновані породи утворюються під дією вибуху, механічного руйнування або природних процесів, таких як обвали, вивітрювання тощо.

До категорій щільних, м'яких і сипучих порід належать зв'язкові породи, м'які зв'язні породи, розпушені м'які (зв'язкові) породи, різнорідні породи, а також мерзлі м'які та сипучі породи.

При виборі подрібнювального обладнання слід враховувати фізичні властивості порід у природному стані, а також їх основні характеристики, що впливають на процес дроблення конкретною дробаркою. Крім того, важливо брати до уваги особливості поєднання порід у структурі та текстурі.

1.4 Фізичні властивості гірських порід

Дослідження поведінки міцних матеріалів під різними видами навантажень виявляє схожість їхніх властивостей і дає змогу оцінити важливість їхньої механічної стійкості до руйнування. Значні зусилля, що при цьому виникають, становлять серйозну перешкоду для створення та ефективного проектування машин і механізмів [11].

Найважливішими фізичними властивостями гірських порід у масиві є твердість, в'язкість, пружність, пластичність, абразивність і міцність.

Твердість характеризує здатність породи протистояти проникненню в неї більш твердих тіл, наприклад, при вдавлюванні сталевий кульки або конуса, подряпинах різцем, ударах молотка тощо [5].

Ф. Моос (1773–1839) запропонував метод визначення твердості мінералу шляхом його подряпування спеціальними мінералами-еталонами. У мінералогії за еталони твердості прийнято десять мінералів, розташованих у порядку збільшення твердості, які утворюють так звану шкалу твердості (шкалу Мооса). За допомогою цієї шкали можна оцінити відносну твердість досліджуваного мінералу [5].

Точне визначення твердості гірських порід проводять за допомогою спеціальних приладів — склерометрів, використовуючи алмазне або металеве вістря. Результат вимірювання твердості такими приладами виражається в кг/мм^3 [5].

У таблиці 1.4 наведено значення відносної твердості мінералів за шкалою Мооса та їх абсолютної твердості.

Таблиця 1.4 – Значення відносної твердості мінералів за шкалою твердості Мооса та абсолютної твердості.

Мінерал	Твердість за шкалою Мооса	Абсолютна твердість, кг/мм^3
Тальк ($\text{Mg}_3[\text{OH}]_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$)	1	2,4
Гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	2	36
Кальцит (CaCO_3)	3	109
Флюорит (CaF_2)	4	189
Апатит ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{Cl})$)	5	536
Ортоклаз ($\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$)	6	795
Кварц (SiO_2)	7	1120
Топаз ($\text{Al}_2(\text{F}, \text{OH})_2[\text{SiO}_4]$)	8	1427
Корунд (Al_2O_3)	9	2060
Алмаз (C)	10	10060

В'язкість (ударна в'язкість) характеризує здатність породи протистояти удару і визначається як відношення роботи, затраченої на ударне руйнування зразка, до його поперечного перерізу в місці надрізу:

$$a_n = \frac{A}{S} \quad (1.1)$$

де A - робота зламу, Дж;

S – площа поперечного перерізу зразка у місці надрізу, м;

a_n - ударна в'язкість, Дж/м (Н/м) [5].

Пружність — це властивість матеріалу деформуватися під дією навантаження та відновлювати свою початкову форму після його зняття.

Пластичність — здатність матеріалу змінювати форму під навантаженням без утворення тріщин і зберігати цю форму після його припинення. Матеріали поділяються на пластичні та крихкі. **Крихкі матеріали** руйнуються раптово, майже без деформації, добре протистоять стиску, але погано — розтягуванню та зсуву [5].

Абразивність — це здатність оброблюваного матеріалу зношувати робочі частини машин. Знання абразивності гірських порід необхідне для ефективного використання обладнання, що застосовується для їх переробки. Величину абразивності визначають у грамах зносу еталонних битків на 1 т переробленого матеріалу [1].

Міцність — властивість матеріалу протистояти руйнуванню під дією напружень, що виникають через навантаження, температуру, атмосферні впливи та інші фактори. Будівельні матеріали з гірських порід піддаються різним видам напруг: стисненню, розтягуванню, вигину, зрізу та удару [5].

Межею міцності σ_{III} (МПа) називають відповідну напругу, що відповідає силі $P_{розр}$, що спричинила руйнування зразка матеріалу. Межа міцності дорівнює стискаючій силі, що припадає на одиницю площі первісного перерізу матеріалу:

$$\sigma_{III} = \frac{P_{розр}}{F} \quad (1.2)$$

Виходячи з межі міцності, гірські породи поділяються на 4 категорії:

1. Особливоміцні ($\sigma_{III} > 250$ МПа);

2. Міцні ($\sigma_{III} = 150..250$ МПа);
3. Середньої міцності ($\sigma_{III} = 80..150$ МПа);
4. Малої міцності ($\sigma_{III} < 80$ МПа).

В. Ржевським було запропоновано загальну оцінку сил опору гірських порід руйнування [5]:

1. Руйнування відбувається під дією зовнішніх (рідше внутрішніх) сил у результаті виникнення у певних обсягах породи напруг при стисканні, зсуві та розтягуванні, що перевищують відповідні межі міцності $\sigma_{сж}$, $\sigma_{сдв}$, $\sigma_{рост}$.

2. Сумарна дія сил руйнування при різних напругах при стисканні, зсуві та розтягуванні може бути оцінено граничним тиском σ_p породи руйнуванню (МПа):

$$\sigma_p = K_1 \cdot \sigma_{сж} + K_2 \cdot \sigma_{сдв} + K_3 \cdot \sigma_{раст} \quad (1.3)$$

де коефіцієнти K_1 , K_2 , K_3 – коефіцієнти впливу відповідних напруги при руйнуванні.

3. Граничний опір руйнуванню породи у масиві залежить від тріщинуватості та щільності породи γ , кг/м³:

$$\sigma_{p.m.} = K_{mp} \cdot \sigma_p + K_g \cdot l \cdot \gamma \cdot g \cdot 10^{-3} \quad (1.4)$$

де K_g і l – відповідно ступінь впливу та шлях подолання сили опору від ваги породи [5].

Основні характеристики гірських порід.

У цій роботі розглядаються дробильні агрегати, що здатні дробити гірські породи з міцністю до 100–200 МПа, тобто переважно скельні породи.

Граніт. Об'ємна маса цієї породи залежно від розміру зерен становить 2600–2800 кг/м³; межа міцності на стиск — 120–150 МПа (1200–1500 кг/см²); характеризується низькою пористістю. Використовується як дорожній камінь, щебінь для бетону та для обробки будівельних конструкцій [6].

Сієніт. Об'ємна маса породи становить 2600–2800 кг/м³, межа міцності на стиск — 120–180 МПа (1200–1800 кг/см²). Використовується як дорожній камінь, щебінь для бетону та для обробки будівельних конструкцій [6].

Вапняк. Об'ємна маса залежно від густини коливається в межах 1200–2600 кг/м³, а межа міцності на стиск — 20–200 МПа (200–2000 кг/см²). У будівництві застосовується як будівельний і облицювальний камінь, а також як сировина для виробництва цементу та вапна [6].

Мармур. Об'ємна маса дорівнює 2700 кг/м³, міцність на стиск — 100–120 МПа (1000–1200 кг/см²). Використовується як облицювальний матеріал і інколи як щебінь для декоративного бетону [6].

1.5 Вимоги до якості продукту дроблення

Найпоширенішими нерудними будівельними матеріалами, отриманими шляхом дроблення, є щебінь, гравій та пісок. Продукцію заводів з виробництва нерудних будівельних матеріалів широко застосовують у промисловому, цивільному, залізничному, автомобільному та гідротехнічному будівництві. Через різноманітність сфер використання вимоги споживачів до якості матеріалів часто істотно відрізняються, що зумовлює необхідність застосування різного обладнання навіть при переробці однієї й тієї ж вихідної гірничої маси [12].

Щебінь отримують шляхом дроблення природного каменю, що добуто з підірваних скельних порід. Його поділяють на групи (фракції) за розміром граничних зерен: 5–10 мм, 10–20 мм, 20–40 мм та 40–70 мм. Зерна щебеню, залежно від співвідношення довжини a до товщини c або ширини b , класифікують як кубоподібні, пластинчасті (ліщадні) та голчасті [12].

До пластинчастих (ліщадних) та голчастих зерен відносять ті, у яких товщина або ширина менша за довжину більш ніж у три рази.

Якість щебеню визначають за міцністю, допустимим закругненням або замілкуванням фракцій та вмістом засмічуючих домішок. Щебінь вищої

категорії повинен мати міцність не менше 40 МПа для осадових порід і не менше 80 МПа для вивержених та метаморфічних порід. Вміст пилоподібних і глинистих частинок у щебені не повинен перевищувати 0,7% для метаморфічних та вивержених порід і 1,5% для осадових [12].

У певній товарній фракції, наприклад 20–40 мм, допускається, щоб частка зерен, більших за максимальний розмір (понад 40 мм) або менших за мінімальний (менше 20 мм), не перевищувала 5%.

Гравій — це сипучий матеріал з овальними зернами розміром 3 (5)–70 мм, що утворився внаслідок природного руйнування гірських порід. Зерна розміром 70–150 мм називають великим гравієм, а понад 150 мм — валунами.

Для будівельних робіт гравій поділяють на фракції: 5–10 мм, 10–20 мм, 20–40 мм та 40–70 мм.

До показників якості гравію відносяться допустиме закрупнення та замілкування фракцій, вміст зерен слабких порід, міцність тощо. Вміст зерен слабких порід у гравії не повинен перевищувати 10–15%. До слабких відносять породи з межею міцності на стиск у насиченому водою стані менше 20 МПа.

Пісок, що використовується у будівництві, поділяють на природний, збагачений та фракціонований; подрібнений, подрібнений збагачений та подрібнений фракціонований; а також подрібнений із відсівів та подрібнений збагачений із відсівів. Зерна піску мають розмір від 0,14 до 5 мм.

Якість піску визначають за такими показниками: зерновий склад, вміст пилу, глини та мулу, наявність органічних домішок, мінералогічно-петрографічний склад.

При використанні природного або подрібненого піску (або їх сумішей) слід дотримуватися вимог до його якості. Наприклад, пісок, подрібнений із відсівів і призначений для асфальтобетонних дорожніх покриттів, не повинен містити понад 7% пилоподібних, глинистих та мулистих частинок за масою.

2 ПРИНЦИПИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА ВИМОГИ ДО АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

Застосування автоматизованих систем контролю та управління в кожному конкретному випадку визначається тим, наскільки система відповідає встановленим вимогам. Основною вимогою є підтримання заданої функціональної залежності між керуючими та регульованими змінними на вході та виході системи. Ідеальних систем, які повністю виконують цю умову, не існує, тому мова йде про наближення роботи системи до ідеальної. Чим ближче система до цього ідеалу, тим складнішою вона стає.

Отже, завдання проектування автоматизованих систем полягає у пошуку оптимального компромісу між прагненням до високої якості роботи та можливістю реалізувати її простими технічними засобами. Вимоги до динамічної поведінки системи залежать від її призначення, характеру роботи та конкретних умов експлуатації. Виділяють такі основні категорії вимог:

- до запасу стійкості системи;
- до величини помилки в усталеному стані або статичної точності регулювання;
- до якості перехідного процесу.

Стійкість є однією з найважливіших умов нормальної роботи системи автоматичного регулювання (САР). Під стійкістю розуміють здатність системи повертатися у стан рівноваги після того, як вона була виведена з нього під дією різних впливів. Для оцінки стійкості конкретної САР систему виводять зі стану рівноваги та аналізують її поведінку в перехідному процесі.

Стійкість системи характеризується запасами стійкості по амплітуді та фазі:

- Запас стійкості по фазі ($\Delta\varphi$) — величина, на яку може збільшитися фазове запізнення на частоті зрізу ω_c , перш ніж система досягне межі стійкості.

- Запас стійкості по амплітуді (ΔL) — величина допустимого підйому ЛАЧХ, при якій система опиняється на межі стійкості.

Стійкість є необхідною, але недостатньою умовою ефективної роботи системи автоматичного регулювання.

Важливою вимогою до системи є якість перехідних процесів, яка оцінюється такими показниками:

- Час перехідного процесу $t_{\text{шт}}$ характеризує швидкодію системи і визначається як проміжок часу від початку перехідного процесу до моменту, коли відхилення вихідної величини від встановленого значення стає меншим за задану, достатньо малу величину $\Delta_{\text{рег}}$. Зазвичай приймають $\Delta_{\text{рег}}=5\%$.

- Перерегулювання δ — відношення максимального відхилення вихідної величини від її встановленого значення до самого встановленого значення.

- Коливання перехідного процесу μ — відношення двох сусідніх максимальних відхилень перехідної характеристики від встановленого значення.

- Статична точність регулювання оцінюється через статичну помилку A , яка дорівнює відхиленню регульованої величини від заданого значення після завершення процесу регулювання. Статична помилка повинна бути меншою або рівною допустимому значенню.

Система автоматизації повинна виконувати такі функції:

1. Інформаційні функції:

- автоматичний контроль стану технічних засобів автоматизованого технологічного обладнання (АТО), включаючи механічні, силові та інші пристрої, що входять до його складу;

- автоматичний контроль стану технологічного процесу в АТО за допомогою датчиків;

- автоматична діагностика стану технічних засобів АТО;

- автоматична діагностика стану технологічного процесу, що реалізується в АТО;

- організація взаємодії оператора з МПК (введення та виведення інформації);

- обмін інформацією із суміжними системами, зокрема АСУТП вищого рівня.

2. Керуючі функції:

- автоматичне блоковане керування механізмами, включаючи пуск і зупинку;

- автоматичне регулювання та стабілізація робочих режимів обладнання;

- автоматичне регулювання та стабілізація технологічного процесу в АТО у заданих умовах;

- автоматизоване управління в нестандартних ситуаціях, що включає ручне та діалогове керування за сигналами системи або оператора.

Автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУТП) впроваджуються на великих підприємствах з метою покращення управління та підвищення ефективності виробництва. АСУТП являють собою систему управління, яка використовує обчислювальну техніку та економіко-математичні методи для вирішення завдань управління виробничо-господарською діяльністю підприємства.

АСУТП повинні забезпечувати:

- автоматизований збір і обробку інформації з широким застосуванням методів оптимізації для основних завдань та підсистем управління на загальнозаводському та внутрішньоцеховому рівнях, при необхідності в реальному часі, у режимі телеобробки та діалогу;

- зберігання в пам'яті ЕОМ та комплексне використання нормативно-довідкової, проміжної та вихідної інформації під час вирішення завдань управління;

- організацію ефективного внутрішньозаводського документообігу за допомогою засобів АСУТП.

Висновок до розділу 2.

Проаналізовано основні принципи функціонування автоматизованих систем управління та контролю (АСУ) технологічними процесами. Встановлено, що головною вимогою до таких систем є забезпечення стабільної функціональної залежності між регульованими та керуючими величинами. Ідеальних систем, які повністю відповідають цим вимогам, не існує, тому проектування АСУ завжди передбачає пошук оптимального компромісу між складністю системи та досягненням високої якості регулювання.

Визначено ключові показники ефективності систем: стійкість, якість перехідних процесів та статична точність регулювання. Стійкість системи забезпечує здатність повертатися до рівноважного стану після зовнішніх впливів і оцінюється запасами стійкості по амплітуді та фазі. Якість перехідного процесу характеризується часом регулювання, перерегулюванням, коливаннями та статичною помилкою.

Також окреслено функціональні можливості АСУ: автоматичний контроль стану обладнання та технологічного процесу, діагностика несправностей, керування механізмами та стабілізація робочих режимів, а також забезпечення комфортних умов для оператора. Використання таких систем дозволяє підвищити продуктивність, поліпшити стабільність технологічних процесів і оптимізувати витрати ресурсів.

Впровадження АСУТП на підприємствах є ключовим чинником підвищення ефективності виробництва, забезпечення оперативного збору та обробки інформації, організації внутрішньозаводського документообігу та управління технологічними процесами у реальному часі. Загалом, сучасні автоматизовані системи управління створюють умови для безпечної, економічно ефективною та надійної роботи технологічного обладнання.

3 ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНИХ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ

3.1 Опис технологічного процесу з погляду автоматизації

Короткозубчасту двовалкову дробарку СМД-175А (рис. 3.1) використовують для подрібнення вапняку, мергелю, вугілля, солі та інших подібних матеріалів з межею міцності до 120 МПа та температурою до 40 °С.

У табл. 3.1 наведено технічні характеристики валкової дробарки СМД-175А.

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики дробарки СМД-175А

Показники	Значення
Продуктивність, т/год, не більше	225
Розміри валків, мм	
- діаметр	1500
- довжина	1200
Номінальна частота обертання валків, об/хв, не менше	60
Розмір завантажуваного матеріалу, мм, не більше	600×600×900
Розмір готового продукту, мм, не більше	100
Межа міцності на стиск завантажуваного матеріалу, МПа, не більше	120
Потужність електродвигунів, кВт	150
Габаритні розміри, мм	
- довжина	5210
- ширина	6200
- висота	2100
Маса, кг	37000

Робочими органами валкової дробарки є циліндричні валки, що обертаються на горизонтальних осях. Валки рухаються назустріч один одному з коловими швидкостями ω_1 та ω_2 (рис. 3.2), захоплюють поданий пластинчастим живильником ППІ матеріал, дроблять його, роздавлюючи та частково стираючи.

На рис. 3.2 показана функціональна схема короткозубчастої двовалкової дробарки СМД-175А.

На зварену раму дробарки в підшипниках кочення встановлено два валки: підшипники одного валка нерухомі, а підшипники другого спираються на амортизаційні пристрої. При попаданні між валками стороннього, неподібнюваного предмета рухомий валок може відходити від нерухомого і повертатися на своє місце.



Рисунок 3.1 - Дробарка двовалкова зубчаста СМД - 175А зі знятим кожухом

Для регулювання рівня заповнення камери дроблення використовується система з двома радіоактивними датчиками, встановленими на різних висотах у камері. Це забезпечує роботу дробарки в діапазоні від мінімальної продуктивності (при заповненні до нижнього рівня) до максимальної (при заповненні до верхнього рівня). Середня продуктивність підтримується автоматично: завантаження дробарки припиняється при досягненні верхнього рівня заповнення шляхом вимкнення приводного

двигуна пластинчастого живильника ПП1 і поновлюється після зниження запасу матеріалу до заданого рівня.

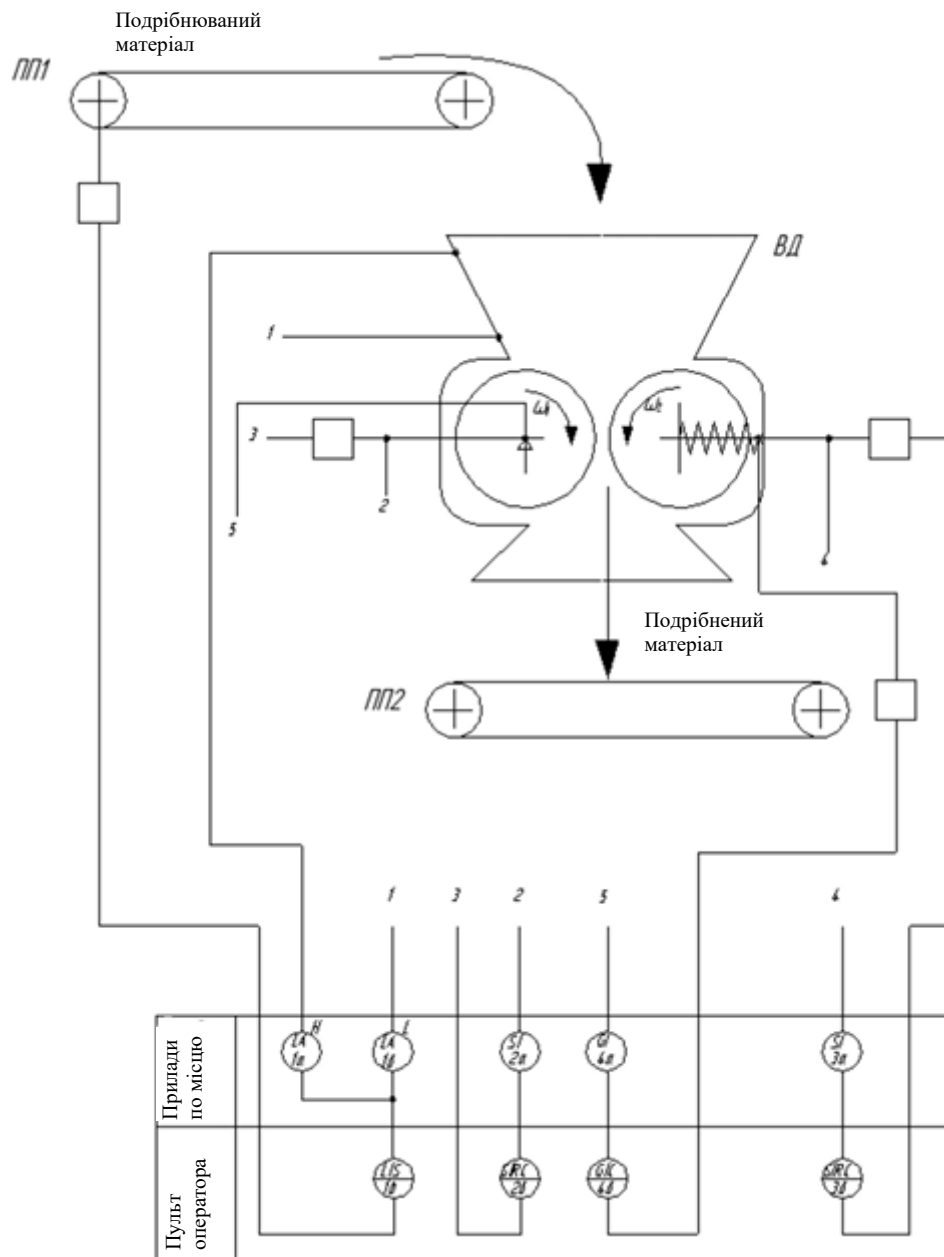


Рисунок 3.2 – Функціональна схема валкової дробарки

Загальний принцип роботи дробарки

Дробарка призначена для подрібнення сипкого матеріалу з автоматизованою подачею, регулюванням зазору та відведенням готового продукту. Установка працює безперервно та узгоджено з транспортними механізмами.

Опис роботи за схемою

1. Подача матеріалу

Матеріал подається на дробарку за допомогою **подаючого транспортера МП1**. Привід транспортера забезпечує рівномірну подачу матеріалу до приймального бункера **ВД** дробарки.

Перед входом у дробильну камеру матеріал може проходити через елементи контролю або дозування (поз. 1, 3, 5 на схемі), що стабілізують потік і запобігають перевантаженню.

2. Дроблення матеріалу

У середині дробарки розміщені **два робочі валки (або диски)**, що обертаються назустріч один одному:

- **Лівий валок** приводиться в рух електроприводом;
- **Правий валок** має **пружинний механізм**, який:
 - забезпечує автоматичне регулювання зазору;
 - захищає дробарку від перевантаження при попаданні твердих або

недробимих включень.

Матеріал, потрапляючи між валками, захоплюється і подрібнюється до заданої фракції.

3. Захист і регулювання

Пружинний вузол правого валка виконує такі функції:

- компенсує нерівномірність подачі;
- запобігає заклинюванню;
- підтримує стабільну якість дроблення.

Електричні датчики та блоки керування (поз. 2, 3, 4, 5) контролюють:

- навантаження на приводи;

- робочий стан механізмів;
- послідовність увімкнення обладнання.

4. Вивантаження готового продукту

Подрібнений матеріал під дією сили тяжіння падає вниз і потрапляє на **відвідний транспортер МП2**, який транспортує готовий продукт до наступної технологічної стадії або в накопичувач.

5. Система керування

У нижній частині схеми зображено **пульт керування**, який забезпечує:

- пуск і зупинку транспортерів МП1 та МП2;
- пуск дробарки лише за умови ввімкнених транспортерів;
- аварійне вимкнення;
- світлову індикацію режимів роботи.

Робота дробарки блокується при:

- зупинці відвідного транспортера;
- перевантаженні валків;
- аварійному сигналі з датчиків.

Узагальнена послідовність роботи

1. Вмикається відвідний транспортер МП2.
2. Вмикається дробарка.
3. Запускається подаючий транспортер МП1.
4. Матеріал подається, дробиться та відводиться.
5. У разі аварії система автоматично зупиняє установку.

3.2 Обґрунтування структурної схеми системи автоматизації

Робочий процес валкових дробарок можна розглядати як складну динамічну систему через багатогранність та різноманіття процесів, що в ній відбуваються.

Надамо аналітичний опис процесів у валковій дробарці, використовуючи для цього рівняння матеріального балансу [9]:

$$\frac{dm}{dt} = Q_1 - Q_2, \quad (3.1)$$

де m - запас матеріалу в камері дроблення;

$Q_1(t)$ та $Q_2(t)$ – продуктивності пластинчастого живильника, що подає матеріал у камеру дроблення дробарки.

Структуру та математичний опис об'єкта визначимо з урахуванням включення їх у систему управління. Валкова дробарка - це одноємнісний об'єкт із вхідними параметрами (рис. 3.3): $\Delta\sigma$ – міцність подрібнюваного матеріалу; Q_1 – продуктивність живильника; M – момент на валу електродвигуна; Δb – відстань між валками; $\Delta d_{нач}$ – крупність подрібнюваного матеріалу; D – діаметр валка; ω – швидкість обертання валка; c – жорсткість пружини; L – довжина валка.

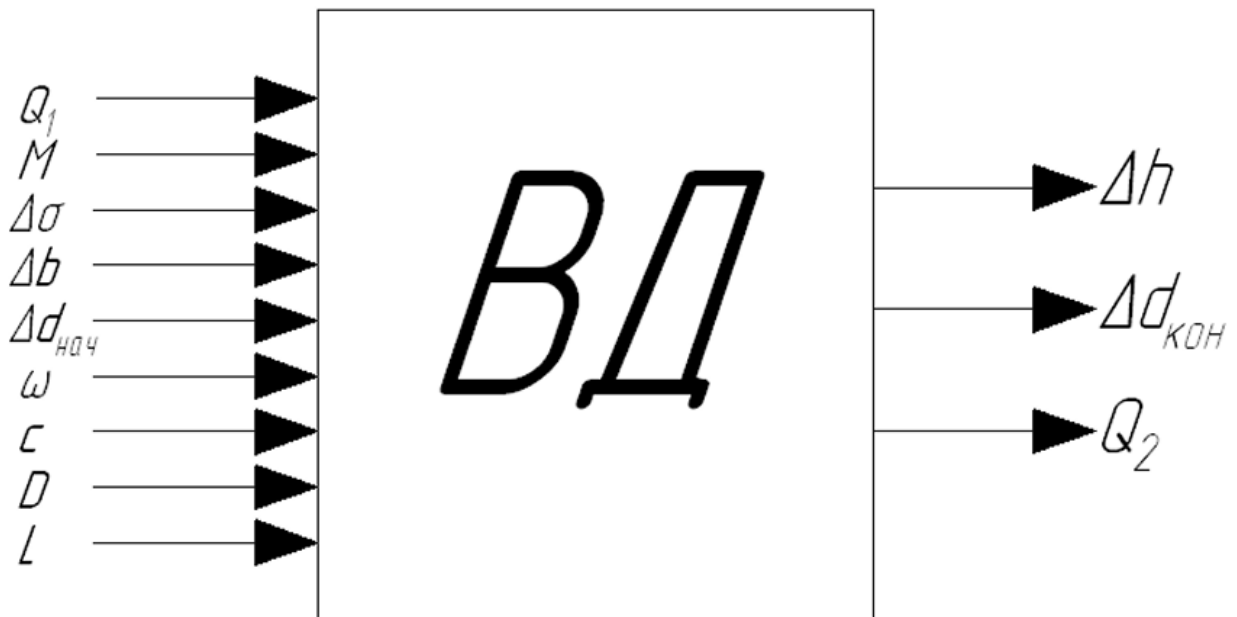


Рисунок 3.3 – Валкова дробарка як об'єкт управління

Вихідними параметрами є: Q_2 – продуктивність дробарки; Δh – рівень матеріалу у камері дроблення; $\Delta d_{кон}$ – гранулометричний склад продуктів дроблення.

Рівняння для камери дроблення при порушенні рівноваги між середніми значеннями продуктивності Q_1° живильника і відведеним з зони потоком матеріалу Q_2° аналогічно (2.1) [10].

$$\frac{d(m + \Delta m)}{dt} = (Q_1^0 + \Delta Q_1) - (Q_2^0 + \Delta Q_2), \quad (3.2)$$

де Δm , ΔQ_1 , ΔQ_2 – відхилення відповідних витрат та запасу матеріалу в камері подрібнення.

Витрати матеріалу з камери дроблення, що змінюються під дією збурень, не залишаються постійними. Спостерігається ефект самовирівнювання: наприклад, зменшення витрат викликає зростання рівня заповнення камери, що, у свою чергу, призводить до збільшення витрат. Відхилення ΔQ_2 тому не залишається постійним і змінюється від свого початкового значення ΔQ_2^0 в залежності від зміни рівня Δh , тобто $\Delta Q_2 = f(\Delta h)$ [10].

В усталеному стані

$$Q_1^0 = Q_2^0; \quad \frac{d\Delta m}{dt} = \Delta Q_1 - \Delta Q_2. \quad (3.3)$$

Для побудови структурної схеми дробарки скористаємося статичною характеристикою валкової дробарки (рис. 3.4) [9].

$$Q_2 = Q_2(m). \quad (3.4)$$

У широкому діапазоні зміни продуктивності – від нуля та майже до максимуму Q_{2max} - коефіцієнт самовирівнювання дробарки дуже великий, при цьому діапазон зміни запасу дуже малий – від нуля до m_1 . Далі, при зміні запасу від m_1 до m_2 коефіцієнт самовирівнювання практично скрізь дорівнює нулю. Тому при лінеаризації рівнянь руху можна розглядати валкову дробарку як безінерційну у зоні від нуля до m_1 , а у зоні від m_1 до m_2 — як інтегруючу ланку.

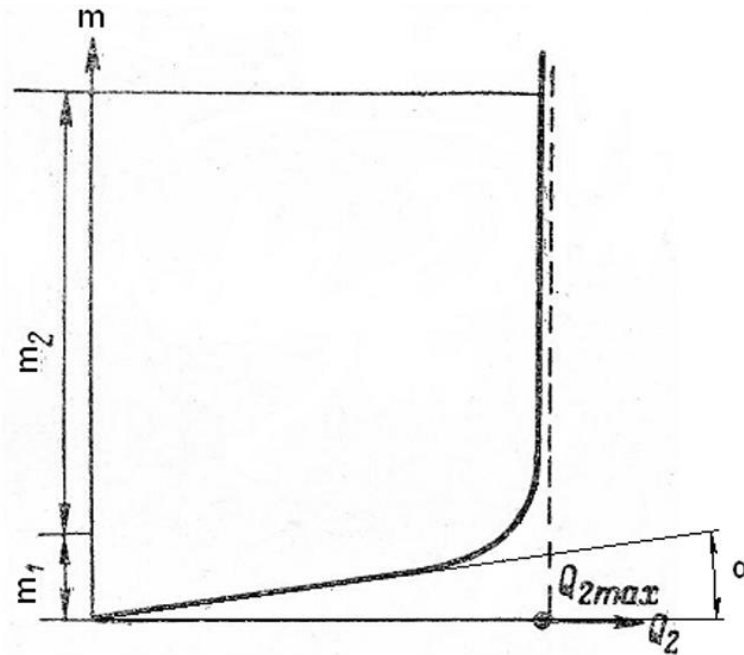


Рисунок 3.4 - Статична характеристика валкової дробарки

Тоді для зони від нуля до m_1 валкову дробарку можна уявити безінерційною ланкою [9]:

$$\begin{aligned} m &= k_1 Q_1 \\ Q_2 &= Q_1, \end{aligned} \quad (3.5)$$

де $k_1 = \operatorname{tg} \alpha$ - коефіцієнт пропорційності (α – кут нахилу дотичної (рис. 3.4)).

Таким чином, передатна функція для зони від нуля до m_1 буде мати вигляд:

$$W_1(p) = \frac{\Delta m}{\Delta Q_1} = k_1. \quad (3.6)$$

Для зони від m_1 до m_2 потік, що відводиться, не є змінною величиною ($Q_2 = Q_{2\max}$) і єдиним рівнянням дробарки буде рівняння інтегруючої ланки [9]:

$$\frac{dm}{dt} = Q_1 - Q_{2\max}. \quad (2.7)$$

При побудові структурної схеми валкової дробарки (рис. 3.6) було враховано, що застосування перетворення Лапласа до рівняння (3.3) у відхиленнях дає [10]:

$$\Delta m(p) = \frac{\Delta Q_1(p) - \Delta Q_2(p)}{p}. \quad (3.8)$$

Виразимо m та Q через середню відстань між валками b . Кількість матеріалу, що випадає з валкової дробарки за 1 оборот валків:

$$m = \gamma V = \gamma \pi D L b, \quad (3.9)$$

де γ - насипна щільність матеріалу;

V – обсяг продуктів дроблення, випадають із дробарки за 1 оборот валків.

Тоді запас матеріалу в дробарці можна виразити через число оборотів валків N , необхідних для розвантаження дробарки при середній міцності подрібнюваного матеріалу:

$$m = \gamma \pi D L b N. \quad (3.10)$$

У зоні невеликих змін міцності продуктів дроблення допускається лінеаризація нелінійного диференціального рівняння, що описує процес дроблення; у цьому випадку рівняння зміни запасу матеріалу в дробарці набуває вигляду:

$$\frac{dm}{dt} = \gamma \pi D L N \frac{d\Delta b}{dt}. \quad (3.11)$$

Залежність потоку ΔQ_2 від зміни відстані між валками можна висловити через залежність:

$$\Delta Q_2 = k \Delta b. \quad (3.12)$$

Підставивши (3.11) та (3.12) у (3.7) отримаємо:

$$\gamma \pi D L N \frac{d\Delta b}{dt} + k \Delta b = Q_1. \quad (3.13)$$

Розділивши всі члени рівняння (3.13) на k отримаємо:

$$T_d \frac{d\Delta b}{dt} + \Delta b = k_2 Q_1, \quad (3.14)$$

де $T_d = \frac{\gamma \pi D L N}{k}$; $k_2 = \frac{1}{k}$.

Звідси передатна функція дробарки для зони від m_1 до m_2 має вигляд:

$$W_2(p) = \frac{k_2}{T_d p + 1}. \quad (3.15)$$

Для повного представлення структурної схеми валкової дробарки як об'єкта управління необхідно описати впливи, що збурюють.

Найбільш суттєвими впливами, що збурюють, впливаючи на продуктивність дробарки, є зміна відстані між валками Δb та зміна міцності подрібнюваного матеріалу $\Delta \sigma$.

Для опису зміни відстані між валками скористаємося рис. 3.5.

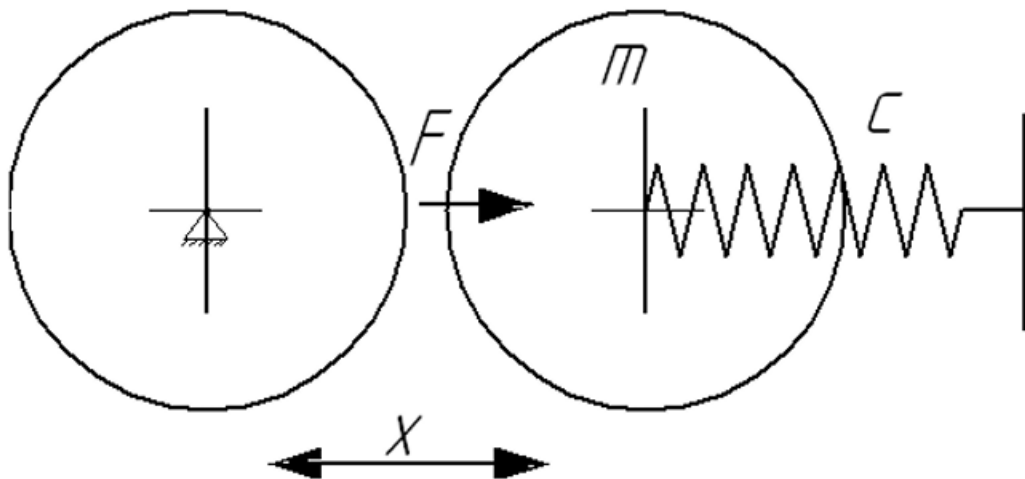


Рисунок 3.5 – Сили, що впливають на відстань між валками валкової дробарки

Отримаємо рівняння руху валка, тобто. рівняння, що описує зміну відстані між валками:

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + cx = F. \quad (3.16)$$

Розділивши обидві частини рівняння на жорсткість пружини c , отримаємо передавальну функцію каналом Δb :

$$W_b(p) = \frac{k_4}{T_1^2 p^2 + T_2 p + 1}. \quad (3.17)$$

Опишемо зміну міцності матеріалу, скориставшись формулою (3.18):

$$Q_2 = \gamma V c = \frac{\gamma \pi D L b \mu c}{T_{об}}. \quad (3.18)$$

де $T_{об}$ - час одного обороту валків;

μ - коефіцієнт, що враховує насипну густину матеріалу;

c – жорсткість підтискної пружини валка, чисельно дорівнює сумарному зусиллю між валками при дробленні P_{cp} (Н), тобто. $c = P_{cp} = 0,04\sigma LD$.

Підставивши значення s , та перемноживши чисельні коефіцієнти, отримаємо

$$Q_2 = \frac{0,025\gamma D^2 L^2 b \sigma}{T_{об}} \quad (3.19)$$

Перейдемо до відхилень змінних ΔQ_2 і $\Delta \sigma$ від їх значень у режимі рівноваги Q_2° і σ° , зробивши підстановку $Q_2 = Q_2^\circ + \Delta Q_2$ і $\sigma = \sigma^\circ + \Delta \sigma$ в формулу (2.19) і, нехтуючи через їх невелику кількість членами з добутками відхилень, отримаємо рівняння у відхиленнях:

$$\Delta Q_2 = \frac{0,025\gamma D^2 L^2 b}{T_{об}} \Delta \sigma \quad (3.20)$$

Звідси передатна функція по каналу зміни міцності подрібнюваного матеріалу $\Delta \sigma$ матиме вигляд:

$$W_\sigma(p) = k_5, \quad (3.21)$$

де $k_5 = \frac{0,025\gamma D^2 L^2 b}{T_{об}}$

В результаті отримали структурну схему валкової дробарки як об'єкта управління, представлену рис. 3.6.

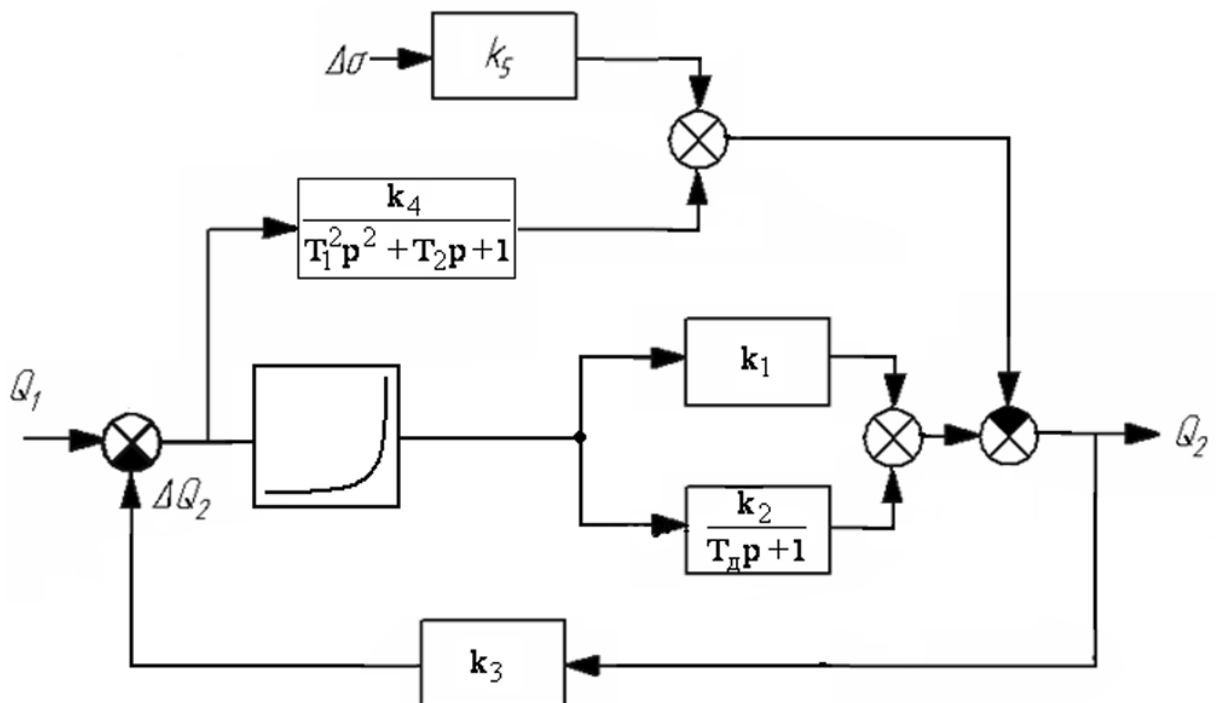


Рисунок 3.6 - Структурна схема валкової дробарки як об'єкта управління

Висновок до розділу 3

У розділі обґрунтовано вибір проектних рішень для автоматизації роботи валкової дробарки СМД-175А. Проведено детальний аналіз технологічного процесу дроблення, визначено робочі та регульовані параметри об'єкта управління, а також вплив зовнішніх збурень на продуктивність дробарки.

Математично описано процес подрібнення матеріалу за допомогою рівнянь матеріального балансу та диференціальних рівнянь руху валків. Показано, що дробарка в зоні малих запасів матеріалу може розглядатися як безінерційна ланка, а у зоні середніх та великих запасів – як інтегруюча ланка. Встановлено залежності продуктивності дробарки від рівня заповнення камери та відстані між валками, а також вплив міцності матеріалу на процес дроблення.

На основі отриманих математичних моделей та передатних функцій сформовано структурну схему валкової дробарки як об'єкта управління. Ця схема дозволяє враховувати всі основні канали регулювання та збурення, що забезпечує основу для розробки ефективної системи автоматизації, здатної підтримувати стабільну продуктивність та якість продукту дроблення за мінімальних витрат ручного контролю.

Таким чином, проведене обґрунтування проектних рішень створює надійну методичну базу для подальшої розробки автоматизованої системи управління валковою дробаркою та оптимізації її експлуатаційних параметрів.

4 РОЗРАХУНКИ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ВИРОБУ

4.1 Аналіз системи автоматизації

Для цього застосовується широкий спектр інтегрованих програмних систем та програмних пакетів, які дозволяють вирішувати практично всі типи завдань. Зокрема, використовуються інструменти для автоматизації математичних розрахунків, такі як Reduce, Derive, TK Solver, MathCAD, MATLAB та інші.

Щоб безпосередньо перейти до аналізу системи за допомогою програми MATLAB, слід підставити числові значення параметрів у передавальні функції, отримані в пункті 2.2.

$$W_1(p) = 0.14; \quad (4.1)$$

$$W_2(p) = \frac{8.64}{1.8p + 1}; \quad (4.2)$$

$$W_b(p) = \frac{0.12}{0.16p^2 + 0.01p + 1}; \quad (4.3)$$

$$W_\sigma(p) = 0.0648; \quad (4.4)$$

$$W_{oc}(p) = 0.1042. \quad (4.5)$$

Правильність вибору структури та параметрів спроектованої лінійної системи можна оцінювати шляхом порівняння розрахованих показників якості та точності регулювання з відповідними даними технічних умов, отриманими аналітичними або автоматизованими методами. Якщо показники якості повністю відповідають заданим вимогам, подальше їх покращення зазвичай супроводжується зниженням точності системи. Тому при проектуванні часто доводиться шукати компромісні рішення, що значно підвищує трудовитрати проектувальника під час дослідження системи.

Використання MATLAB та пакету Simulink значно полегшує роботу, оскільки дозволяє здійснювати синтез і аналіз проєктованих систем та безпосередньо отримувати показники якості регулювання.

На рис. 4.1 наведено структурну схему САУ валкової дробарки в позначеннях Simulink.

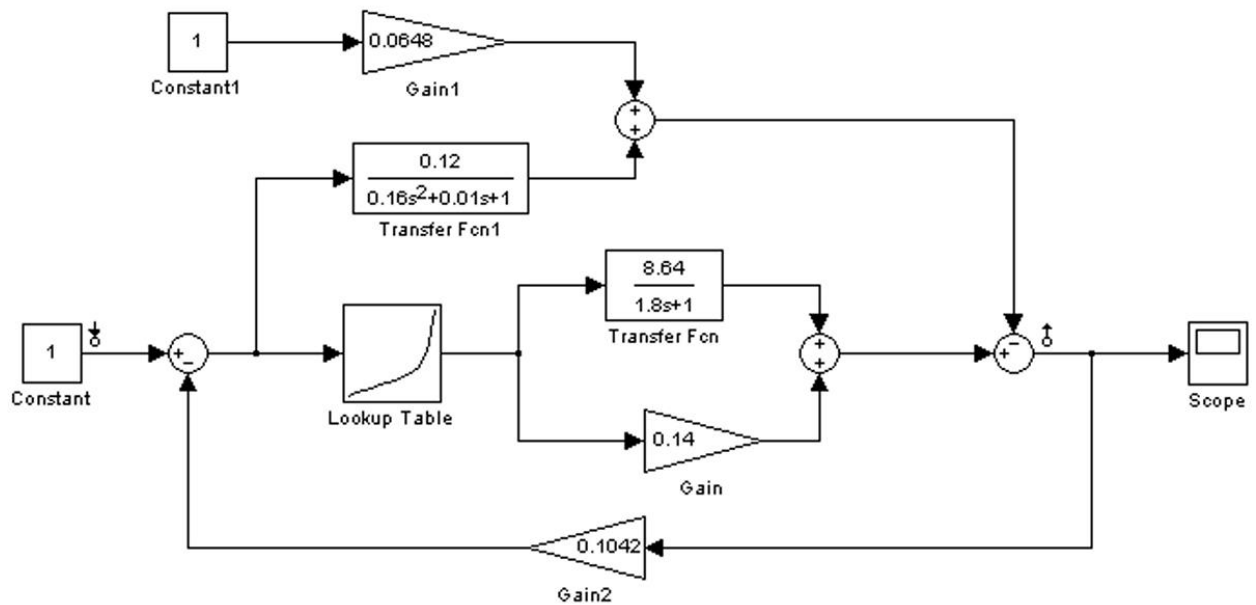


Рисунок 4.1 – Структурна схема САУ валкової дробарки у позначеннях Simulink

Аналіз лінійних систем автоматичного керування полягає у визначенні загальних властивостей системи - показників її стійкості та якості - на основі відомих характеристик її складових ланок.

Отже, для проведення аналізу системи автоматичного управління достатньо визначити її стійкість, запаси стійкості та показники якості, а потім порівняти їх із граничними значеннями стійкості та якості, встановленими для даної системи.

САУ має забезпечувати такі значення запасів стійкості та якості регулювання:

- запас стійкості за амплітудою ΔL не менше 10 дБ;
- помилка регулювання $\varepsilon_{ст}$ не більше 5 % від задаючого впливу;
- час перехідного процесу $t_{пн}$ не більше 60 с;
- запас стійкості по фазі $\Delta\varphi$ не менше 45° ;
- перерегулювання δ не більше 15 %;
- час наростання $t_{нар}$ не більше 20 с.

На рис. 4.2 зображено перехідний процес САУ валкової дробарки.

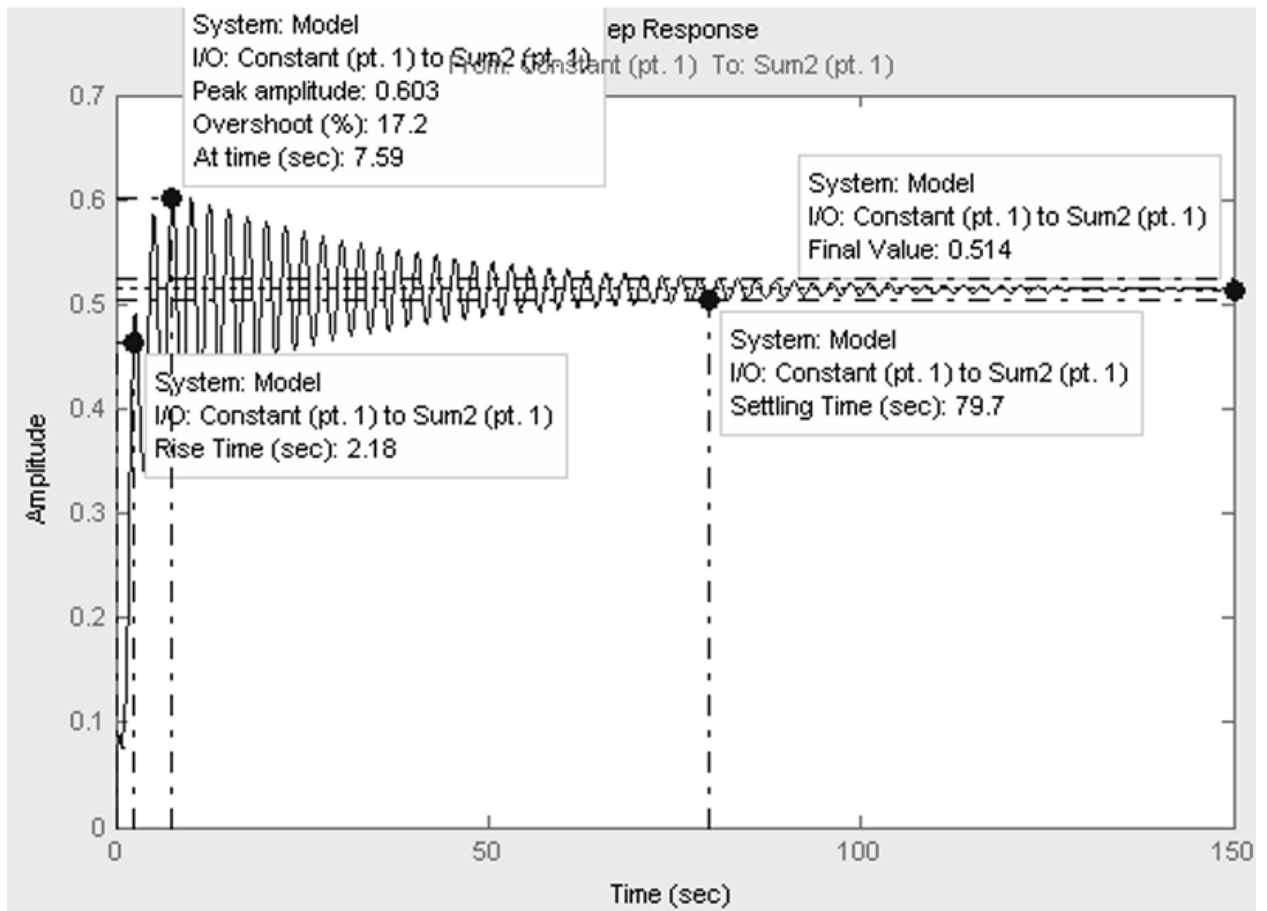


Рисунок 4.2 – Перехідний процес САУ валкової дробарки

З рисунка видно, що САУ валкової дробарки без регулятора, має наступні показники якості регулювання:

- усталене значення вихідної величини $y_{уст} = 0,514$;
- час перехідного процесу $t_{пн} = 79,9$ с;
- перерегулювання $\delta = 17,2$ %;
- час наростання $t_{нар} = 2,18$ с.

Таким чином, дана система не відповідає встановленим вимогам щодо якості регулювання.

У пакеті Simulink для визначення стійкості замкнутої системи зворотного зв'язку за критерієм Найквіста необхідно спочатку розімкнути ланцюг зворотного зв'язку, тобто перетворити систему на розімкнуту. Це досягається шляхом видалення однієї з ліній, що утворюють зворотний зв'язок. На рис. 4.3 наведено схему САУ валкової дробарки в розімкнутому вигляді.

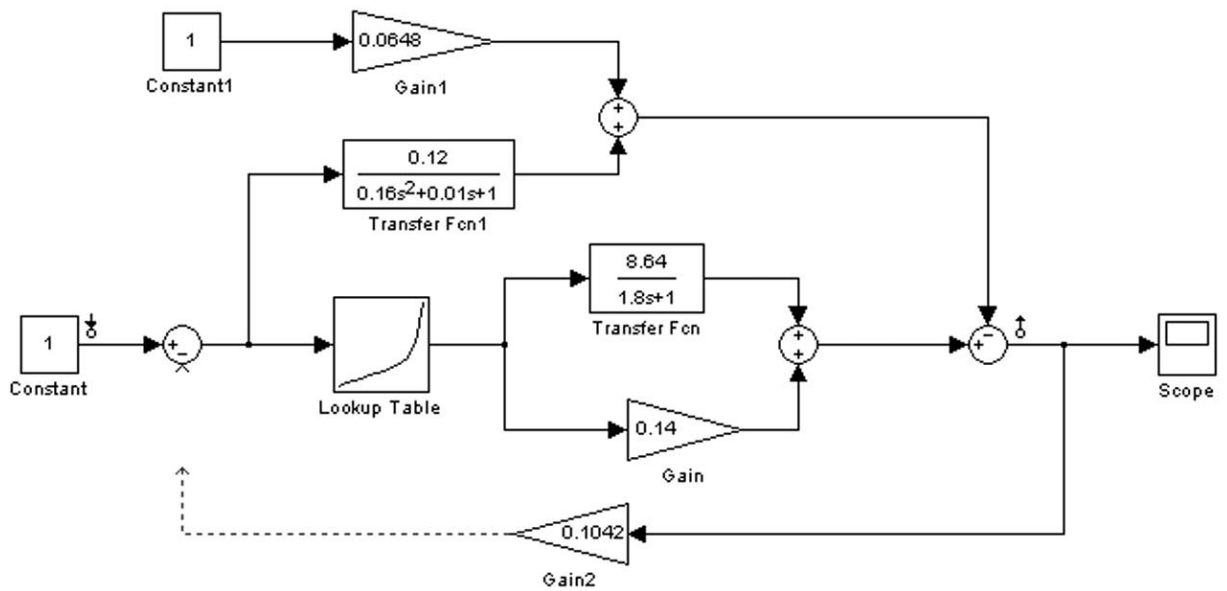


Рисунок 4.3 – Структурна схема САУ валкової дробарки у розімкненому вигляді

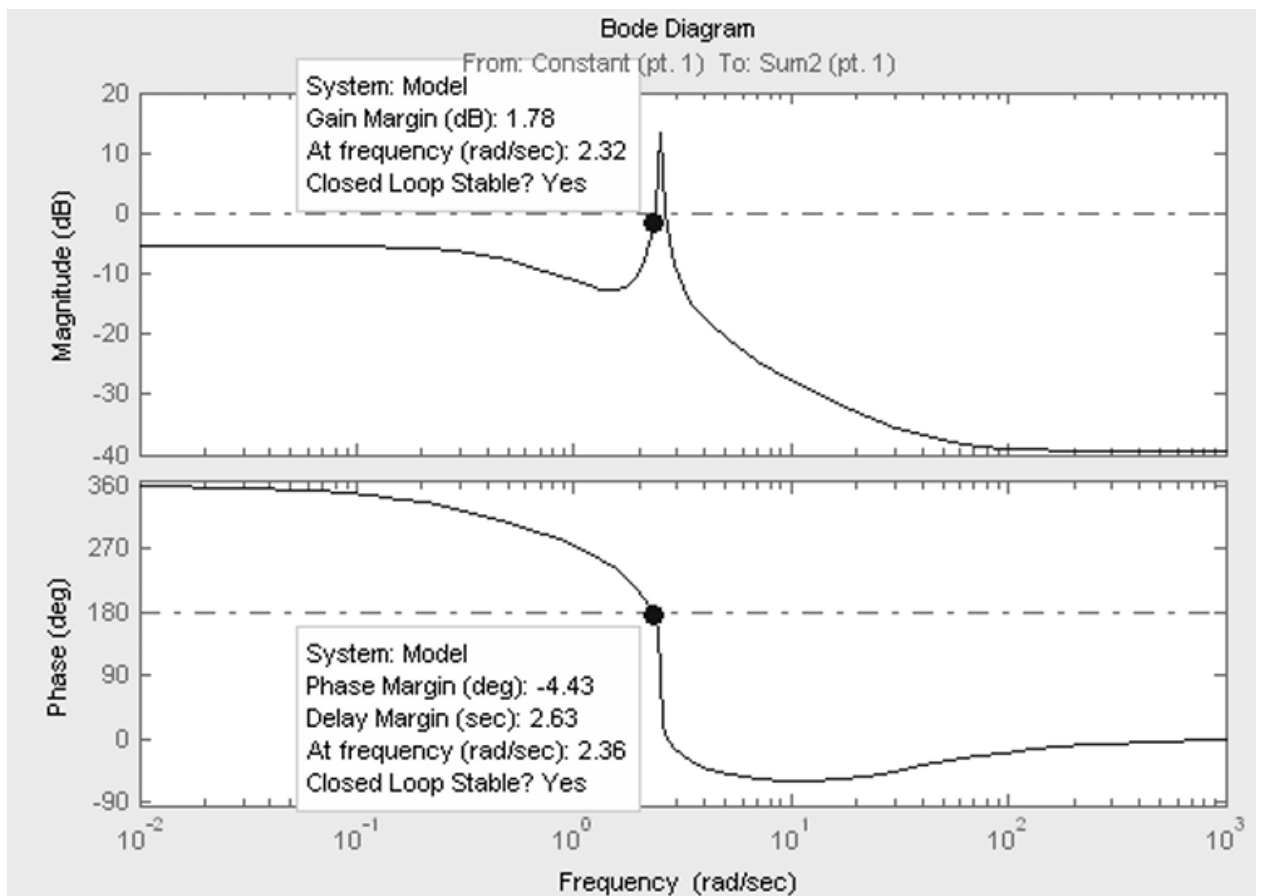


Рисунок 4.4 – ЛАЧХ та ЛФЧХ САУ валкової дробарки

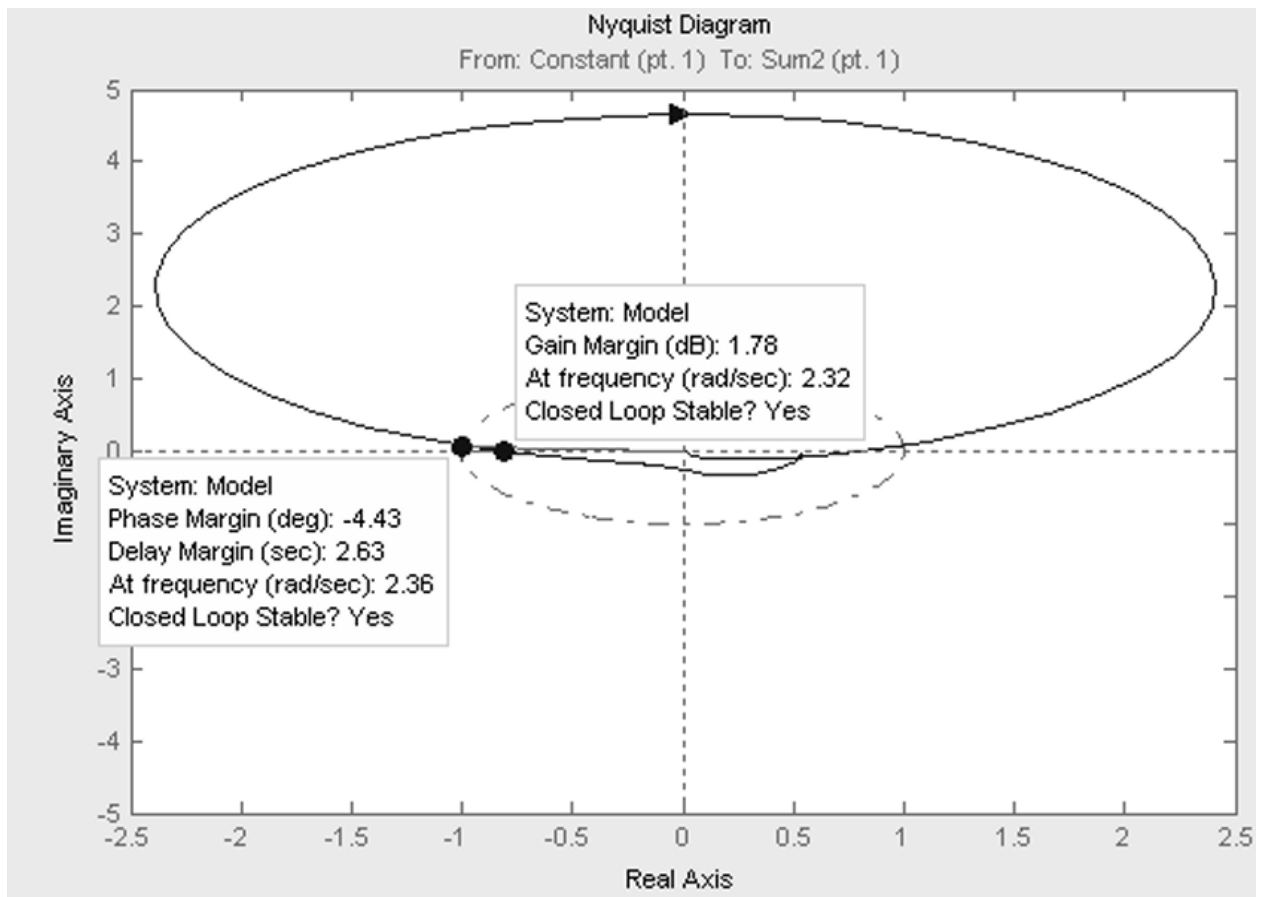


Рисунок 4.5 – АФЧХ САУ валкової дробарки

З рис. 4.5 видно, що АФЧХ розімкнутої системи охоплює точку з координатами $(-1, j0)$, отже замкнута система автоматизованого управління валкової дробарки є не стійкою.

Такий самий висновок можна зробити з аналізу ЧХ (рис. 4.4).

З графіка ЛАЧХ та ЛФЧХ видно, що САУ валкової дробарки є не стійкою.

Запаси стійкості:

- за амплітудою $\Delta L = 1,78$ dB;
- по фазі $\Delta \varphi = -4,43^\circ$.

Система виявилася нестійкою, тому вона не задовольняє вимогам замовника. Відтак необхідно обрати регулятор, провести його налаштування та забезпечити системі достатні запаси стійкості й потрібний рівень якості регулювання.

4.2 Вибір регулятора та аналіз САУ з регулятором

Щоб отримати САУ із параметрами, що відповідають вимогам замовника, необхідно обрати регулятор, який забезпечить системі оптимальні показники стійкості та якості.

У систему по черзі вводимо П-регулятор, ПД-регулятор, ПІ-регулятор та ПІД-регулятор, заносючи результати підстановки у таблицю 4.1.

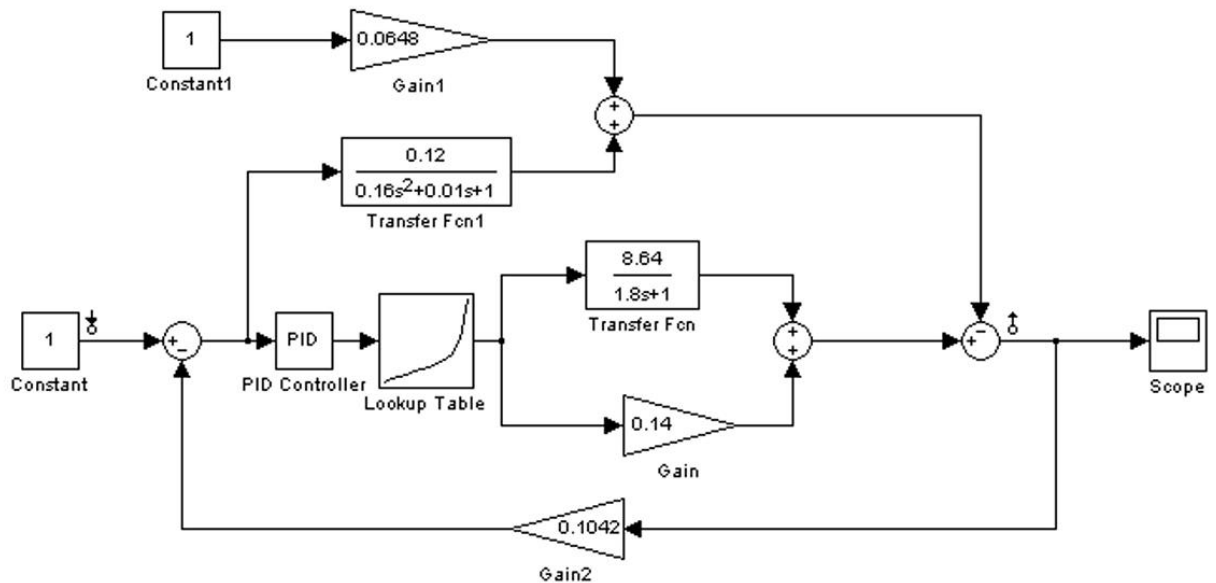


Рисунок 4.6 – Структурна схема САУ валкової дробарки з регулятором

Введемо в схему САУ з регулятором у позначеннях Simulink блок NCD (рис. 4.7) для отримання оптимальних значень параметрів регуляторів.

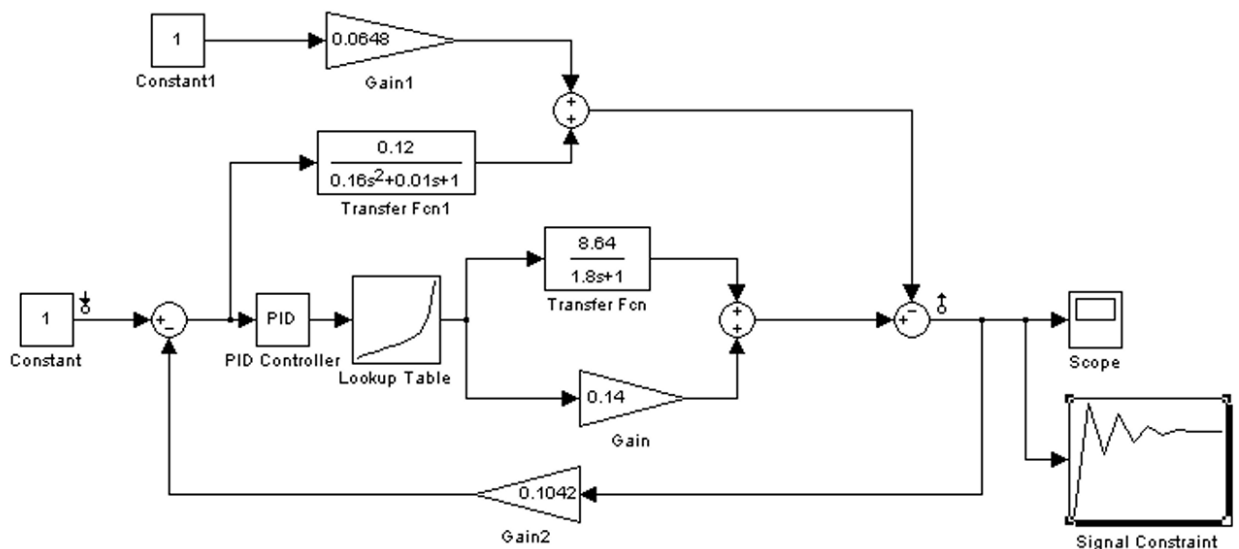


Рисунок 4.7 – Структурна схема САУ валкової дробарки з регулятором та NCD блоком

Для отримання системи з П-регулятором необхідно у блоці PID Controller обнулити диференціальну та інтегральну складові (рис. 4.8).

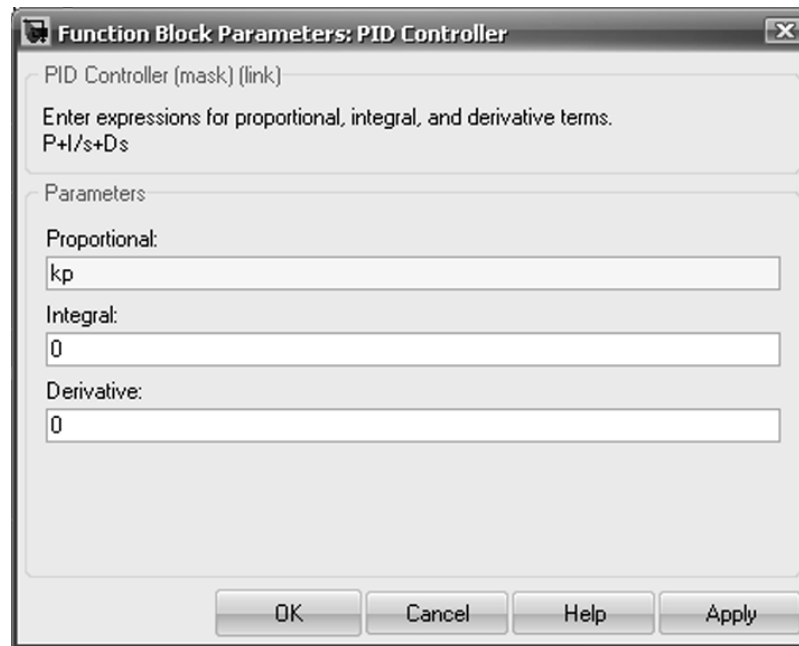


Рисунок 4.8 – Вікно завдання характеристик П-регулятора

На рис. 4.9 – 4.11 представлені характеристики П-регулятора при $k_p = 2,8916$.

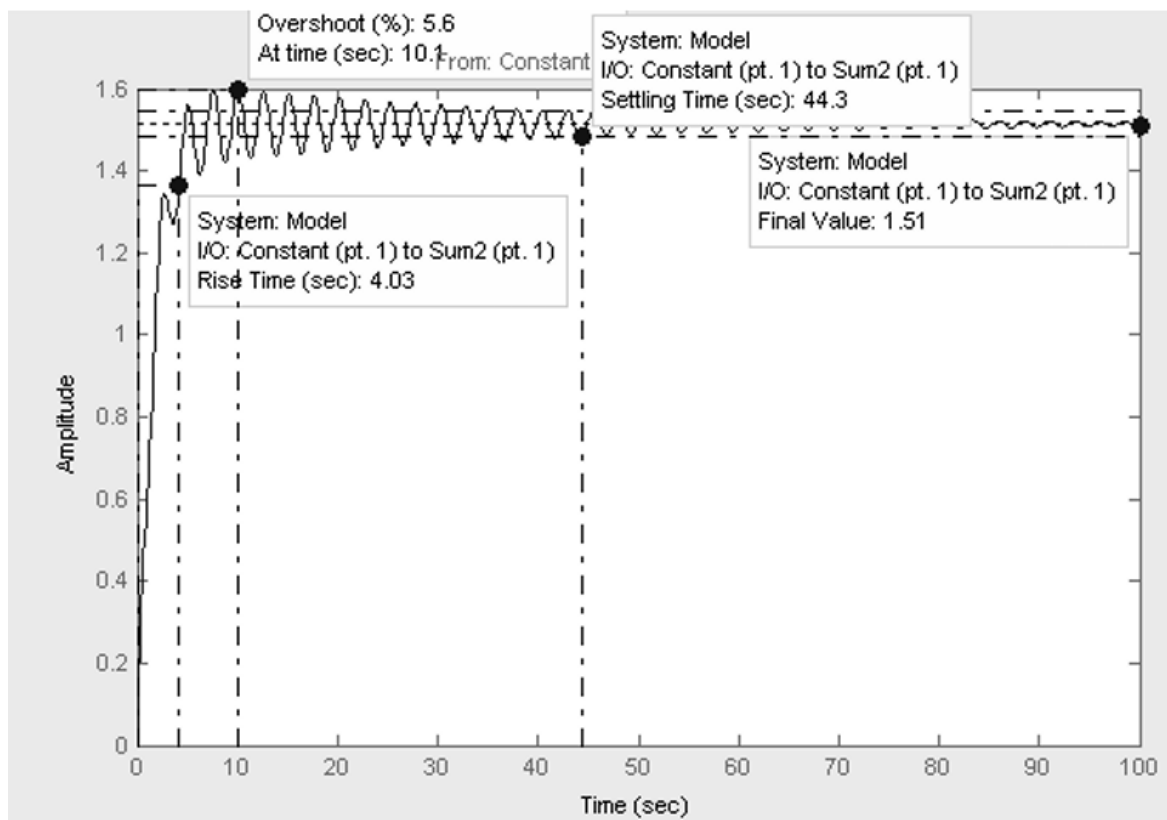


Рисунок 4.9 – Перехідна характеристика системи з П-регулятором

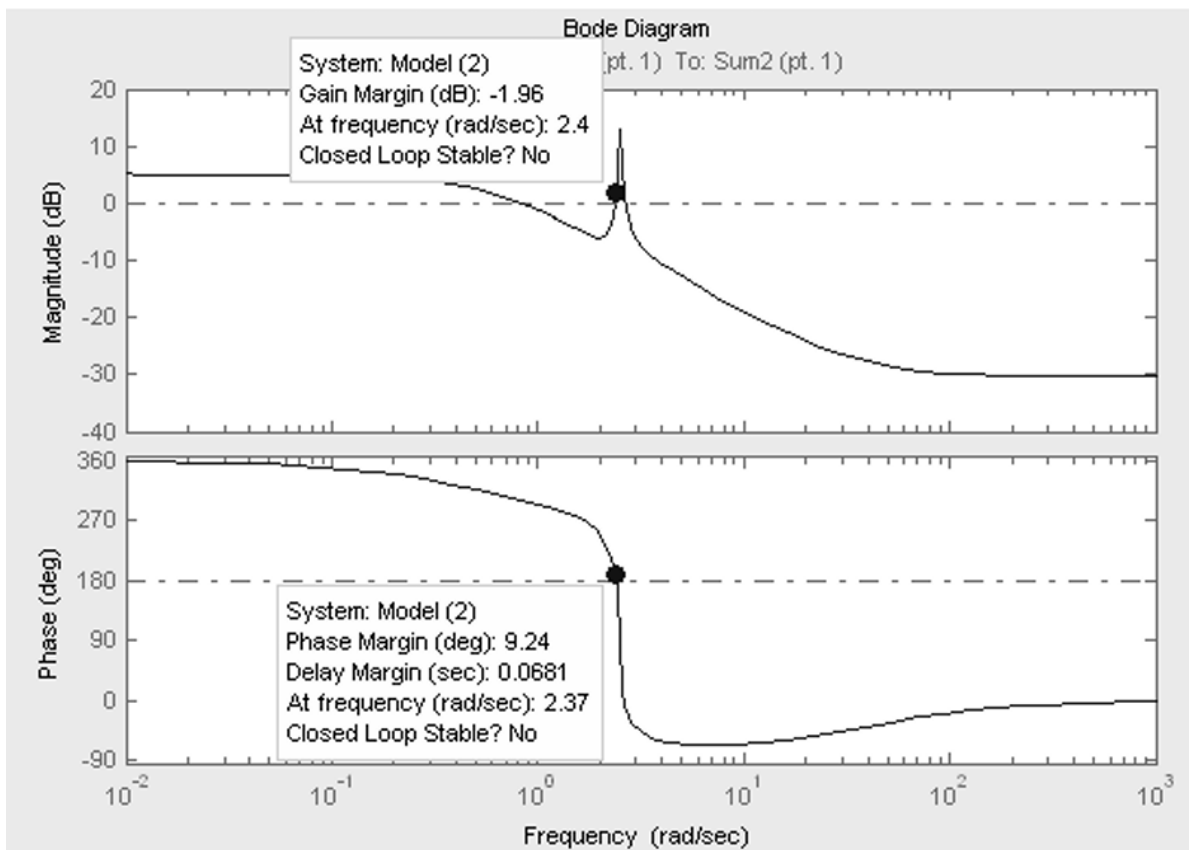


Рисунок 4.10 – ЛАХ та ЛФГ системи з П-регулятором

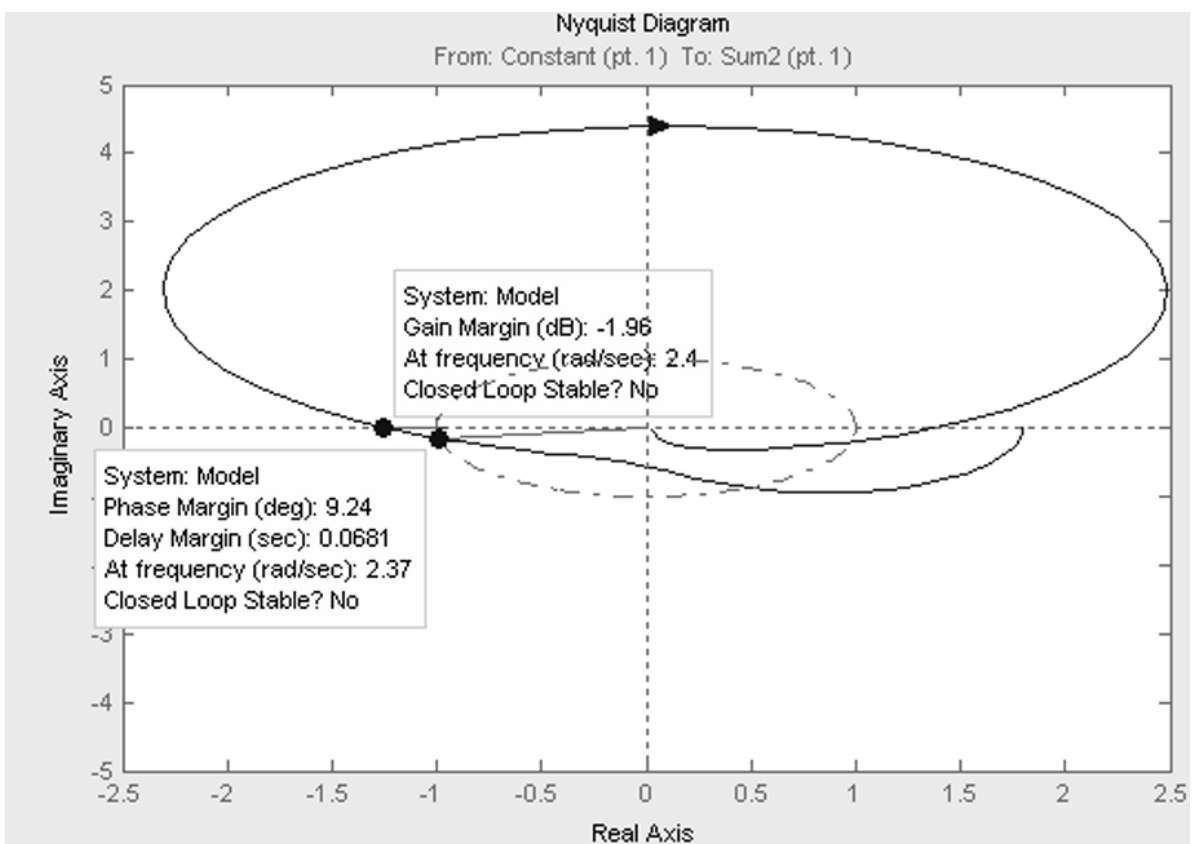


Рисунок 4.11 – АФЧХ системи з П-регулятором

Для отримання системи з ПІ-регулятором необхідно у блоці PID Controller обнулює диференціальну складову (рис. 4.12).

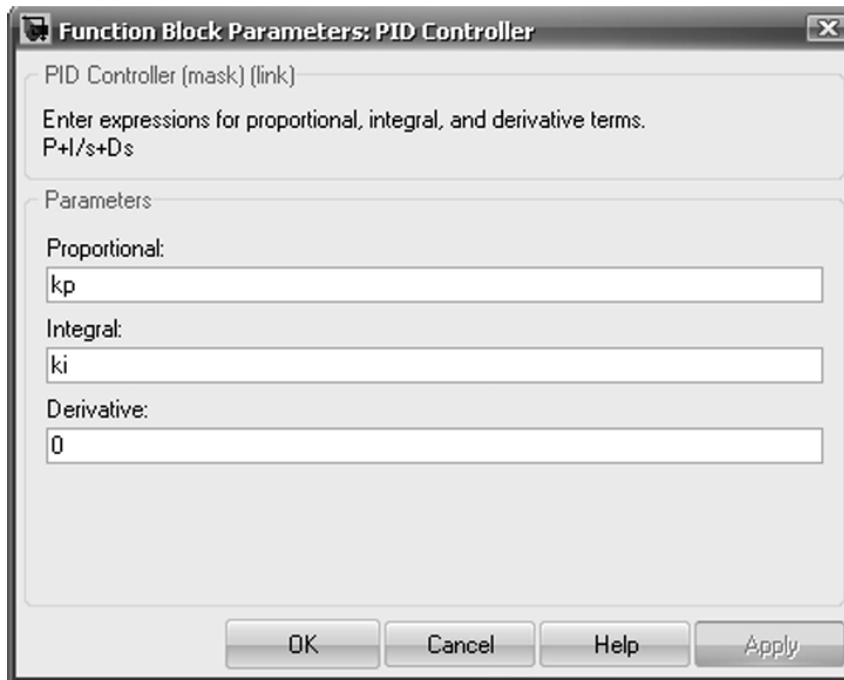


Рисунок 4.12 – Вікно завдання характеристик ПІ-регулятора

На рис. 4.13 - 4.15 представлені характеристики ПІ-регулятора при $k_p=6,1092$ та $k_i=-1,4147$.

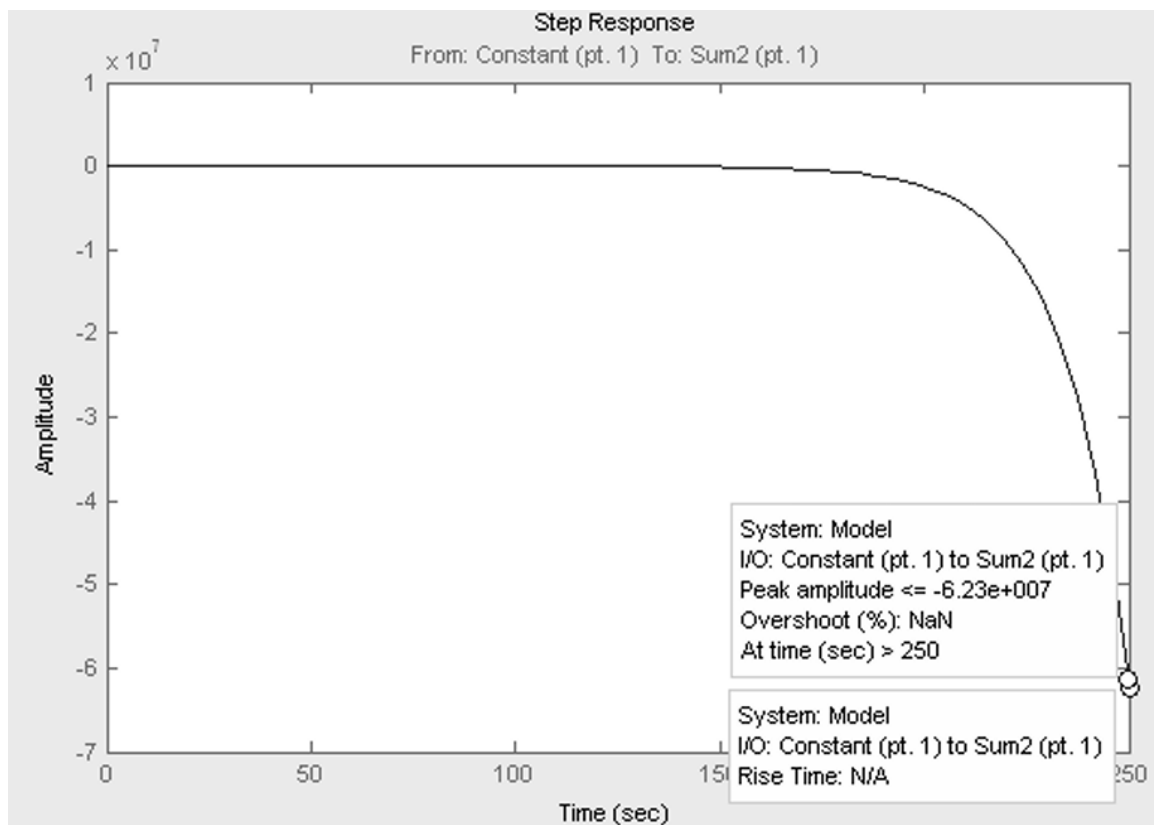


Рисунок 4.13 – Перехідна характеристика системи з ПІ-регулятором

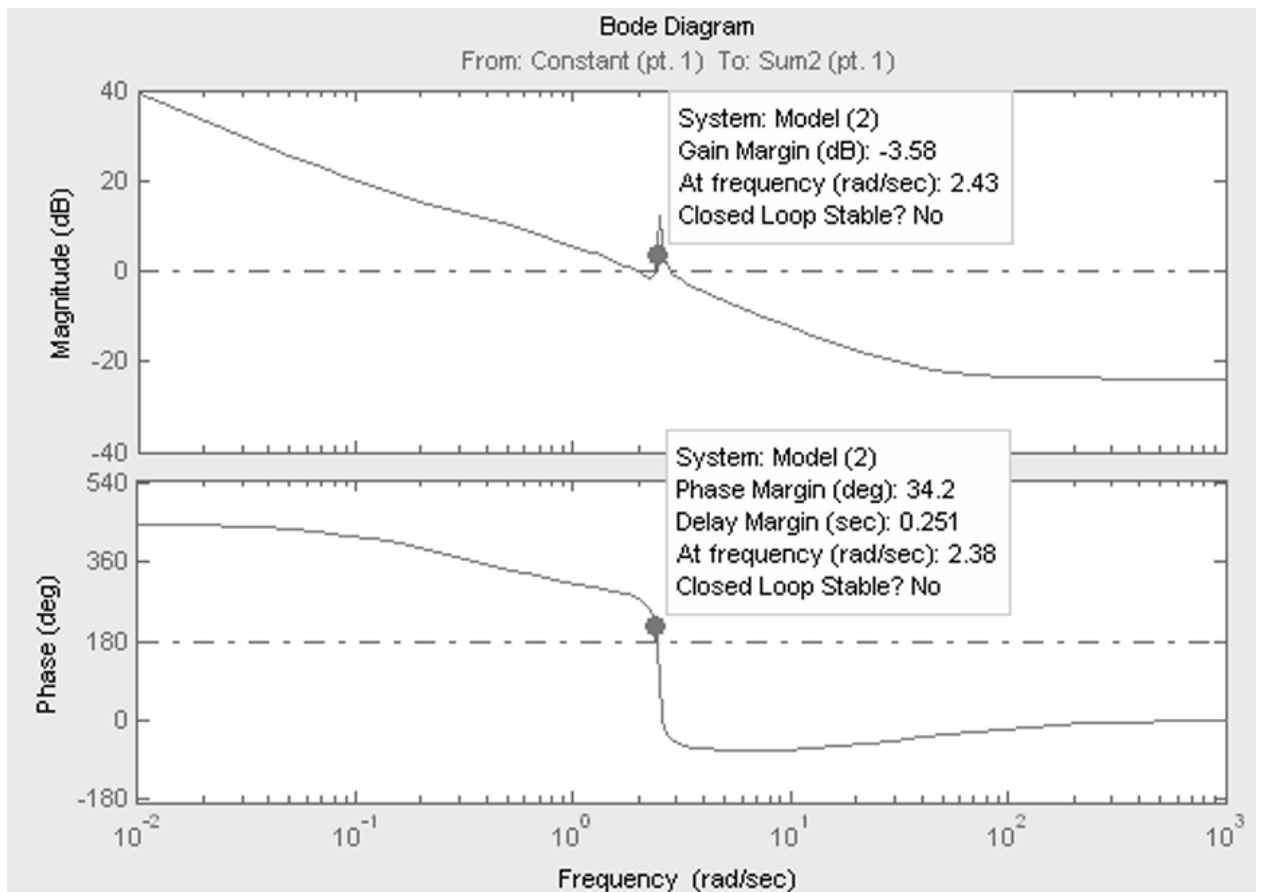


Рисунок 4.14 – ЛАХ та ЛФГ системи з ПІ-регулятором

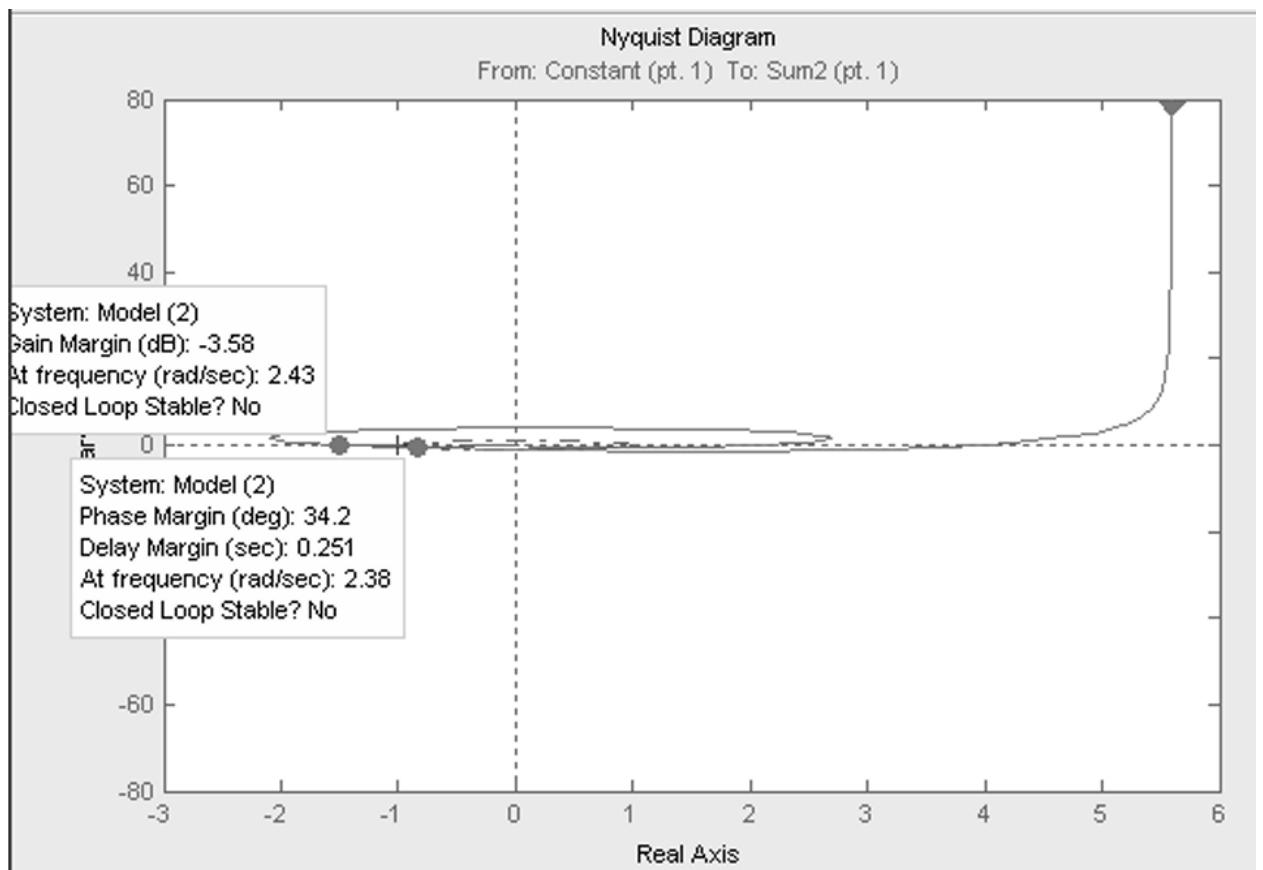


Рисунок 4.15 - АФЧХ системи з ПІ-регулятором

Для отримання системи з ПД-регулятором необхідно у блоці PID Controller обнулити інтегральну складову (рис. 4.16).

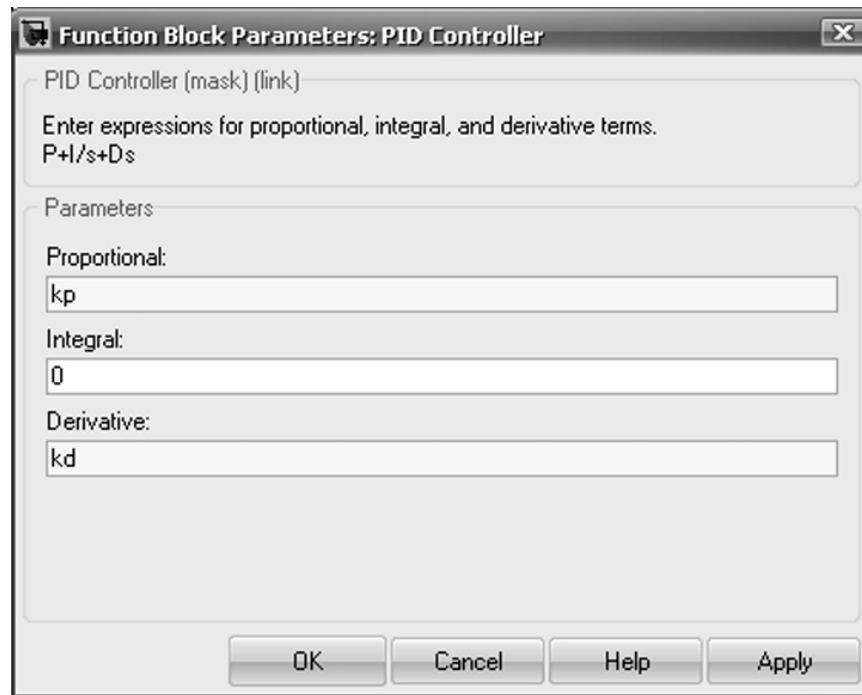


Рисунок 1.16 – Вікно завдання характеристик ПД-регулятора

На рисунках 4.17 - 4.19 представлені характеристики ПД-регулятора при $k_p=114,2825$ та $k_d=2,4934e+005$.

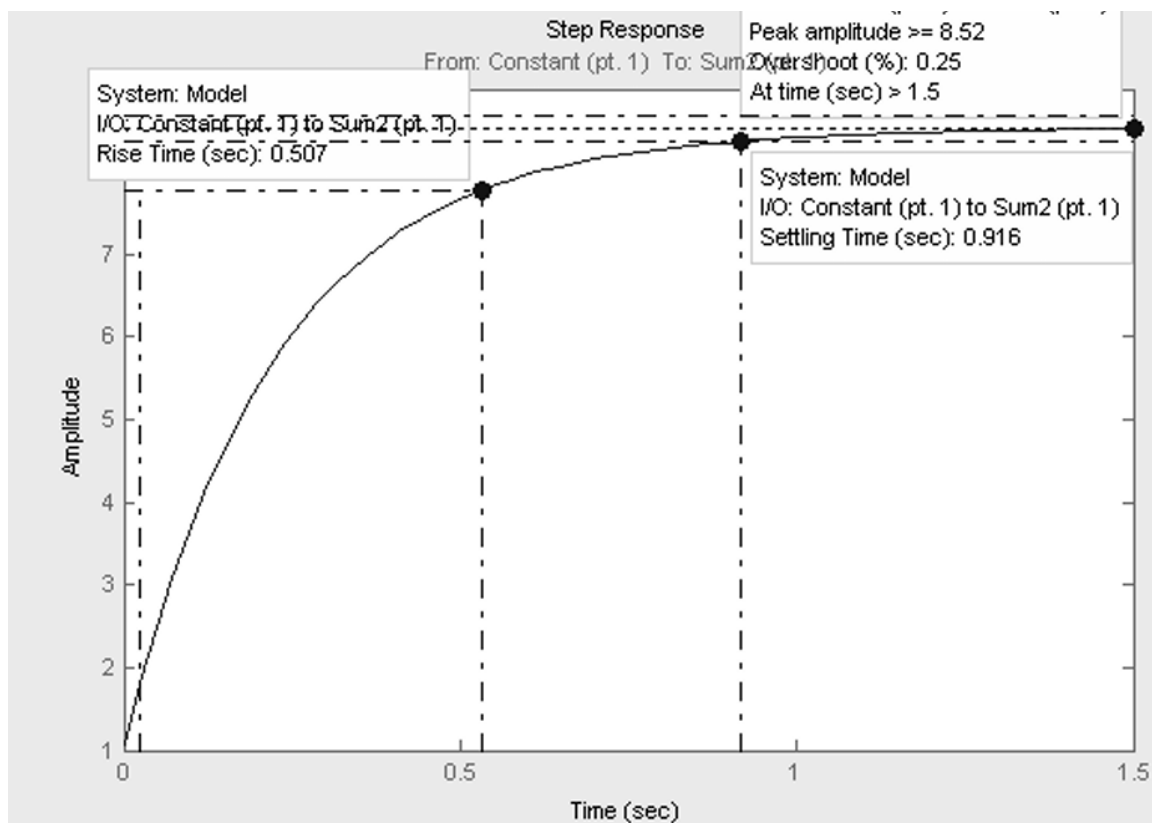


Рисунок 4.17 – Перехідна характеристика системи з ПД-регулятором

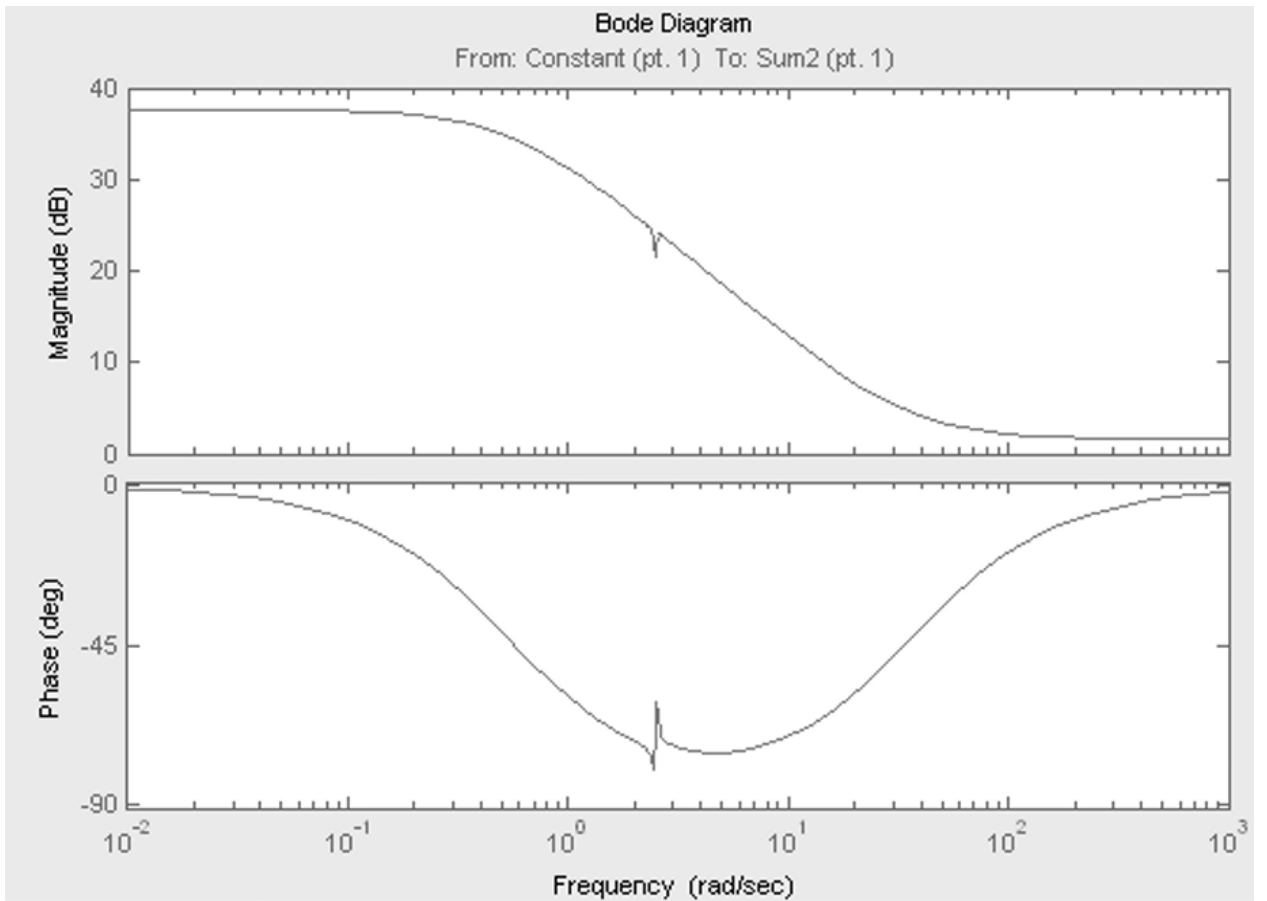


Рисунок 4.18 – ЛАХ та ЛФГ системи з ПД-регулятором

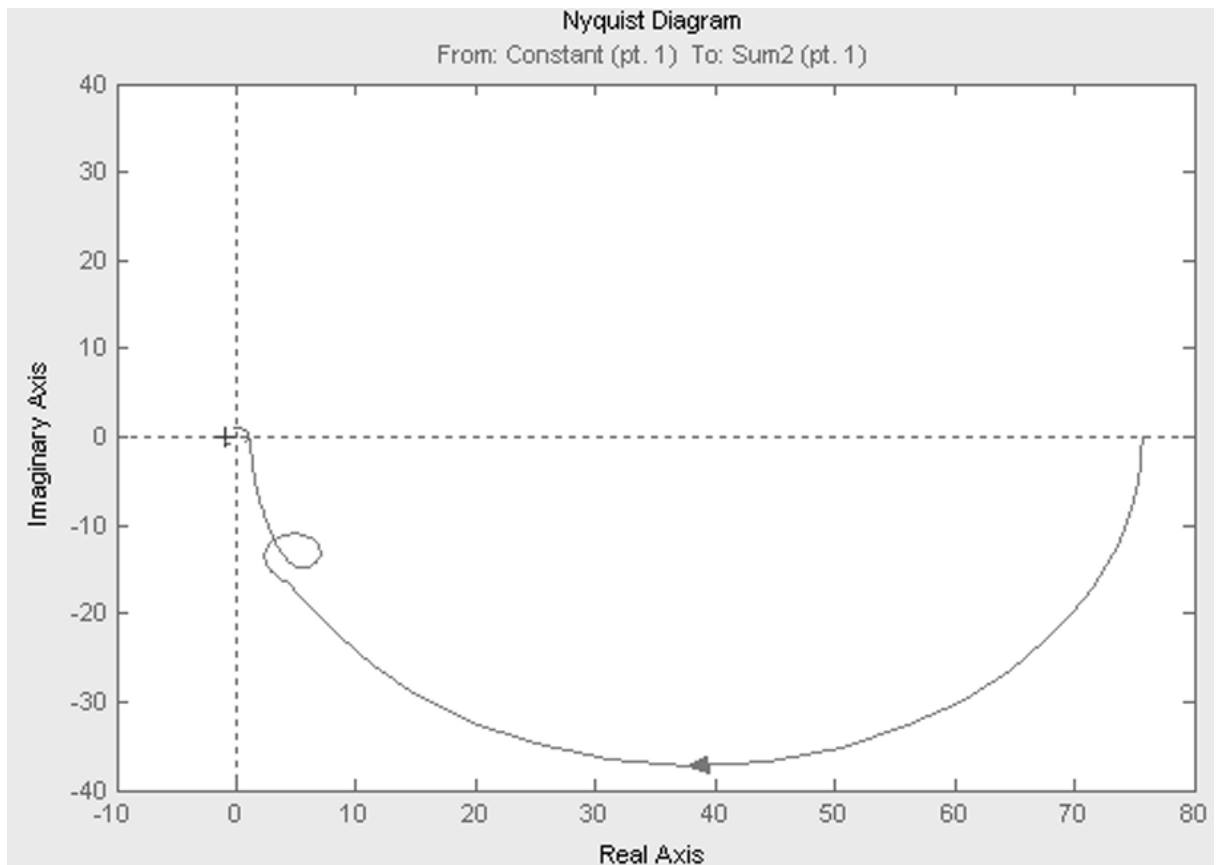


Рисунок 1.19 – АФЧХ системи з ПД-регулятором

Для отримання системи з ПД-регулятором необхідно у блоці PID Controller ввести всі 3 складові (рис. 4.20).

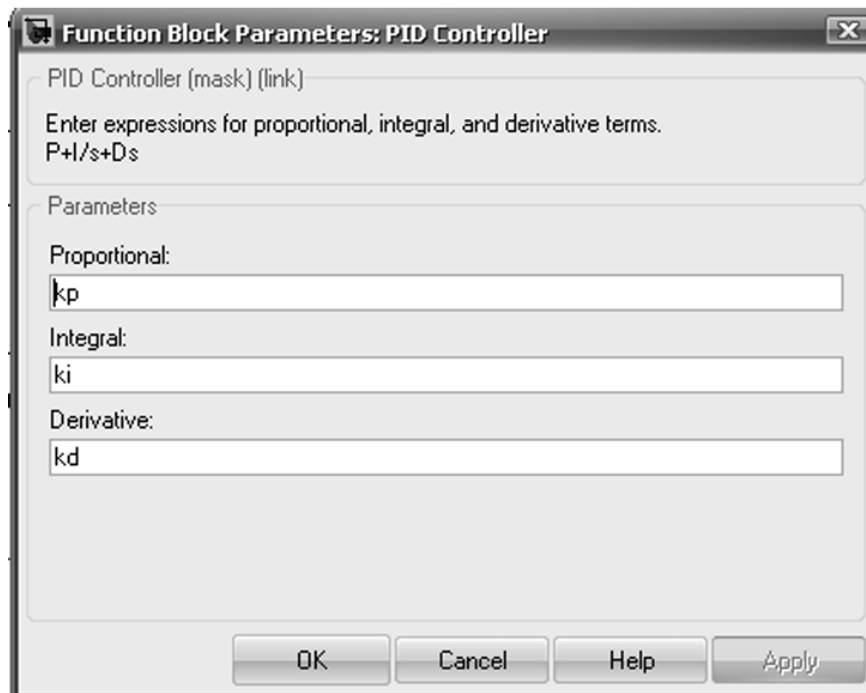


Рисунок 4.20 – Вікно завдання характеристик ПД-регулятора

На рис. 4.21 - 4.23 представлені характеристики ПД-регулятора при $k_p=115,5783$, $k_i=1$ та $k_d=2,6016e+006$.

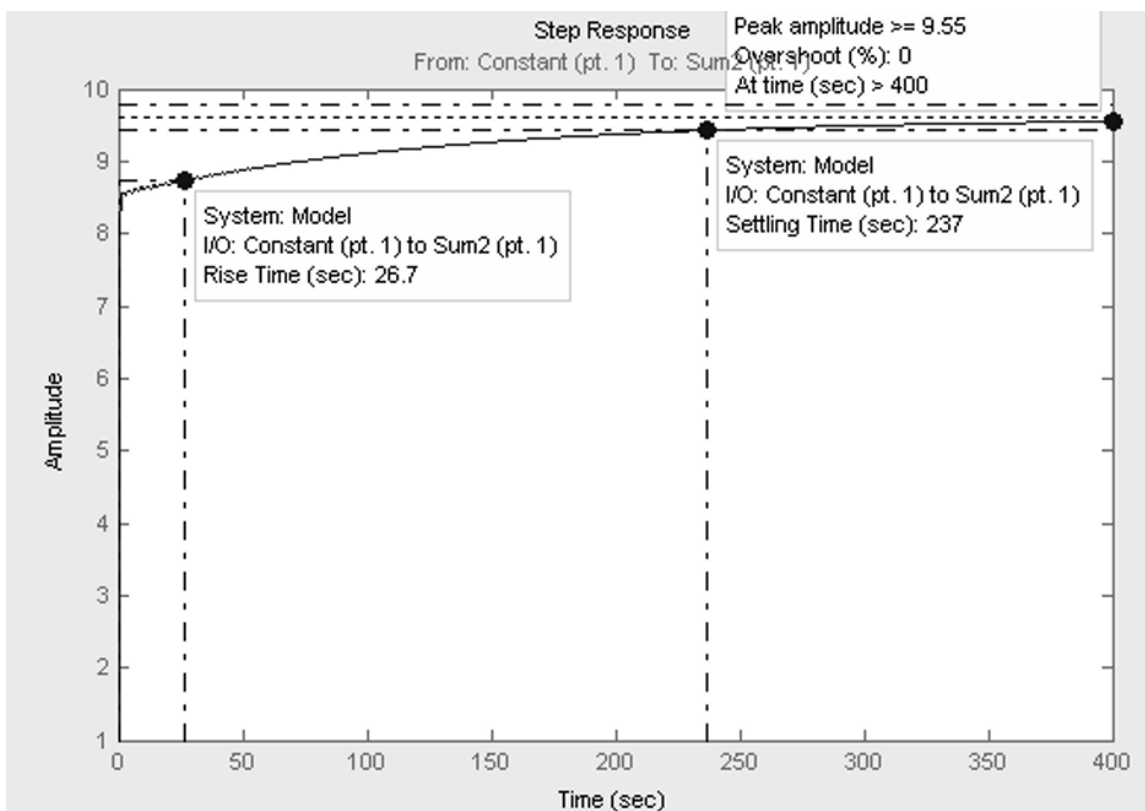


Рисунок 4.21 – Перехідна характеристика системи з ПД-регулятором

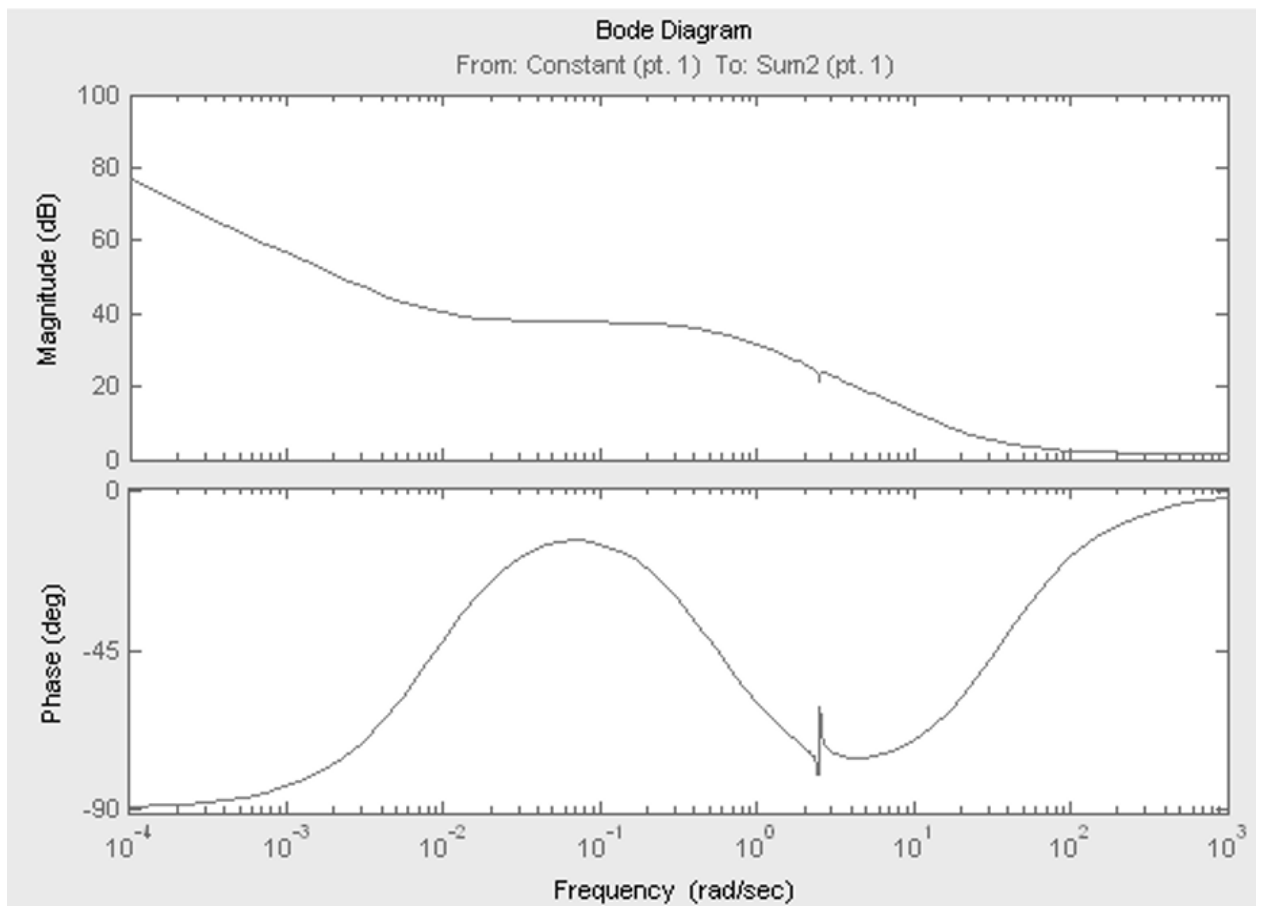


Рисунок 4.22 – ЛАХ та ЛФГ системи з ПД-регулятором

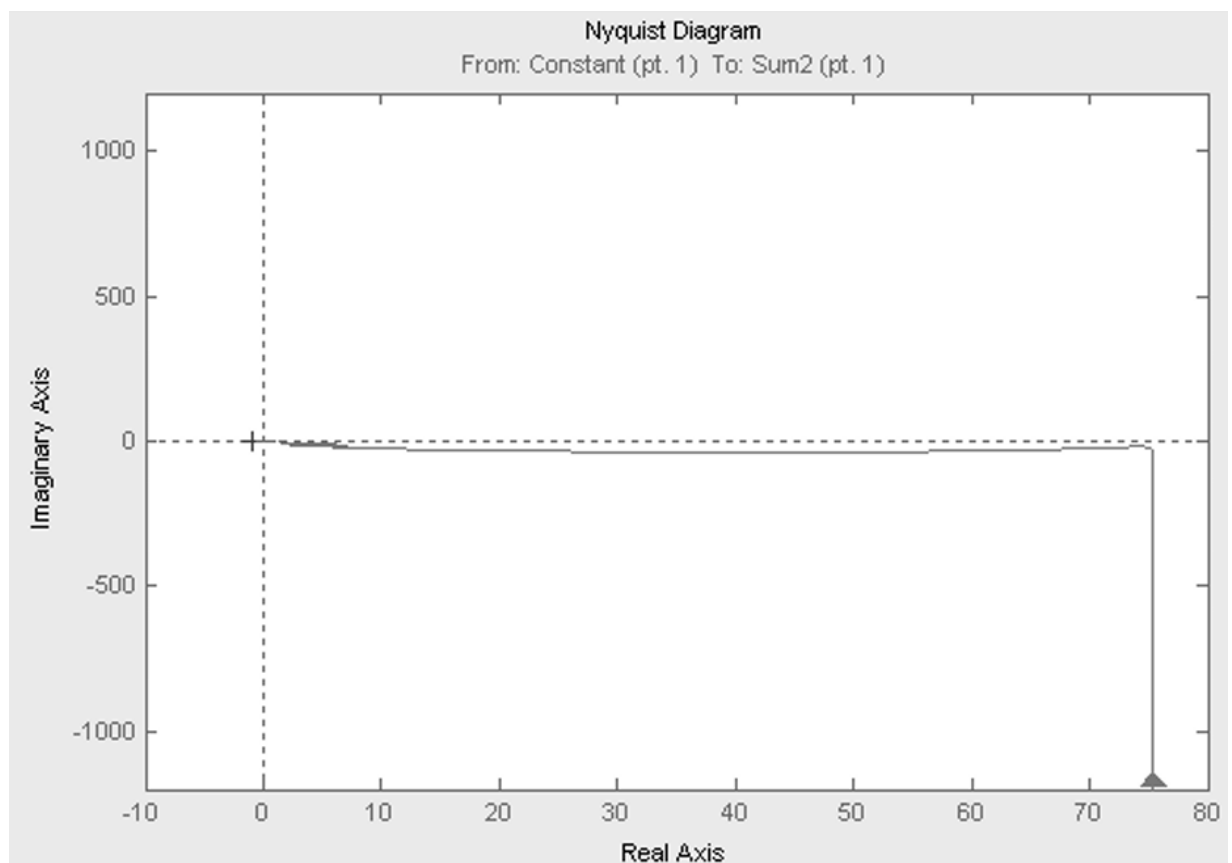


Рисунок 4.23 - АФЧХ системи з ПД-регулятором

На основі отриманих характеристик системи з різними регуляторами, складемо порівняльну таблицю:

Таблиця 4.1 - Характеристики САУ валкової дробарки

Критерії	Система без регулятора	Система з регулятором			
		П	ПІ	ПД	ПІД
запас стійкості за амплітудою ΔL , дБ	1,78	-1,96	-3,58	$\rightarrow\infty$	---
запас стійкості по фазі $\Delta\phi$, град	-4,43	9,24	34,2	$\rightarrow\infty$	---
перерегулювання δ ,%	17,2	5,6	0	0,25	0
час перехідного процесу $t_{пн}$, с	79,9	44,3	>250	0,916	240

З таблиці 4.1 видно, що для даної САУ найоптимальнішим є ПД-регулятор, оскільки він забезпечує максимально можливі запаси стійкості та найвищу швидкодію системи.

4.3 Вибір технічних засобів автоматизації для розроблюваної САУ валковою дробаркою

Для розроблюваної САУ валкової дробарки обрано такі технічні засоби автоматизації: датчик частоти обертання ДЧВ – 2 Дельта, радіохвильовий рівнемір УР 203Ех 15 та безконтактний магнітострикційний первинний перетворювач лінійного переміщення МК4 D.

Опис датчика частоти обертання ДЧВ – 2 дельти [10].

Особливістю датчика ДЧВ – 2 Дельта (рис. 4.24) є здатність формувати вихідні імпульси навіть при дуже низьких обертах зубчастого колеса та можливість визначення напрямку його обертання (ДЧВ-2/1).

Датчик має латунний корпус, у якому розташований електронний вузол (чутливий елемент), залитий компаундом для герметизації конструкції та

підвищення стійкості до вібрацій. Він призначений для роботи із зубчастим колесом із феримагнітного матеріалу (сталі).

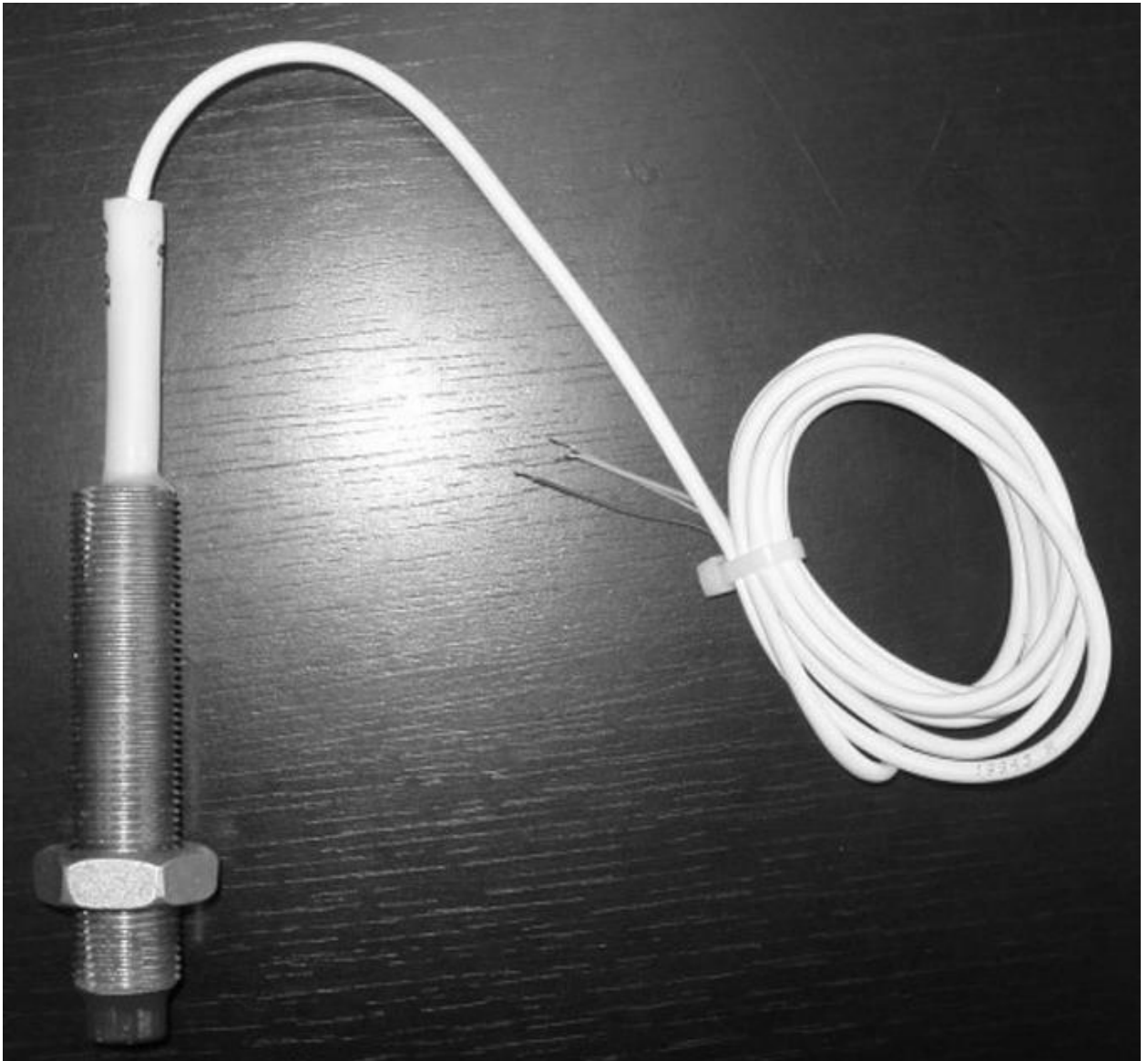


Рисунок 4.24 – Датчик частоти обертання ДЧВ – 2 Дельта

Принцип роботи чутливого елемента базується на магнітотомуляції. Коли зуб колеса проходить поблизу елемента, електронна схема датчика формує на виході прямокутний імпульс. Схема має гістерезис із порогом спрацьовування, що запобігає появі хибних імпульсів при нестабільності параметрів, наприклад, через биття колеса в межах робочого зазору. Датчик оснащено захистом від переполюсування живлення, а провідники марковані для підключення до зовнішніх кіл. Для надійної роботи ширина паза (зовнішній розмір) зубчастого колеса має бути не менше 1 мм, що відповідає

шестірням зубчастої передачі. Датчик може застосовуватися у машинобудуванні, нафтовій і газовій промисловості, а також у системах керування тяговими двигунами та інших галузях.

Датчик ДЧВ 2 Дельта не потребує спеціальної орієнтації зуба робочого колеса, що значно спрощує його встановлення в двигуні. Робочий частотний діапазон від 0 до 25 кГц дозволяє застосовувати його в різних галузях промисловості, транспорту та машинобудування. Температурний режим роботи від -60 до +125 °С забезпечує можливість експлуатації у будь-яких кліматичних умовах.

Завдяки здатності датчика реагувати на робоче колесо товщиною від 1,6 мм, зменшується вага колеса та знижується вартість його виготовлення методом холодного штампування. Корпус датчика повністю ізолюваний і виконаний з латуні, що забезпечує його роботу в агресивних середовищах і магнітних полях. Пристрій витримує ударні навантаження до 50 г.

Таблиця 4.2 - Основні технічні дані та характеристики датчика обертання ДЧВ – 2 Дельта

Номінальна напруга живлення	В	8-24
Допустимі відхилення при температурі -60...+70	В	8-27
Вихідний струм, не більше	мА	75
Вихідний ланцюг		комплементарний
Частота вихідних імпульсів	Гц	0-25000
Робочий температурний діапазон	°С	-60...+125
Зазор між чутливим елементом і зубчастим колесом не більше	мм	3
Мінімальний модуль зуба	мм	1,5
Маса не більше	гр.	100
Габаритні розміри без кріплення довжина	мм	80
Максимальний діаметр	мм	18
Маркування виводів: коричневий провід		+ джерело живлення
Жовтий провід		вихід
Зелений провід		загальний

Опис рівнеміру радіохвильового УР 203Ех 15 [11].



Рисунок 4.25 – Рівнемір радіохвильовий УР 203Ех 15

Призначення, принцип дії рівнеміра.

Вибухозахищені радіохвильові рівнеміри УР 203Ех призначені для безконтактного та безперервного вимірювання рівня рідких, сипких і шматкових матеріалів у технологічних резервуарах, танках, силосах, бункерах та інших стаціонарних об'єктах, а також для обміну інформацією з іншими технічними засобами автоматизованих систем керування. Рівнеміри УР 203Ех допускають встановлення у вибухонебезпечних зонах приміщень і зовнішніх установок класів 1 і 2 відповідно до нормативних вимог щодо застосування електрообладнання у таких зонах.

Принцип роботи рівнеміра базується на опроміненні поверхні контрольованого середовища НВЧ-сигналом з періодично змінюваною

частотою. Взаємодія випромінюваного та відбитого сигналів формує сигнал різницевої частоти, пропорційний відстані від антени до поверхні продукту. Після обробки сигналу різницевої частоти генерується цифровий (кодовий) та струмовий вихідні сигнали, які відповідають поточному значенню рівня.

Основні переваги:

- висока надійність і стабільність вимірювань незалежно від впливу дестабілізуючих факторів (широкий температурний діапазон, агресивне середовище, запиленість);
- здатність працювати в умовах випарів та конденсату;
- підвищена температурна стабільність;
- безконтактне вимірювання продукту;
- вбудована автодіагностика та сигналізація відмов;
- компактна конструкція, простота встановлення та експлуатації;
- можливість демонтажу вимірювальної частини без розгерметизації ємності;
- відсутність потреби у повторній перевірці показань під час регламентних робіт завдяки прив'язці частоти випромінювання до еталонного генератора;
- дистанційне налаштування та калібрування через цифровий комунікаційний інтерфейс.

Вибухозахист.

Вибухозахист рівнеміра забезпечується металевим корпусом, кабельними вводами та рупорною антеною, які здатні витримати тиск вибуху всередині оболонки без пошкодження та без перенесення запалення на навколишнє вибухонебезпечне середовище. Рівнемір відповідає вимогам до вибухонепроникних оболонок для роботи у вибухонебезпечних середовищах.

Таблиця 4.3 - Основні технічні характеристики рівнеміру радіохвильового УР 203Ех 15

Межі налаштування діапазону вимірювань, м: УР 203Ех 15 0-15 УР 203Ех 30 0-30	0-15 0-30
Параметри контрольованого середовища: тиск, МПа: - Виконання з кронштейном (К) - Виконання з фланцем (Ф) - температура, °С	атмосферний до 1,6 від 40 до + 150
Напруга живлення постійного або змінного струму, В	24±2,4
Споживана потужність, В·А, не більше	7
Частотний діапазон випромінюваного сигналу, ГГц	14-15
Вихідні сигнали: кодний струмовий, ма опір навантаження, кОм, не більше	RS 48 4-20 0,5
Довжина кабельної лінії зв'язку передачі вихідних сигналів, м	до 1000
Межі основної похибки, що допускається, см	1
Параметри навколишнього повітря під час експлуатації: температура відносна вологість, % (при 35 °С)	від 40 до + 50 до 95
Ступінь захисту, що забезпечується оболонкою	IP65
Вібростійкість та віброміцність: діапазон частот прискорення	5-80 Гц до 10 м/с ²
Вибухозахист: Вид маркування	"вибухонепроникна оболонка" 1ExdІІВТЗ
Показники надійності: напрацювання на відмову, год, не менше середній термін служби, років, не менше	105 14

Опис безконтактного магнітострикційного первинного перетворювача лінійного переміщення МК4 D [12].

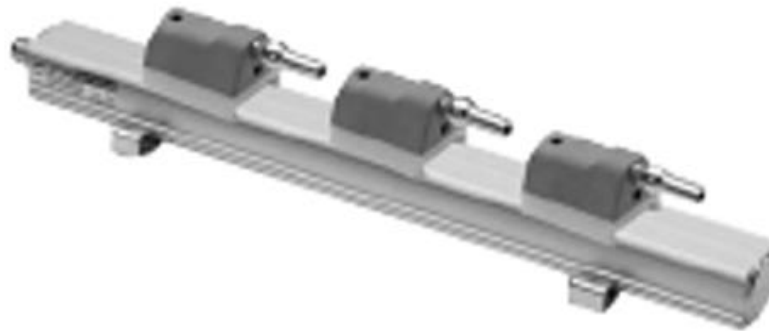


Рисунок 4.26 – Безконтактний первинний магнітострикційний перетворювач лінійного переміщення МК4 D

Безконтактний лінійний перетворювач позиціонування з магнітострикційною технологією оснащений інтерфейсом Start/Stop або PWM та цифровим виходом. Відсутність електричного контакту на курсорі запобігає швидкому зношуванню та забезпечує тривалий термін служби. Компактні розміри спрощують встановлення, а повний захист від зовнішніх впливів дозволяє експлуатувати пристрій у складних умовах із високим забрудненням та пилом. Прилад характеризується відмінною лінійністю, відтворюваністю та стійкістю до механічних вібрацій і ударів.

Таблиця 4.4 - Технічні характеристики безконтактного магнітострикційного первинного перетворювача лінійного переміщення МК4 D

Модель	від 50 до 4000 мм
Принцип виміру	переміщення
Час вибірки під час зчитування позиції	1 ms
Тест на удар DIN IEC68T2-27	100 г – 11 мс – один удар
Вібрації DIN IEC68T2-6	12 г/10...2000 Гц
Швидкість переміщення	<10 м/с
Макс. прискорення	< 100 м/с ² рух
Розрішення	<10 мВ
Тип магніту	окремий плаваючий (ковзний) курсор
Робоча температура	-30...+75°C
Температура зберігання	-40...+100°C
Температурний коефіцієнт	-40...+100°C
Захист	IP67

Таблиця 4.5 - Електричні дані безконтактного магнітострикційного первинного перетворювача лінійного переміщення МК4 D

Вихідний сигнал (з боку з'єднання)	Start/Stop (S), (T) PWM (P), (W)
Номінальне живлення	24 Vdc \pm 20%
Макс. коливання живлення	1 Vpp
Максимальний вхід	90mA (60 Ом навантаження)
Мінім. навантаження на виході	60 Ом
Електрична ізоляція	500 V (D.C. живлення/заземлення)
Захист від зворотної полярності	ϵ
Захист від перенапруги	ϵ
Самовідновлюючийся внутрішній запобіжник	ϵ

Висновок до розділу 4

У розділі проведено детальний аналіз системи автоматизації валкової дробарки із використанням програмного забезпечення MATLAB та пакету Simulink. Було визначено ключові показники якості та стійкості САУ, включаючи час перехідного процесу, перерегулювання, запас стійкості по амплітуді та фазі, а також помилку регулювання.

Розрахунки та моделювання показали, що система автоматичного управління без регулятора не відповідає встановленим вимогам: час перехідного процесу перевищує допустимий, перерегулювання більша за нормативне, а запаси стійкості свідчать про нестійкість системи. Аналіз ЛАЧХ, ЛФЧХ та АФЧХ підтвердив, що замкнута система не є стійкою, що робить неможливим забезпечення необхідного рівня якості регулювання без додаткового регулюючого елемента.

Отже, для забезпечення стабільної роботи САУ валкової дробарки та досягнення нормативних показників якості необхідно обрати та налаштувати регулятор, що дозволить підвищити запаси стійкості та забезпечити відповідність системи вимогам замовника.

У розділі проведено вибір та аналіз регуляторів для системи автоматичного управління валковою дробаркою. Було розглянуто П-, ПІ-, ПД-

та ПД-регулятори, побудовано їхні перехідні характеристики, ЛАХ, ЛФГ та АФЧХ, а також порівняно отримані показники стійкості та якості регулювання.

Аналіз показав, що оптимальним для даної САУ є ПД-регулятор, який забезпечує максимальні запаси стійкості, мінімальне перерегулювання та високу швидкодію системи. Використання ПД-регулятора дозволяє досягти необхідних параметрів стабільності та якості регулювання, що відповідають вимогам замовника та забезпечують ефективну роботу системи автоматизації валкової дробарки.

Для розроблюваної САУ валкової дробарки було обрано комплект технічних засобів автоматизації, що забезпечує точне та надійне вимірювання основних параметрів процесу: частоти обертання, рівня матеріалу та лінійного переміщення.

- Датчик частоти обертання ДЧВ–2 Дельта забезпечує високоточне формування імпульсів навіть при низьких обертах зубчастого колеса, стійкий до вібрацій та переполюсування живлення, що гарантує надійну роботу в різних умовах промислового середовища.

- Радіохвильовий рівнемір УР 203Ех 15 дозволяє безконтактно вимірювати рівень рідких, сипких та кускових матеріалів у вибухонебезпечних зонах, має високу стабільність та надійність роботи навіть у складних умовах експлуатації.

- Безконтактний магніострикційний перетворювач лінійного переміщення МК4 D забезпечує точне позиціонування без механічного зносу, стійкий до вібрацій, ударів та забруднень, що дозволяє тривалу експлуатацію у промислових умовах.

Вибрані технічні засоби відповідають вимогам до точності, надійності та стійкості до агресивних факторів навколишнього середовища, що забезпечує ефективну роботу розроблюваної САУ валкової дробарки та реалізацію вимог замовника.

5 ОСОБЛИВОСТІ МОНТАЖУ ОБЛАДНАННЯ

Під час роботи валкових дробарок на жорстко закріпленій фундамент передаються горизонтальні навантаження від обертових мас валків, а також імпульсні горизонтальні навантаження, що виникають при миттєвих відхиленнях від гармонійного руху валків під час дроблення матеріалу.

Основна складність у віброізоляції валкової дробарки полягає в необхідності забезпечення дуже низької власної частоти на віброізоляторах машини. Для конструктивно прийнятних мас постаменту з використанням пружин або гумових віброізоляторів практично важко досягти потрібного співвідношення між частотою вимушених коливань та власними коливаннями системи.

Щоб обмежити обертальні коливання установки у вертикальній площині та забезпечити ефект віброізоляції у горизонтальному напрямку, віброізолятори повинні мати високу вертикальну жорсткість і низьку горизонтальну жорсткість. Конструктивно вони можуть виконуватися у вигляді підвісок (рис. 4.1), причому встановлення дробарок на віброізолятори не потребує змін у самих машинах. Несучі підвіски виготовляють зі сталевих стрижнів або канатів з органічним або металевим осердям, а також із закритих конструкцій канатів. Довжина підвісок повинна бути не менше 1 м, а власна частота горизонтальних коливань установки — щонайменше у 6 разів менше частоти збудовуючої сили. Збільшення довжини підвісок підвищує ефективність віброізоляції.

Розташування підвісок слід планувати з урахуванням рівномірного розподілу статичних навантажень від віброізолюваного обладнання, а також зручності монтажу та експлуатації дробарки й електродвигуна. Підвіски, встановлені під деяким кутом до вертикалі з конструктивних міркувань, не знижують ефективності підвісної віброізоляції.

Під час монтажу та експлуатації установки слід контролювати рівномірний натяг підвісок. Регулювання натягу здійснюється за допомогою гайки, нагвинченої на стрижень або на натяжну муфту (рис. 5.1) [1].

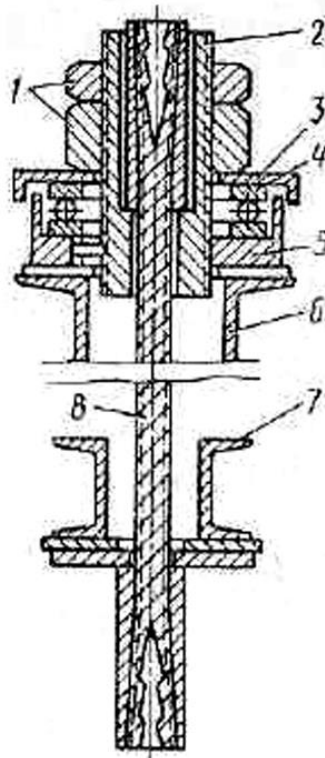


Рисунок 5.1 – Вузол підвіски: 1 – регулювальна гайка; 2 – натяжна муфта; 3 – захисна шайба; 4 – шарикопідшипниковий упор; 5 – ліжко підшипника; 6 – стійка; 7 – опорна рама; 8 – трос

Вертикальна жорсткість підвіски [1]:

$$C = \frac{EF}{l}, \quad (5.1)$$

де F - площа поперечного перерізу дротів;

E – маркувальна група, для канатів закритої конструкції $E = 0,1 \cdot 10^6$ Па, для канатів відкритої конструкції при довжині підвіски $l > 30d$ $E = 0,05 \cdot 10^6$ Па, при довжині підвіски $l < 30d$ $E = 0,1 \cdot 10^6$ Па.

При розрахунку канатних підвісок на міцність слід приймати коефіцієнт запасу міцності $K \geq 2,5 \dots 3$, зазвичай для канатів приймають $K = 5 \dots 6$. Канатні підвіски працюють тільки на розтягування та не працюють на згин. Тому коефіцієнт запасу можна прийняти меншим [1].

$$C = \frac{0,1 \cdot 10^6 \cdot 40}{100} \cdot 4 = 160 \text{ кН} \quad (5.2)$$

Таким чином, вертикальна жорсткість підвіски повинна бути не менше 160 кН.

Елементи конструкції віброізоляції дробарок у експлуатаційному режимі розраховуються на одночасну дію статичного навантаження та вертикального імпульсного навантаження, що виникає при попаданні неподібнених тіл. Загальна сила рівномірно розподіляється по всіх болтах кріплення дробарки на платформі. Статичні навантаження (вага дробарки, електродвигуна, рами під дробарку та електродвигун, а також половина ваги матеріалу в завантажувальній лійці) враховуються з коефіцієнтом навантаження $K = 1,2$ [1].

Необхідну кількість підвісок визначають відповідно до загальних положень інструкції з віброізоляції обладнання. У даному випадку потрібні 4 підвіски, розташовані по кутах платформи дробарки. Віброізолювану машину слід встановлювати на масивний постамент, якщо амплітуда коливань у робочому режимі перевищує 2 мм.

Монтаж конструкцій віброізоляції виконують у такій послідовності. Дробарку з приводом розміщують на платформі, піднятій на висоту, достатню для встановлення нижніх анкерів підвісок віброізоляторів та гідравлічних домкратів. За допомогою домкратів установку вирівнюють у горизонтальній площині. Після цього на платформу навішують підвіски або встановлюють опорні віброізолятори, закріплюючи нижнім анкером до платформи, а верхнім – до несучої конструкції.

Навантаження на підвіски передають шляхом поступового опускання платформи за допомогою гідравлічних домкратів. Перед цим обов'язково слід натягнути підвіски за допомогою спеціального пристрою. Після опускання платформи перевіряють горизонтальність установки і, при необхідності, піднімають її для регулювання.

Цю процедуру повторюють до тих пір, поки горизонтальність установки на віброізоляторах не відповідатиме вимогам заводу-виробника. Після досягнення необхідної точності підключаються всі комунікації до дробарки та електродвигуна.

Висновок по розділу 5

При роботі валкових дробарок на жорстко закріпленому фундаменті виникають значні горизонтальні та імпульсні навантаження, що створюють необхідність ефективної віброізоляції. Основна складність полягає у забезпеченні низької власної частоти системи при конструктивно допустимих масах постаменту та використанні пружинних або гумових віброізоляторів.

Для обмеження обертальних коливань у вертикальній площині та підвищення ефективності горизонтальної віброізоляції застосовуються підвіски зі сталевих стрижнів або канатів, які забезпечують високу вертикальну жорсткість і низьку горизонтальну жорсткість. Встановлення дробарки на підвіски не потребує конструктивних змін у самій машині, а довжина підвісок та їхнє розташування забезпечують необхідне зниження впливу зовнішніх та внутрішніх збурюючих сил.

Під час монтажу та експлуатації важливим є забезпечення рівномірного натягу підвісок, правильного розподілу статичних і динамічних навантажень та горизонтальності установки. Розрахунки показують, що вертикальна жорсткість підвісок має бути не менше 160 кН, а кількість підвісок визначається з урахуванням розподілу навантажень — у даному випадку рекомендується використовувати чотири підвіски, розташовані по кутах платформи дробарки.

Таким чином, запропонована система віброізоляції забезпечує надійне зниження впливу коливань на фундамент та навколишнє обладнання, підвищує точність роботи дробарки та продовжує термін служби конструкції.

ВИСНОВОК

У рамках розробки та дослідження системи автоматичного управління (САУ) валкової дробарки було виконано комплексний аналіз та вибір оптимальних рішень щодо автоматизації, регулювання, технічних засобів та віброізоляції обладнання.

Аналіз системи автоматизації показав, що застосування інтегрованих програмних пакетів, таких як MATLAB та Simulink, дозволяє ефективно моделювати та оцінювати характеристики САУ, визначати стійкість системи, показники якості регулювання та порівнювати їх із заданими технічними вимогами. Було встановлено, що первісна система без регулятора є нестійкою і не відповідає вимогам щодо перерегулювання, часу перехідного процесу та запасів стійкості.

Підбір регулятора для САУ валкової дробарки показав, що оптимальним є застосування ПД-регулятора, який забезпечує максимальні запаси стійкості, високу швидкодію та відповідність системи заданим вимогам щодо якості регулювання. Використання блоку NCD у Simulink дозволило оптимізувати параметри регулятора та підвищити ефективність керування.

Для реалізації системи автоматизації були обрані технічні засоби, що забезпечують точність і надійність вимірювань: датчик частоти обертання ДЧВ–2 Дельта, радіохвильовий рівнемір УР 203Ех 15 та безконтактний магнітострикційний первинний перетворювач лінійного переміщення МК4 D. Ці пристрої мають високу точність, стійкість до агресивних умов, вібрацій та перепадів температур, а також відповідають вимогам безпеки у вибухонебезпечних середовищах.

Особлива увага приділялася віброізоляції валкової дробарки. Було визначено необхідність забезпечення низької власної частоти підвісок для ефективного гасіння горизонтальних та імпульсних навантажень. Використання сталевих стрижнів або канатних підвісок із високою вертикальною жорсткістю та низькою горизонтальною жорсткістю дозволяє зменшити вплив коливань на

фундамент і навколишнє обладнання. Розташування та натяг підвісок контролюються для забезпечення рівномірного розподілу навантажень і горизонтальності установки.

Завдяки комплексному підходу до автоматизації, підбору регулятора, вибору технічних засобів і правильній організації віброізоляції, розроблена САУ валкової дробарки забезпечує стабільну, надійну і точну роботу обладнання, відповідає вимогам замовника щодо стійкості та якості регулювання, а також підвищує термін служби машин і безпеку їх експлуатації.

Список літератури

1. Червоний І.Ф. (ред.) Сировинні матеріали та їх підготовка до металургійних процесів Запоріжжя: ЗДІА, 2013. — 408 с.
2. Верховлюк А.М., Нарівський А.В., Могилатенко В.Г. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва Навчальний посібник. — За ред. академіка НАН України В.Л. Найдека. — К.: Вініченко, 2016. — 224 с.
3. Кравець В.Г., Білецький В.С., Смирнов В.О. Техніка і технологія збагачення корисних копалин авчальний посібник. — Київ: Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (КПІ ім. Ігоря Сікорського), 2019. — 286 с.
4. Смирнов В.О., Білецький В.С. Проектування збагачувальних фабрик Навчальний посібник. -Донецьк: Східний видавничий дім, 2002. - 269 с.
5. Білецький В.С., Олійник Т.А., Смирнов В.О., Скляр Л.В. Техніка та технологія збагачення корисних копалин. Частина 1. Підготовчі процеси Навчальний посібник. — Кривий Ріг : ФОП Чернявський Д. О., 2019. — 199 с.
6. Самилін В., Білецький В. Спеціальні методи збагачення корисних копалин Донецьк, 2003. – 116 с.
7. Білецький В.С., Смирнов В.О. Моделювання процесів збагачення корисних копалин Донецьк: Східний видавничий дім, 2013. — 304 с.
8. Пілов П.І., Анісімов М.Т., Анісімов В.М. Методи математичної статистики та теорії ймовірностей в збагаченні корисних копалин Навчальний посібник. — Дніпропетровськ: НГУ, 2012. — 126 с.
9. Пілов П.І. Гравітаційні методи збагачення корисних копалин Навчальний підручник. — Дніпро: Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (НТУ “ДП”), 2021. — 152 с.
10. Папушин Ю.Л., Смирнов В.О., Білецький В.С. Дослідження корисних копалин на збагачуваність Донецьк, 2006. – 344 с.
11. Папушин Ю.Л., Білецький В.С. Основи автоматизації гірничого виробництва Донецьк: Східний видавничий дім, 2007. – 168 с.

12. Смирнов В.О., Білецький В.С. Проектування збагачувальних фабрик Навчальний посібник. -Донецьк: Східний видавничий дім, 2002. - 269 с.
13. Бизов В.Ф. Основи технології гірничого виробництва. Том IV Виробничі процеси Підручник для студентів вищих навчальних закладів за напрямком «Гірництво» Кривий Ріг: Мінерал. 2000. - 247 с.
14. Кравець В.Г. та ін. Техніка і технологія переробки гірських порід Навчальний посібник. — Київ: Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського (КПІ ім. Ігоря Сікорського), 2019. — 315 с.
15. Гончаренко Б.М. Електроніка та мікросхемо техніка /Б.М.Гончаренко, К.В.Коновалов. – К.: НУХТ, 2006. – 565 с.
16. Червоний І.Ф. (ред.) Сировинні матеріали та їх підготовка до металургійних процесів Запоріжжя: ЗДІА, 2013. — 408 с.
17. Автоматизация процессов обогащения руд /[Морюта А.Н., Давидкович А.С., Гуленко Т.И., Кондратец В.А.] . – К.: Техніка, 1972. – 140 с.
18. Лободюк В.А. Справочник по элементарной физике / В.А.Лободюк, К.П.Рябошапка, О.И.Шулишова. – К.: Наукова думка, 1978. – 448 с.
19. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування: [підручник для студ. вищ. техн. навч. закл. освіти] /М.Г.Попович, О.В.Ковальчук. – К.: Либідь, 1997. – 544 с.
20. Дипломне проектування. Розділ з охорони праці: Навч.посібник /С.О.Буракова [та інші]; За ред.. С.О.Буракової. – Кам'янець-Подільський: ПП. «Медобори-2006», 2010. – 360 с.
21. Державний реєстр нормативно-правових актів з охорони праці: Показчик. – Харків: Форт, 2007. – 123 с.
22. Саленко Ю.С. Обладнання для подрібнення матеріалів: дробарки та млини Навч. посібник. — Кременчук: КДПУ, 2008. — 100 с.
23. Сівко В.Й. Механічне устаткування підприємств будівельних виробів. -К.: ДТУБА, 1994.
24. Жомирук Р.В., Маланчук Є.З. Основи автоматизації гірничого виробництва: Навч. посібник.- Рівне: НУВГП, 2009.-373 с.

Додатки