

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

(ступінь вищої освіти)

на тему «Модернізація асинхронного електропривода живильного конвеєра
молоткової дробарки»

Виконав: студент групи 201-пМЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Ковган Р.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник Кожушко Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Кислиця С.Г.

(прізвище та ініціали)

Полтава - 2023 рік

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	6
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ	9
1.1 Опис технологічного процесу	9
1.2 Конструкція і принцип роботи шокової дробарки	10
1.3 Конструкція і принцип роботи конусної дробарки.....	13
1.4 Конструкція і принцип роботи молоткових дробарок	16
1.5 Загальні вимоги до електроприводів дробарок.....	22
2. РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ДРОБАРОК. ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ	24
2.1 Функціональна схема розроблюваного електроприводу живильника	24
2.2 Вибір електродвигуна	27
2.3 Розрахунок механічних характеристик електродвигуна приводу живильника	31
2.4 Вибір перетворювача частоти	32
2.5 Технічні характеристики перетворювача частоти.....	34
3. РОЗРАХУНОК І ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ	36
3.1 Математична модель частотно-регульованого електроприводу	36
3.2 Комп'ютерна модель електроприводу	41
3.3 Розрахунок налаштувань ПІ-регулятора	46
3.4 Програма для контролера.....	48
ВИСНОВКИ.....	51
ЛІТЕРАТУРА.....	52
ДОДАТКИ.....	53

ВСТУП

Основною темою даної роботи є модернізація приводу живильного конвеєра молоткової дробарки. Підбір необхідного електродвигуна, перетворювача частоти та системи управління. За допомогою регулювання подачі матеріалу живильником передбачається оптимально здійснювати завантаження дробарки, що дозволить економити електроенергію і зменшити знос механічних частин.

Конвеєр – машина безперервного транспорту, призначена для переміщення сипких, шматкових або штучних вантажів, а також для переміщення виробу, що обробляється, від одного робочого до іншого або для транспортування цього виробу.

Існують різні види конвеєрів:

- Стрічковий конвеєр є конструкцією, що складається з опорних стійок, приводного і натяжного барабанів, приводного обладнання, проміжних опорних роликів і кільцевої стрічки, по якій безпосередньо переміщуються вантажі. Залежно від призначення конвеєра стрічка може бути виготовлена з брезенту, тонкого сталевих листа або прогумованої парусини. Стрічкові конвеєри можуть успішно використовуватися для транспортування як сипких матеріалів, так і вантажів, упакованих в тару. У першому випадку застосовується обладнання зі стрічкою жолобоподібної форми, яка створюється за допомогою опорних роликів, у другому - конвеєри зі звичайною плоскою стрічкою.
- Гравітаційний роликівий конвеєр. Конвеєр даного типу переміщує вантажі з використанням сили тяжкості і застосовується головним чином для транспортування товарів в тарі. Конструкція обладнання є похилим каркасом, на якому закріплений ряд роликів. Упаковки з вантажами пересуваються по роликівим направляючим конвеєра під дією сили тяжіння.
- Ковшовий конвеєр. Обладнання даного типу знаходить застосування там, де існує необхідність транспортування великої кількості сипких матеріалів -

вугілля, цементу, піску, шлаку, щебеню та інших. Особливістю конструкції ковшового конвеєра є металічні ковші (чавунні або сталеві), закріплені між двома рядами кільцевого роликowego ланцюга. Ковші є єдиною лінією, що забезпечується завдяки перекриттю. Кожен окремий ківш постійно знаходиться у вертикальному положенні, оскільки може вільно хитатися на осі підвісу. Конструкція ковшових конвеєрів дозволяє транспортувати вантажі одночасно і по вертикалі, і по горизонталі.

- Конвеєр з перевантаженням. Конвеєри такого різновиду поєднують у собі риси скребкового і ковшового конвеєрів. Так само, як і в ковшових елеваторах, в них є подвійний ряд нескінченних ланцюгів, між якими кріпляться ковші V-образного профілю. У підйомній секції ковші рухаються широкою частиною догори, а в кінці вертикального прогону, де ланцюги йдуть по зірочках, нахиляються. Вміст ковшів висипається в горизонтальний жолоб, де переміщається, як у скребковому конвеєрі. Вантаж може транспортуватися одночасно у вертикальній та горизонтальній площинах.

Конвеєр відноситься до механізму безперервної дії з постійною розподіленою вантажем. Режим роботи електродвигуна в такому механізмі - тривалий. При розрахунку його потужності, як правило, не враховують навантаження при пуску і гальмуванні.

Метою роботи є вибір виду конвеєра для даних умов експлуатації, а також вибрати електродвигун, перетворювач частоти і систему управління.

Вимоги до електроприводу конвеєрів:

1. Регулювання швидкості не потрібно або потрібно в незначному діапазоні.
2. Необхідний високий пусковий момент з-за великої різниці за величиною моменту тертя спокою і моменту тертя руху.
3. Потрібно забезпечити плавність перехідних процесів – обмежити прискорення і ривка з метою усунення можливого розгойдування або пробуксовування механізму, а також потрібно зниження динамічних зусиль при наявності пружних зв'язків. Необхідно, щоб при пуску привід

живильника дробарки мав характеристику з плавним збільшенням пускового моменту до початку торкання конвеєрної стрічки і обмеженою величиною моменту в період розгону до номінальної швидкості.

4. Приводи великих конвеєрів з високою швидкістю руху стрічки повинні мати можливість роботи на низьких швидкостях 1 м/с для проведення профілактичного огляду.

Відповідно до вимог до плавності пуску та регулювання швидкості в механізмах з розосередженим навантаженням застосовуються:

- -електроприводи з короткозамкненими асинхронними двигунами з підвищеним пусковим моментом;
- -асинхронні електродвигуни з фазним ротором для конвеєрних ліній великої протяжності для забезпечення плавного пуску.

Управління живильного конвеєра здійснюється за допомогою пульта оператора на якому є:

- кнопка «Пуск», з підсвічуванням зеленого кольору
- кнопка «Стоп», з підсвічуванням червоного кольору
- кнопка «Аварійна зупинка»
- 2 світлодіодні індикатори режиму роботи

Необхідно реалізувати управління електроприводом, а саме забезпечити обробку вхідних і вихідних сигналів з кнопок, сигнал з аналогового датчика рівня, вибір швидкості. Так само необхідно здійснювати запуск/зупинку двигуна з кнопок управління.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

1.1 Опис технологічного процесу

Лінія отримання кубовидного щебню є системою, що складається з відкритих дробильно-сортувальних установок на майданчиках щебенедробильних і асфальтобетонних заводах. Застосовується для отримання щебню I групи (кубоподібного) – це щебінь, вміст ліщадних зерен (товщина або ширина яких менше довжини в три і більше разів) у якому не більше 10-15%. Лещадність – одна з найважливіших характеристик якості щебню. Щебінь кубовидної форми має більшу міцність, а також дає найбільш щільну утрамбовку, що тягне за собою мінімальні витрати матеріалу. Отже, використання кубоподібного щебню у виробництві економічніше та доцільніше. На рис. 1.1 зображено технологічну схему лінії виробництва кубоподібного щебню.

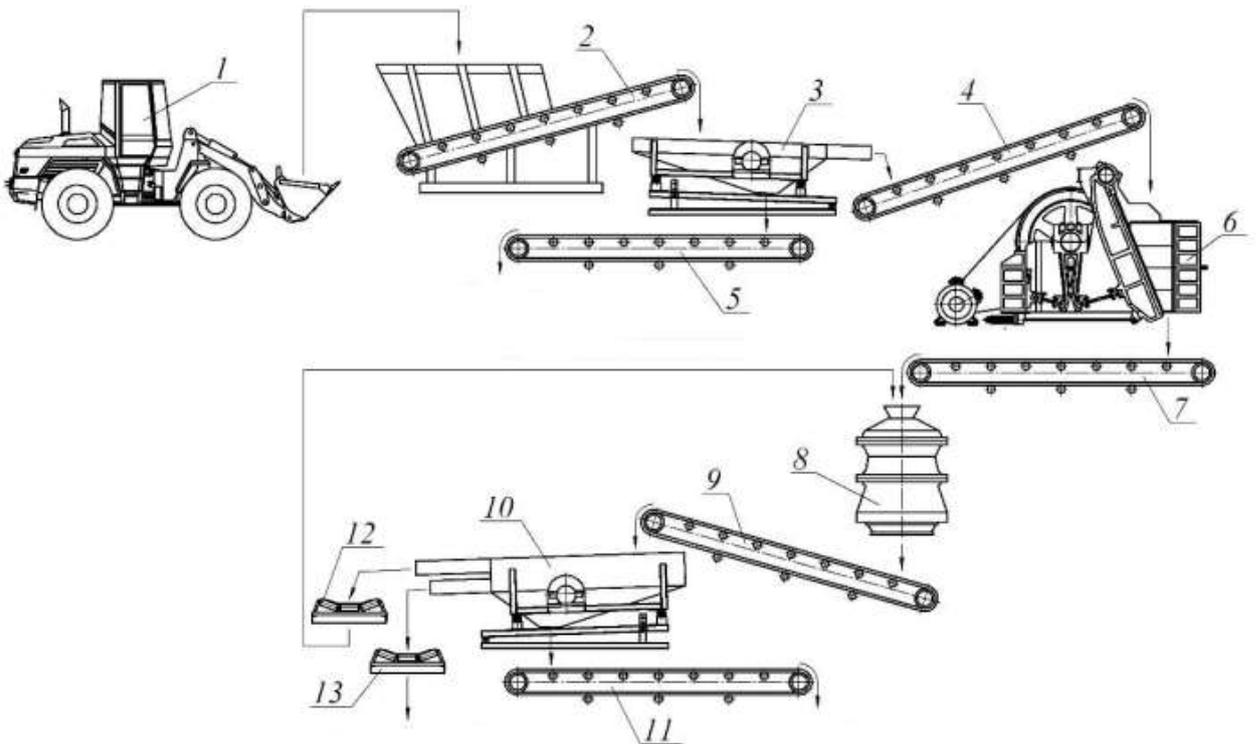


Рисунок 1.1 – Технологічна схема лінії виробництва кубоподібного щебню
 1 – фронтальний навантажувач, 2 – ланцюговий живильник, 3, 10 – гуркоти,
 4, 5, 7, 9, 11, 12, 13 – конвеєри стрічкові, 6 – дробарка щоква, 8 – дробарка
 конусна

Вихідна порода (рис. 1.1) за допомогою фронтального навантажувача 1 завантажується в бункер ланцюгового живильника 2 для рівномірної подачі. Після цього потрапляє на гуркіт 3, у якому відбувається розподіл сировини. Сировина маленької фракції потрапляє на стрічковий конвеєр (ЛК) 5 і йде у відсів. Сировина, що залишилася, рухається по ЛК 4 і падає в шокову дробарку 6 для першої стадії дроблення. Потім порода рухається ЛК 7 і падає в конусну дробарку 8 для другої стадії дроблення на дрібнішу фракцію. З конусної дробарки порода падає на ЛК 9 і потім на гуркіт 10 для сортування. Готовий продукт встановленої фракції потрапляє на ЛК 13, порода дрібної фракції потрапляє на ЛК 11 і йде у відсів, а більшої фракції ЛК 12 відправляється назад на доподрібнення в конусну дробарку 8, що дозволяє істотно знизити кількість ліщадних зерен щебню в готовій продукції.

У технологічному процесі виробництва кубоподібного щебню дробильні установки 6, 8 виконують основні технологічні операції. Розглянемо детально принцип дії та конструкцію цих установок.

1.2 Конструкція і принцип роботи шокової дробарки

Шокова дробарка є універсальною машиною для великого, середнього та дрібного дроблення. Застосовується на нерудних матеріалах будь-яких міцностей та практично всіх різновидів. Застосування неможливе на в'язкопружних матеріалах, таких як деревина, полімери, певні металеві сплави.

У промисловості будівельних матеріалів шокові дробарки найчастіше застосовуються для великого та середнього дроблення шматкових матеріалів. Вони відрізняються простотою, надійністю конструкції та нескладні в обслуговуванні.

За влаштування шокові дробарки діляться на дві групи: з простим (ШДП) і складним хитанням шоки (ШДС) (можливий рух як однієї шоки,

так і двох щік). Конструкція ЩДП дозволяє створювати відносно більші навантаження на матеріал, що подрібнюється, ніж у ЩДС.

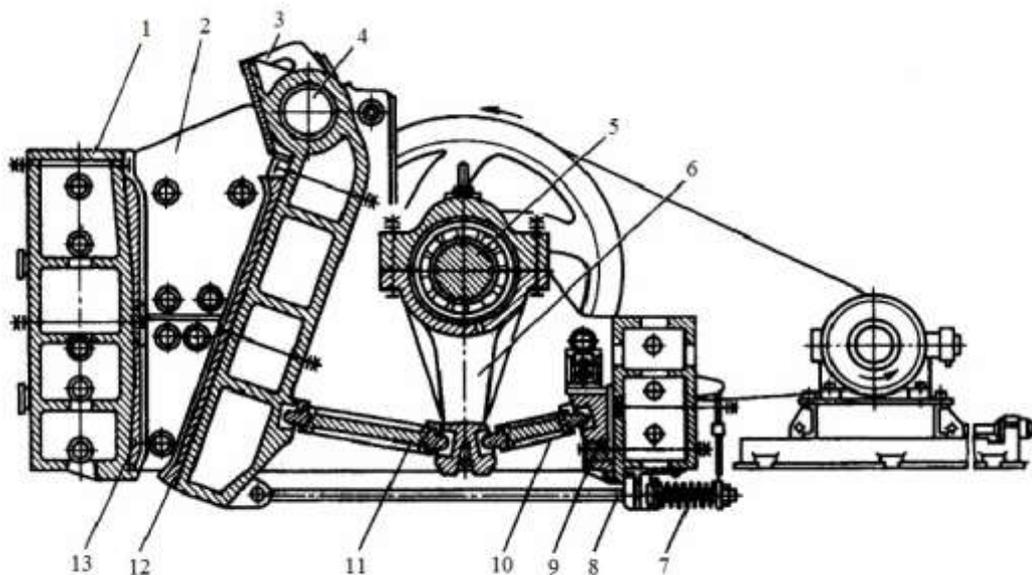


Рисунок 1.2 – Конструкція щокової дробарки з простим рухом щоки
 1 – бічні стінки станини, 2 – змінні плити, 3 – рухома щока, 4 – вісь рухомої щоки, 5 – ексцентрична частина валу, 6 – шатун, 7 – пружина, 8 – тяга, 9 - упор, 10, 11 - розпірні плити, 12, 13 - плити, що дроблять

На рис. 1.2 зображено типову конструкцію дробарки для великого дроблення з простим рухом щоки. Рухлива щока 3, вісь 4 якої встановлена в підшипниках ковзання, закріплених на бічних стінках станини 1, отримує коливальні рухи через розпірні плити 10 і 11 від шатуна 6, підвішеного на ексцентричній частині валу 5, що приводиться в обертання від електродвигуна через клинопасову. Робочі поверхні щік облицьовують змінними плитами, що дроблять 12 і 13. Бічні стінки камери дроблення також облицьовані змінними плитами 2.

У процесі експлуатації виникає потреба регулювати ширину вихідної щілини камери дроблення. У великих дробарках для цього встановлюють різні по товщині прокладки між упором 9 та задньою стінкою станини.

Гарантоване замикання ланок механізму приводу рухомої щоки в дробарках з розпірними плитами, що ламаються, здійснюється пружиною 7 і тягою 8 [1].

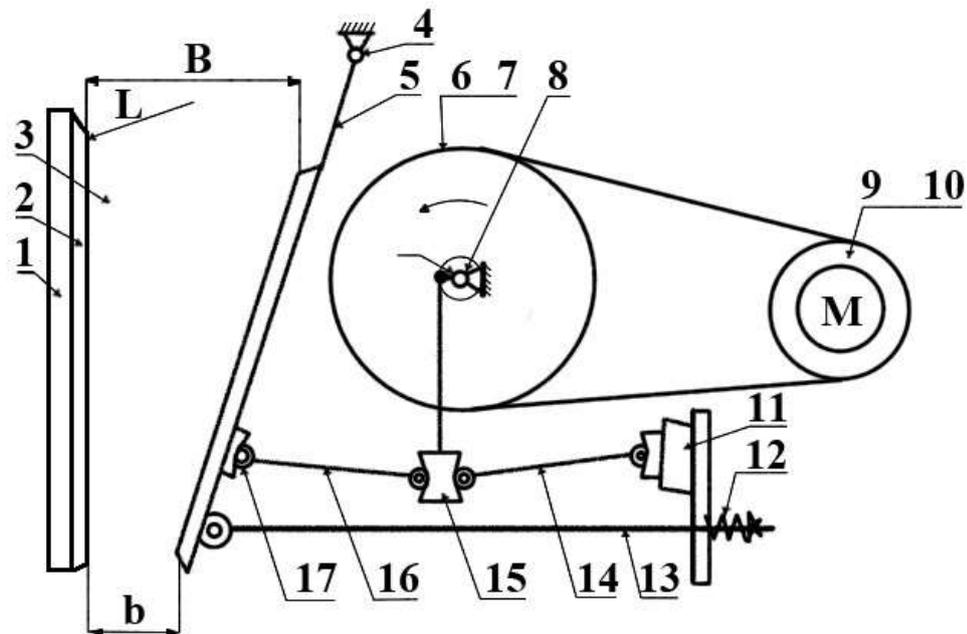


Рисунок 1.3 – Кінематична схема щокової дробарки з простим рухом щоки

1 – нерухома щока, 2 – дробна плита, 3 – бічна стінка, 4 – вісь підвіски рухомої щоки, 5 – рухома щока, 6 – шків, 7 – маховик, 8 – ексцентриковий вал, 9 – провідний шків, 10 – електродвигун, 11 – регулювальний пристрій, 12, 13 – пружина та тяга замикаючого пристрою, 14, 16 – розпірні плити, 15 – шатун, 17 – опори кочення.

Привід дробарки (рис. 1.3) складається з електродвигуна і клинопасової передачі. Робота дробарки відбувається у наступній послідовності. Від електродвигуна через клинопасову передачу обертання передається шківу маховику, закріпленому на ексцентриковому валу.

Велика маса частин, що рухаються, ускладнює запуск дробарки, створюючи дуже великий пусковий момент. Тому великі дробарки мають ступінчастий пуск, який здійснюється послідовним введенням в роботу шківів-

маховика, далі через фрикційну муфту ексцентрикового валу з шатуном, а потім через другу фрикційну муфту другого маховика.

При обертанні ексцентрикового валу шатун здійснює зворотно-поступальний рух у вертикальній площині. Під час руху шатуна вгору разом із ним рухаються і кінці розпірних плит. Останні, розпрямляючись (за рахунок збільшення кута між плитами), починають натискати на задню стінку станини та рухливу щоку, переміщуючи останню у бік нерухомої щоки. Матеріал, завантажений в камеру дроблення, піддається роздавлюванню. Під час руху шатуна вниз відбувається холостий хід. Енергія холостого ходу електродвигуна акумулюється маховиками та використовується під час робочого ходу. Щока під час холостого ходу відходить назад під дією складової сили тяжкості її та пружин замикаючого пристрою [1].

1.3 Конструкція і принцип роботи конусної дробарки

Конусні дробарки використовують у всіх стадіях дроблення при переробці найрізноманітніших матеріалів як по крупності дробного матеріалу, так і різноманітності фізико-механічних властивостей. Дроблючими органами є нерухомий усічений конус і розташований всередині нього рухомий конус, що дробить, вісь якого відхилена на кут γ від осі нерухомого конуса, який здійснює відносно осі нерухомого конуса обертальний рух. Об'єм між цими поверхнями утворює камеру дроблення. При подачі в камеру матеріалу конус, що дробить, обкатує шматки матеріалу, здійснюючи їх роздавлювання і злам, оскільки робочі поверхні мають кривизну.

За технологічним призначенням їх ділять на дробарки: крупного (ККД), середнього (КСД) та мілкового (КМД) дроблення.

Основним параметром дробарок типів КСД і КМД є діаметр нижньої основи рухомого конуса.

За конструктивною ознакою – способом спирання валу конуса, що дробить – розрізняють дробарки з підвішеним валом, опорним товкачем і з консольним валом. Останню конструкцію використовують у машинах КСД та КМД.

Дробарка (рис. 1.4) складається з станини 4 з опорним кільцем 6 і запобіжними пружинами 5, ексцентрика 1, встановленого в центральній склянці станини на чотиридисковому підп'ятнику 2.

Через конічні зубчасті колеса ексцентрик пов'язаний з приводним валом 16, розташованим в горизонтальному патрубку станини 4. З конічним отвором ексцентрика 1 пов'язаний конічний хвостовик валу 13 дрібного конуса, що спирається на сферичний підп'ятник опорної чаші 3 [2].

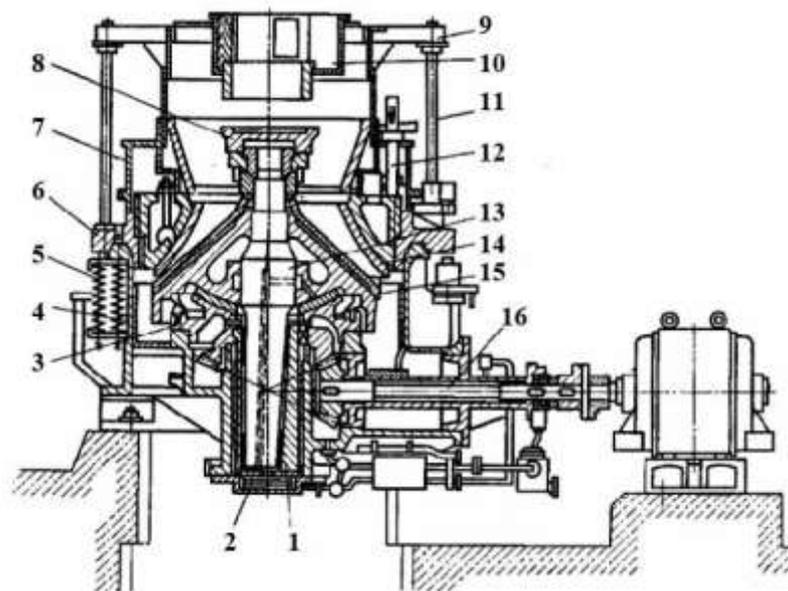


Рисунок 1.4 – Конструкція КМД із консольним валом

Робоча камера дробарки утворюється зовнішньою поверхнею подрібнювального конуса, футерованого бронею 15 з високомарганцевистої сталі, і внутрішньою поверхнею нерухомої броні 14 регулюючого кільця, що сполучається завзятим різьбленням з опорним кільцем вантажу вантажу кільця колонками 12 з клинами. Клини спираються на кожух 7, встановлений на опорному кільці 6. У верхній частині дробарки є герметичний завантажувальний пристрій 9, встановлений на чотирьох стійках 11 і станині 4.

Вихідний матеріал надходить у приймальну коробку 10 завантажувального пристрою і через патрубок зсипається на розподільну плиту конус.

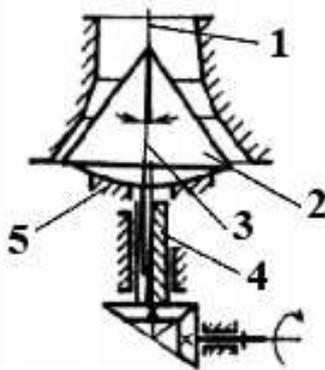


Рисунок 1.5 – Кінематична схема конусної дробарки з консольним валом
1 – центр кочення, 2 – рухомий конус, 3 – вал конуса, 4 – ексцентрикова втулка, 5 – сферичний підп'ятник

Рухомий конус (рис. 1.5) пологої форми 2 жорстко кріпиться на валу 3, нижній кінець якого вставлений в ексцентрикову втулку 4 так, що вісь валу утворює з віссю обертання (віссю дробарки) деякий кут, званий кутом прецесії. Рухливий конус дробарок спирається на сферичний підп'ятник 5. Вал конуса немає верхнього кріплення. Ексцентрикова втулка отримує обертання від приводного пристрою, при цьому рухомий конус отримує рух качання. Центр кочення 0 знаходиться нагорі в точці перетину осі валу та осі дробарки [2].

Завдяки коченню розподільчої плити забезпечується рівномірне по колу завантаження робочого простору. В результаті при зближенні конусів матеріал дробиться, а при їх розбіжності вивантажується.

Характерною рисою дробарок КСД і КМД є у камері дроблення паралельної зони, тобто. ділянки, на якій зазор між утворюючими конусів постійний. Тим самим забезпечується отримання однорідного продукту, близького за розмірами зазору [1].

1.4 Конструкція і принцип роботи молоткових дробарок

В молоткових дробарках матеріал дробиться в основному ударом молотків, які підвішені до ротора, що обертається у робочому просторі дробарки, обмеженому футерованим броньовими плитами корпусом. Додаткове (вторинне) дроблення матеріалу здійснюється при ударі грудки об броньові плити корпусу дробарки. Дроблення матеріалу відбувається доти його зерна не зможуть пройти крізь щілини колосникової решітки.

Продуктивність молоткових і роторних дробарок залежить від їхніх конструктивних і механічних параметрів (діаметра, довжини і частоти обертання ротора; кількості, маси і числа молотків; розташування і форми відбійних плит; способу завантаження і глибини проникнення грудок у зону ротора). Продуктивність також залежить від фізичних властивостей матеріалу, що дробиться (міцності, вмісту глинистих речовин, вологи, крупності вихідного і дробленого продуктів). Між продуктивністю дробарки, подрібнюваністю вихідного матеріалу, ступенем дроблення і потужністю електродвигуна існує взаємозв'язок. При постійних умовах дроблення з підвищенням продуктивності знижується ступінь дроблення і навпаки. Теоретична формула для розрахунку продуктивності молоткових і роторних дробарок відсутня. Для орієнтованого розрахунку продуктивності молоткових і роторних дробарок застосовують різні емпіричні формули. [3].

При підвищенні міцності, в'язкості і вологості матеріалу, що дробиться, і зменшенні крупності дробленого продукту продуктивність молоткової дробарки знижується. При рівномірному живленні забезпечується більш висока продуктивність дробарки.

Молоткові і роторні дробарки вимагають ретельного балансування ротора. Швидкість завантаження вихідного матеріалу повинна вибиратись у залежності від швидкості обертання ротора. Ширину щілини між колосниками і відстань між решіткою і кінцями молотків вибирають у залежності від необхідної крупності дробленого продукту і вологості вихідного матеріалу.

Ширина щілини між колосниками повинна бути у 5 – 6 разів більше розміру зерен дробленого продукту при дробленні до 6 мм і у 1,5 – 2 рази при дробленні до 50 мм. При дробленні вологих матеріалів з глинистими домішками відстань між колосниками збільшують або працюють без них.

Різновиди конструкції. Розрізняють молоткові дробарки:

- Однороторні: нереверсивні; реверсивні.
- Двуроторні: паралельного дроблення; послідовного дроблення.

Молоткові дробарки виготовляються з колосниковими решітками і без них. Дробарки з колосниковими решітками застосовуються в основному для дрібного дроблення, вони призначені для отримання дробленого продукту визначеної крупності. Молоткові дробарки без колосникових решіток видають дроблений продукт заданої крупності внаслідок підвищеної швидкості обертання ротора. Молоткові дробарки бувають з обертанням ротора у одну сторону і реверсивні. За числом робочих валів молоткові дробарки розділяються на одно- і двуроторні.

Молотки, що застосовуються в молоткових дробарках, мають різну форму і масу (від 3,5 до 15 кг і більше). Чим більше крупність вихідного матеріалу, тим більше маса молотка при меншому їх числі і навпаки.

Однороторна нереверсивна молоткова дробарка (рис. 1.6) типу М складається з таких основних вузлів: корпуса, ротора, відбійних плит і колосникової решітки [3].

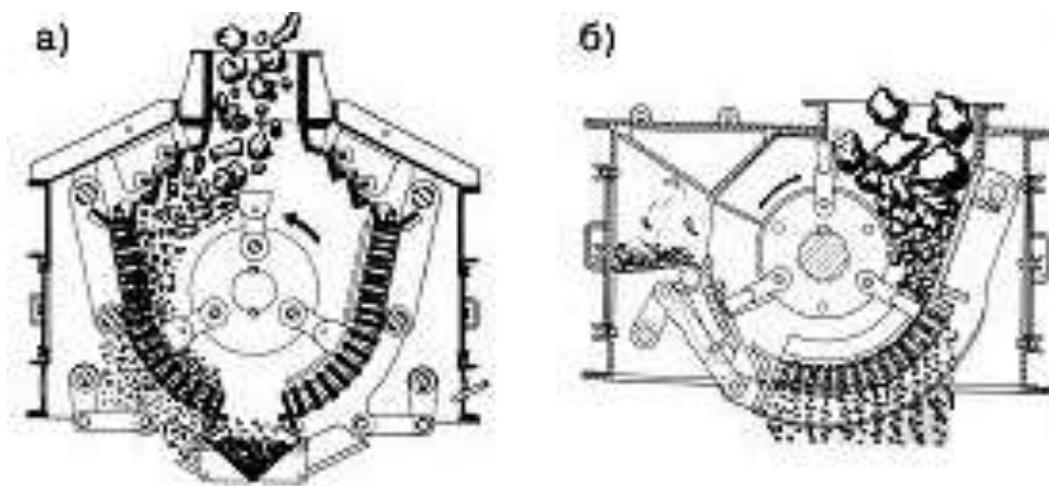


Рисунок 1.6 – Реверсивна (а) і нереверсивна (б) молоткова дробарка

Верхня 1 і нижня 2 частини корпусу роблять литими або зварними з прокатної чи листової сталі. Біля бокових стінок корпусу розташовані підшипники, в яких обертається вал 6 ротора 3. Ротор являє собою збірну конструкцію: на валу 6 жорстко закріплені диски, в кожному з них є шість отворів, крізь які пропущені стержні 5, що служать осями для шарнірно підвішених молотків 4.

Верхня частина корпусу футерується відбійними плитами 7. У нижній частині корпусу розташована колосникова решітка 8, яка займає $135\text{--}180^\circ$ кола, що описується молотками. Вихідний матеріал руйнується ударами молотків, ударами об футеровочні плити, роздавлюванням і стиранням на колосниковій решітці. Дроблений продукт розвантажується під дробарку крізь колосникову решітку. Колосники решітки виготовляються з сталі марки 60С2 або 45Х і можуть мати різну форму, але частіше за все — трапецієподібну з розширенням щілини у бік розвантаження під кутом $10\text{--}20^\circ$. Вони нахилені до радіуса ротора під кутом $40\text{--}50^\circ$ у бік руху матеріалу, що зменшує залипання решітки при дробленні матеріалів з підвищеною вологістю.

Шарнірне кріплення молотків дозволяє уникати поломок при потраплянні у робочий простір дробарки предметів, що не дробляться, тому що у цьому випадку молотки відхиляються на деяких кут.

Однороторна реверсивна молоткова дробарка (рис. 1.7) типу ДМРЕ складається зі зварного корпусу 5, ротора 2 і колосникової решітки 7. Передбачена можливість регулювання положення колосникової решітки за допомогою спеціального механізму [3].

Вал ротора 1 обпирається на підшипники закріплені на станині дробарки. Обертання вал ротора отримує від електродвигуна, з яким він з'єднується муфтою. На валу 1 нерухомо закріплені диски ротора 2, крізь отвори 2 яких пропущені стержні із вільно надітими на них молотками 4.

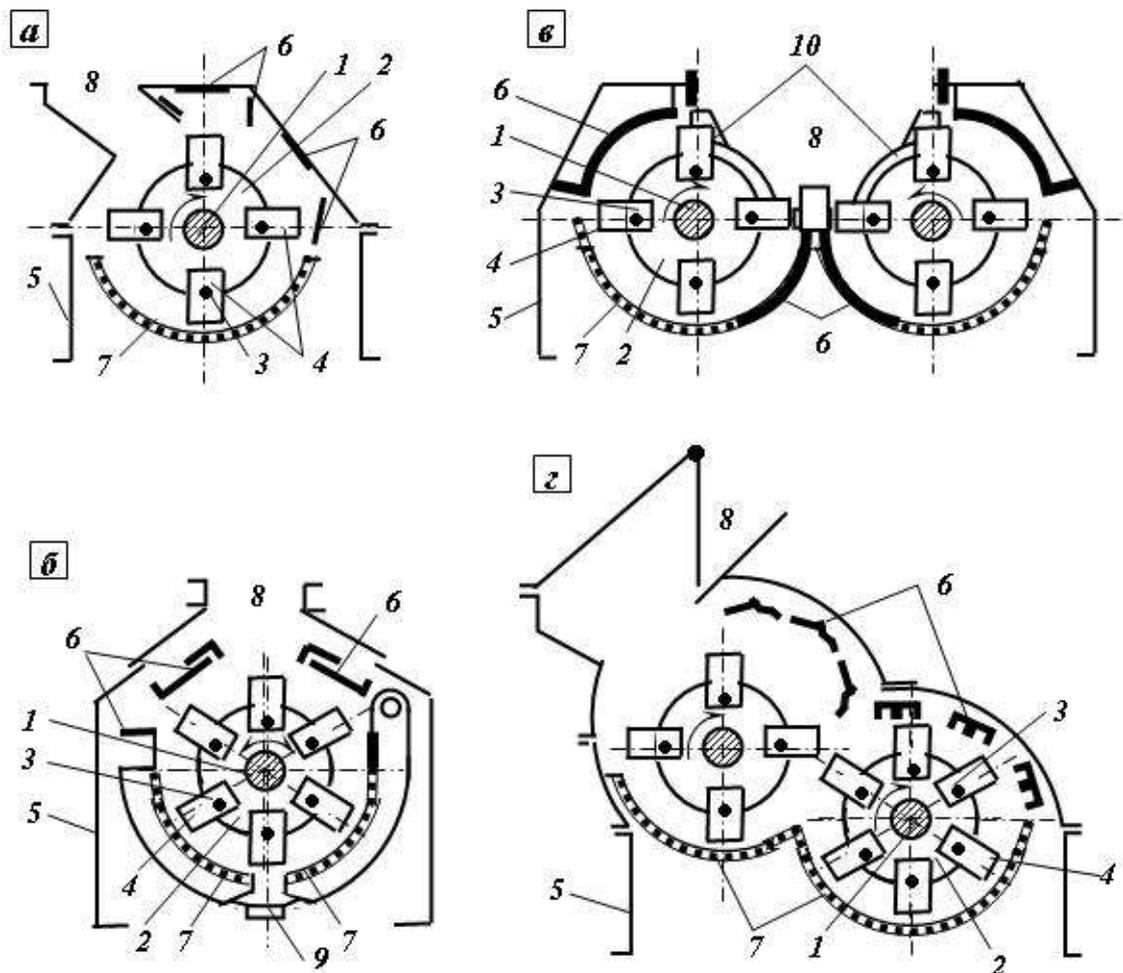


Рисунок 1.7 – Схеми основних типів молоткових дробарок

Однороторні: а –неревсивна, б – реверсивна

Двуроторні: в – паралельного дроблення, г – послідовного дроблення

1 – горизонтальний вал, 2 – ротор, 3 – осі молотків, 4 – молотки, 5 – корпус дробарки, 6 – футеровочні плити, 7 – колосникова решітка, 8 – завантажувальна лійка, 9 – уловлююча камера, 10 – фігурні колосники

Вихідний матеріал через завантажувальний отвір 8 надходить у робочий простір дробарки, де у результаті багаторазових ударів молотків 4 і ударів об футеровочні броньовані плити 6 відбувається дроблення матеріалу. Остаточне дроблення матеріалу роздавлюванням і стиранням здійснюється у кільцевому зазорі між колосниковою решіткою 8 і кінцями молотків 4.

Колосникова решітка складається з двох однакових секцій, які зверху підвішені на осях, а знизу опираються на ексцентрики регулювального

механізму. Поворот ексцентриків змінює положення колосникової решітки залежно від напрямку обертання ротора.

Для уловлювання металевих та інших предметів, що потрапили у дробарку випадково, передбачена уловлююча камера 9, яка розвантажується періодично.

Центральне розташування завантажувального отвору 8 дозволяє змінювати напрямок обертання ротора, що є перевагою дробарок цього типу, тому що в них можливе двобічне використання молотків без розбирання дробарки для їхнього повороту. Тобто знос молотків у дробарках цього типу рівномірний з двох сторін.

Дробарка призначена для дроблення матеріалів середньої міцності і вологості до крупності 3 — 5 мм.

Молоткова двороторна дробарка з паралельним розташуванням роторів.

Вихідний матеріал подається у завантажувальну лійку 8, яка створена торцевими стінками корпуса 5 дробарки і фігурними колосниками 10. При обертанні роторів 2 вільно підвішені молотки 4 проходять у зазори між фігурними колосниками 10 і дроблять грудки матеріалу. Дроблений продукт падає на решітки під роторами, де він дробиться остаточно і розвантажується під дробарку. Вал 1 кожного ротора обертається через клинопасову передачу від окремого електродвигуна. Привідні шківни обважені і служать також, як маховики. Додатково на вільних кінцях валів роторів також насаджені маховики для вирівнювання ходу дробарки. Найбільша з дробарок цього типу може приймати грудки довжиною до 2000 мм і масою до 4 т при дробленні до 30 — 35 мм при продуктивності 1000 т/год.

Молоткова двороторна дробарка з послідовним розташуванням роторів складається із зварного корпуса 5, роторів 2 і колосникових решіток 7, що розташовані під роторами. Верхній і нижній ротори з молотками 4 обертаються в одному напрямку. Над кожним ротором розміщені відбійні плити 6, які переміщують при регулюванні дробарки. Привод обох роторів здійснюється через клинопасову передачу від одного електродвигуна. При роботі дробарки

по грудках матеріалу, що надходить рівномірно і безперервно із завантажувальної лійки 8, наносяться удари молотками верхнього ротора. Грудки частково розколюються, відкидаються на відбійні плити, відбиваються від них і знов потрапляють під удари молотків верхнього або нижнього ротора. Нижній ротор ударяє по грудках, відкидає їх на свої відбійні плити і проштовхує матеріал на нижню колосникову решітку. Зона між двома роторами є місцем найінтенсивнішого дроблення. Дроблений продукт розвантажується крізь щілини колосникових решіток. Крупність дробленого продукту регулюється зміною зазорів між молотками і відбійними плитами, а також між молотками і колосниковими решітками.

Молоткові дробарки призначені для крупного, середнього і дрібного дроблення матеріалів низької і середньої твердості, але частіше їх застосовують для середнього і дрібного дроблення. Вони характеризуються високою продуктивністю і малою питомою витратою електроенергії.

На вуглезбагачувальних фабриках застосовуються однороторні молоткові дробарки, реверсивні молоткові дробарки знаходять найбільше застосування у вуглепідготовчих цехах коксохімічних заводів для остаточного дроблення збагаченої шихти.

Молоткова дробарка може виконувати дроблення як сухого, так і обводненого матеріалу. На вуглезбагачувальних фабриках молоткові дробарки використовують переважно для дроблення промпродукту або міксту відсадки крупного машинного класу перед його контрольним збагаченням, а також для приготування лабораторних проб.

До переваг молоткових дробарок слід віднести простоту конструкції, надійність, компактність, велику продуктивність, високий ступінь дроблення (20 і більше) та порівняно невеликі питомі витрати електроенергії.

Недоліками молоткових дробарок є швидкий знос молотків і залипання отворів колосникової решітки при дробленні вологого вугілля [3].

1.5 Загальні вимоги до електроприводів дробарок

Головною технологічною вимогою до електроприводів дробарок слід вважати забезпечення заданої продуктивності, тому технологічний процес дроблення здійснюється безперервно. У зв'язку з цим режим роботи електродвигунів дробарок можна охарактеризувати як тривалий ($S1$).

Отже, двигун працює в одному режимі, що встановився.

Енергетична ефективність – один із основних критеріїв роботи електроприводу дробарок. Енергетична ефективність оцінюється ККД – ставленням корисно витраченої енергії до її повної витрати в даному процесі. Необхідно прагнути максимального значення цього показника і мінімального споживання електричної енергії.

В даний час електропривід дробарок виконується переважно нерегульованим. Незважаючи на ударний та нерівномірний характер навантаження, підтримання заданої швидкості обертання забезпечується маховиком, розташованим на робочому валу. Це призводить до того, що при запуску доводиться використовувати додатковий електродвигун.

Поруч із, важливим критерієм роботи електроприводу дробарки є надійність. Виходячи з режиму роботи двигуна та технологічного процесу, потрібне забезпечення безперебійної роботи. Кількість відмов має бути зведена до мінімуму.

З техніко-економічних показників, включаючи енергетичну ефективність, найбільш прийнятними є асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором, які набули найбільшого поширення в установках такого типу. Враховуючи, що робоча зона, у яких встановлені дробарки, значно запилена, а також відбувається постійна дія агресивного зовнішнього середовища, електродвигуни обирають у закритому виконанні.

Для забезпечення зазначених технологічних вимог перспективним є застосування частотного управління.

Частотне регулювання асинхронних електродвигунів знайшло широке застосування у всьому світі. Дане управління здатне забезпечити з високою точністю робочі обороти двигуна як вище, так і нижче за номінальний рівень. Внаслідок цього з допомогою зміни частоти обертання виконавчого елемента відбувається вплив змінну технологічного процесу – потік продукту (продуктивність). Також є можливість плавного пуску, що знижує знос і підвищує ресурс дробильного обладнання.

Крім цього, варто відзначити, що ряд виробників дробарок закладає до їх складу електродвигуни з високим значенням пари полюсів. Це пов'язано з тим, що передавальні механізми мають обмежені коефіцієнти передачі. Застосування частотного управління дозволить застосовувати електродвигуни тієї ж потужності, але більш високі швидкості, що сприятливо позначається на ККД електроприводу.

2 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ДРОБАРОК. ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

Аналіз навантажень в електроприводах дробарок досить складний. Це зумовлено високою часткою випадкових та ударним характером навантаження. З іншого боку, подібний характер роботи зберігається на продовженні всього технологічного процесу, що дозволяє вважати режим роботи електродвигуна тривалим. Отже, розрахунок моменту, що розвивається електродвигуном для забезпечення технологічного процесу, є трудомістким завданням.

В даний час розрахунок потужності електродвигунів здійснюється за емпіричними формулами.

2.1 Функціональна схема розроблюваного електроприводу живильника

Як було сказано в описі завдання, необхідно забезпечити зміну швидкості, і підвищений пусковий момент. При використанні даного конвеєра можливе максимальне навантаження мокрою сировиною зі щільністю $\rho_i = 1500 \text{ кг / м}^3$.

Система автоматичного регулювання в даному випадку, необхідна для стабілізації заданого рівня в дробарці шляхом регулювання швидкості руху конвеєра живильника і обробки збурювальних впливів.

Для регулювання моменту, а також швидкості обертання двигуна в сучасних електроприводах використовуються кілька способів частотного керування:

- векторні;
- скалярне.

Розглянемо різні способи частотного управління більш детально:

Принцип дії скалярного управління асинхронним двигуном - амплітуда і частота напруги змінюються відповідно до закону $U/f n = \text{const}$, де $n \geq 1$.

Необхідно розуміти, що як виглядатиме дана залежність у конкретному випадку, залежить від вимог, що пред'являються навантаженням електроприводу. З одного боку, як незалежний вплив виступає частота, а з іншого боку, напруга при певній частоті визначається видом механічної характеристики, а також значеннями критичного і пускового моментів. Відповідно до скалярного управління забезпечується постійна перевантажувальна здатність асинхронного двигуна, яка не залежить від частоти напруги, і все ж при досить низьких частотах може відбуватися відчутне зниження моменту, що розвивається. Максимальне значення діапазону скалярного управління, при якому ще можливе здійснення регулювання значення швидкості обертання ротора електродвигуна, без втрати моменту опору не повинно перевищувати значення 1:10.

Скалярне управління асинхронним двигуном досить легко реалізується, але все ж таки мають ряд вагомих недоліків. По-перше, якщо на валу не передбачений датчик швидкості, то немає ніякої можливості здійснювати регулювання значення швидкості обертання валу, так як вона повністю залежить від навантаження, що виявляється на електропривід. Встановлення датчика швидкості досить легко вирішує цю проблему, але все ж залишається ще один значний недолік - відсутність будь-якої можливості регулювання значення поточного моменту на валу двигуна. Зрозуміло, можна встановити датчик моменту, але вартість таких датчиків, як правило, значно перевищує вартість самого електроприводу. При цьому, навіть якщо датчик управління моментом буде встановлений, то процес управління поточним моментом виявиться сильно інерційним. Ще одне «але» - скалярне управління асинхронним двигуном характеризується тим, що неможливо здійснити одночасне регулювання швидкості і моменту, у зв'язку з цим доводиться виробляти регулювання тієї величини, яка на даний момент часу найбільш пріоритетна в силу за технологічним процесом [4].

Для того щоб уникнути недоліків, якими володіє скалярне управління двигуном компанією SIEMENS було запропоновано використовувати метод

векторного управління двигуном. У перших електроприводах з векторним управлінням використовувалися двигуни, з вбудованими датчиками потоку, що сильно звужувало область застосування подібних приводів. З часом були впроваджені двигуни без датчиків потоку, що призвело до значного зростання популярності застосування векторного управління двигуном.

Саме застосування методів векторного управління, цілком, залежить від області застосування конкретного електроприводу. Якщо діапазон вимірювання значення його швидкості не перевищує 1:100, а вимоги, що пред'являються до його точності, розташовуються в межах $\pm 1,5\%$, то в такому випадку використовується бездатчикова система управління електродвигуном. При цьому, якщо вимірювання швидкості відбувається в діапазоні досягає значень 1: 10000 і більше, і при цьому рівень його точності повинен бути достатньо високим ($\pm 0,2\%$ при частоті обертання нижче 1 Гц), або ж потрібно позиціонувати вал або проводити регулювання моменту на валу при низьких частотах обертання, то в таких випадках застосовуються система, що має зворотний зв'язок по швидкості.

Переваги векторного методу управління асинхронним двигуном перед скалярним:

- Досить високий рівень точності при регулюванні швидкості обертання валу, навіть при можливій відсутності датчика швидкості, з урахуванням не високих вимог, що пред'являються до значення і величини його швидкості на валу,
- Можливість здійснення плавного руху (без ривків) навіть при малих швидкостях обертання 1 м/с,
- Якщо встановити датчик швидкості, то досягається номінальне значення моменту на валу при низьких швидкостях, а також при нульовому значенні швидкості,
- Відсутність інертності системи. Можливість швидкого реагування на всілякі зміни навантаження - різкі стрибки навантаження практично не впливають на швидкості електроприводу,

- Високий рівень ККД двигуна, за рахунок знижених втрат через намагнічування і нагрівання.

У зв'язку з тим, що з умов поставленої задачі видно, що пуск конвеєра проводиться у важких умовах, то на основі викладених недоліків і переваг двох способів управління електродвигуном, для побудови даної автоматичної системи регулювання буде обраний двигуном.

А для завдання швидкості руху конвеєра використовується перетворений контролер сигнал з датчика рівня завантаження дробарки.

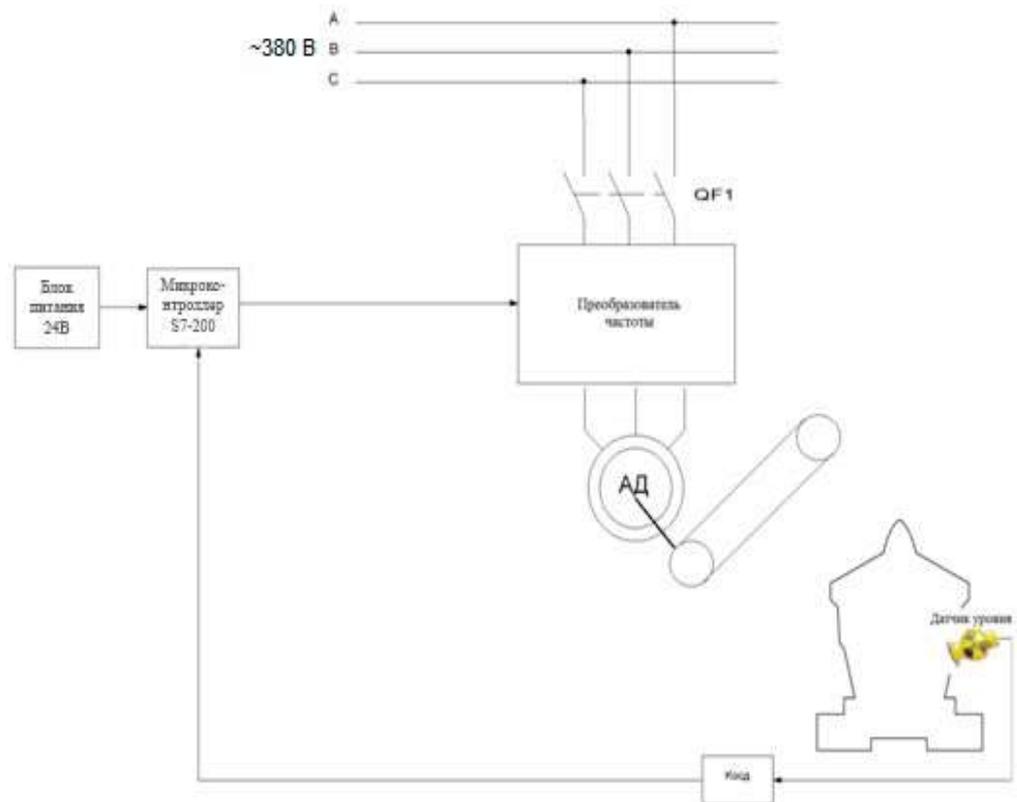


Рисунок 2.1 - Функціональна схема електроприводу.

2.2 Вибір електродвигуна

У даному випадку для приводу живильника буде застосовуватися короткозамкнутий асинхронний електродвигун з підвищеним пусковим моментом, так як він у порівнянні з електродвигуном з фазним ротором знаходиться в більш низькому ціновому ряду, має просту і надійну конструкцію.

Вибір електродвигуна для приводу живильника буде проводитися виходячи з наступних параметрів: насипна щільність матеріалу до $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$; довжина конвеєра $L = 15 \text{ м}$; кут нахилу $\varphi = +40^\circ$.

Потужність електродвигуна N (кВт) розраховується за формулою:

$$N = \frac{KN_0}{\eta},$$

де $K = 1,1-1,4$ - коефіцієнт, для обліку умов роботи конвеєра (менше значення використовуються при легких умовах роботи);

$\eta = 0,6 - 0,85$ - ККД приводу;

N_0 - потужність на приводному валу, кВт .

$$N_0 = \frac{W_0 \cdot v}{102 \cdot \eta_{\text{бар}}},$$

де $\eta_{\text{бар}}$ - ККД барабанів; v - швидкість руху конвеєра, м/с .

$$\eta_{\text{бар}} = \frac{1}{1 + \omega_{\delta} (2K_S - 1)},$$

де: $\omega_{\delta} = 0,4$ - коефіцієнт опору барабана;

K_S - являє собою функцію від коефіцієнта зчеплення барабана зі стрічкою μ .

$$\eta_{\text{бар}} = \frac{1}{1 + 0,04 (2 \cdot 2,86 - 1)} = 0,84$$

Визначимо тягову силу конвеєра за формулою:

$$W_0 = [\omega \cdot L_a (g + g_k) \pm gH] m + W_{\text{пр}} ;$$

де ω - коефіцієнт опору;

L_a - Довжина проекції конвеєра на горизонтальну площину, м ;

$L_a = L \cdot \cos 30^\circ = 15 \cdot \cos 40^\circ = 11,5 \text{ м}$ g – погонне вагове навантаження від вантажу, кг/м ;

g_k - погонна вагове навантаження від частин конвеєра, що рухаються, кг/м ;

H - висота підйому, м ;

$H = L \cdot \sin \phi = 15 \cdot \sin 40^\circ = 9,7 \text{ м}$ t – коефіцієнт;

$W_{\text{пр}}$ - Опір плужкового розвантажувача, якщо вважати що він використовується в даній конструкції, кг .

Погонне вагове навантаження від вантажу визначається за формулою:

$$g = 1000 \cdot F \cdot \rho_H,$$

де F - площа поперечного перерізу потоку вантажу на конвеєрі, m^2 ;

ρ_i - насипна щільність руди. $\rho_i = 1500 \text{ кг}/m^3$.

Для жолобчастої стрічки з кутом нахилу бічних роликів 20° :

$$F = 0,11 \cdot B^2,$$

де B – ширина стрічки, мм.

$$F = 0,11 \cdot B^2 = 0,11 \cdot 0,6^2 = 9,9 \cdot 10^{-3}$$

$$g = 1000 \cdot 9,9 \cdot 10^{-3} \cdot 1,5 = 14,85 \text{ кг}.$$

Погонне навантаження від частин конвеєра, що рухаються, розраховується за рівнянням (1.7):

$$g_k = 2 \cdot g_{л} + \frac{G_p}{l_p} + \frac{G_x}{l_x};$$

де: $g_{л}$ - погонне навантаження від стрічки, $кг/м$;

G_p - маса обертових частин роликкоопори, $кг$;

l_p – крок робочих роликкоопор, $м$; l_x - крок холостих роликкоопор, $м$;

Приблизно: $g_{л} = (25-35) \cdot B$, де B – ширина стрічки, $мм$.

Більш точно:

$$g_{л} = 0,011(\delta_{0i} + \delta_1 + \delta_2) \cdot B, \text{ н/м},$$

, або

$$g_{л} = \frac{0,011}{9,81}(\delta_{0i} + \delta_1 + \delta_2) \cdot B, \text{ кг/м},$$

де B - ширина стрічки, $мм$; i - число прокладок ($i = 3$); δ_1 і δ_2 - товщини прокладок, $мм$; $\delta_0 = 1,2 \text{ мм}$.

$$g_{л} = \frac{0,011}{9,81}(1,2 \cdot 3 + 3 + 1) \cdot 600 = 2,57 \text{ кг/м};$$

При ширині стрічки 600 мм і діаметрі ролика 102 мм для жолобчастих роликкоопор $G_p = 10 \text{ кг}$. Залежно від насипної щільності ($\rho_H < 1500 \text{ кг/м}^3$) і

ширині стрічки ($B = 600 \text{ мм}$), приймаємо відстань між роликкоопорами робочої гілки стрічкового конвеєра: $l_p = 1400 \text{ мм} = 1,4 \text{ м}$.

Відстань між роликкоопорами холостої гілки приймаємо рівним:

$$l_x = 2 \cdot l_p = 2 \cdot 1,4 \text{ м} = 2,8 \text{ м};$$

$$2 \text{ м} < l_{\text{до}} < 3,5 \text{ м}.$$

$$\text{Звідси знаходимо: } g_K = 2 \cdot 2,57 + \frac{10}{1,4} + \frac{10}{2,8} = 15,85 \text{ кг/м}.$$

Коефіцієнт $m = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \cdot m_4 \cdot m_5$ приймемо рівними:

При довжині конвеєра 15 м приймаємо $m_1 = 1,15$.

Конвеєр – прямолінійний $m_2 = 1$.

Привід – головний $m_3 = 1$.

Натяжна станція - проміжна (1 барабан) $m_4 = 1$.

Розвантаження ведеться через головний барабан

$$m_5 = 1. \quad m = 1,15 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1,15.$$

У результаті визначаємо тягову силу конвеєра:

$$W_0 = [0,025 \cdot 11,5 \cdot (14,85 + 15,85) + 14,85 \cdot 9,7] \cdot 1,15 + 0 = 3214,7 \text{ кг}.$$

Потужність на приводному валу розраховуємо:

$$N_0 = \frac{3214,7 \cdot 0,315}{102 \cdot 0,84} = 11,81 \text{ кВт}$$

Виходячи з розрахунків, вибираємо електродвигун 4AP180S4Y3

$$P_{\text{ном}} = 22 \text{ кВт}; \quad n_{\text{ном}} = 1497 \text{ об/хв}; \quad \eta_{\text{д}} = 0,9; \quad \cos \varphi = 0,87.$$

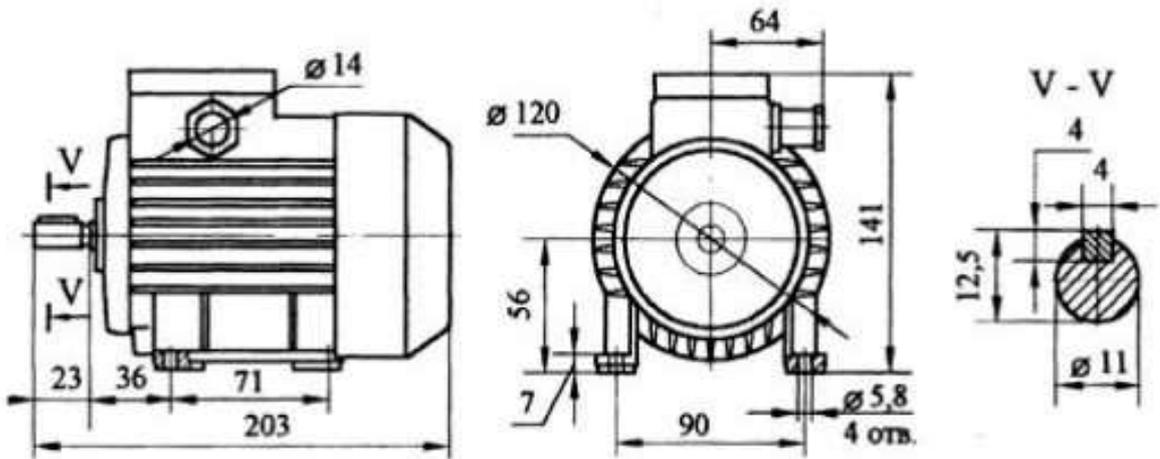


Рисунок 2.2 – Габаритні та присднувальні розміри електродвигуна 4AP180S4Y3

2.3 Розрахунок механічних характеристик електродвигуна приводу живильника

Вихідні дані електродвигуна 4AP180S4Y3: $P_{ном} = 22 \text{ кВт}$;

$n_{ном} = 1497 \text{ об/хв}$; $\eta_d = 0,9$; $\cos \varphi = 0,87$; $m_n = 2,0$; $m = 1,6$; $m_{до} = 2, 2$;

1. Номінальна кутова швидкість розраховується за формулою:

$$\omega_{ном} = \frac{2\pi \cdot n_{ном}}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1497}{60} = 156,7 \text{ рад/с}$$

2. Визначаємо швидкість ідеального холостого ходу за формулою:

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot n_1}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1500}{60} = 157 \text{ рад/с}$$

3. Визначаємо номінальний момент за формулою:

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}} = \frac{22 \cdot 10^3}{156,7} = 140,4 \text{ Н·м}$$

4. Визначаємо номінальне ковзання за формулою:

$$S_{ном} = \frac{(\omega_0 - \omega_{ном})}{\omega_0} = \frac{(157 - 156,7)}{157} = 0,0018$$

5. Визначаємо критичний момент за формулою:

$$M_{кр} = \lambda_{кр} \cdot M_{ном} = 2,2 \cdot 140,4 = 308,9 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

6. Визначаємо критичне ковзання АД за формулою:

$$S_{кр} = S_{ном} (\lambda_{кр} + \sqrt{\lambda_{кр}^2 - 1}) = 0,0018 \cdot (1,6 + \sqrt{1,6^2 - 1}) = 0,051$$

2.4 Вибір перетворювача частоти

Дані необхідні для розрахунку необхідної потужності статичного перетворювача частоти:

P_D - розрахункова потужність двигуна, кВт - 22; η_D - ККД двигуна - 0,9;

$P_{СПЧ}$ - розрахункова потужність статичного перетворювача частоти.

Розрахунок потужності:

$$P_{СПЧ} = \frac{P_D}{\eta_D} = \frac{22000}{0,9} = 24,4 \text{ кВт}$$

Як видно з проведених розрахунків отримано, що потужність статичного перетворювача частоти повинна бути не менше 24,4 кВт, з ряду статичних перетворювачів частот, що знаходяться у виробництві, нам необхідно вибрати з найближчою більшою величиною потужності щодо розрахункового значення.

Для частотного пуску асинхронного електроприводу живильного конвеєра молоткової дробарки вибираємо перетворювач частоти MICROMASTER 430, що випускається корпорацією Siemens.

Структурна схема ПЧ MICROMASTER 430 від фірми Siemens, представлена на рис.2.3. На схемі наочно показані базові принципи обміну даними всередині приводу, а також а також чітко позначені входу і виходу даного пристрою.

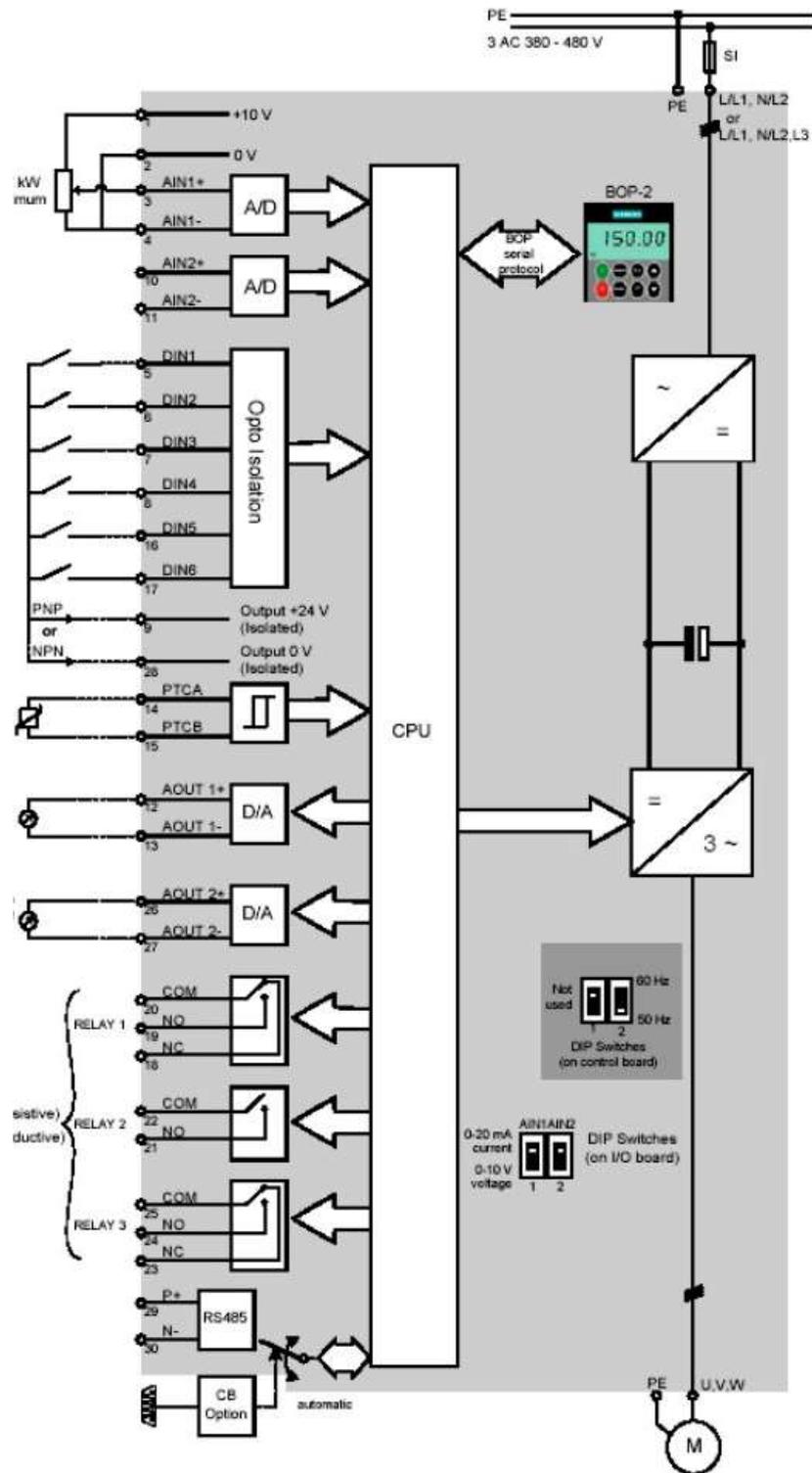


Рисунок 2.3 – Структурна схема ПЧ MICROMASTER 430

2.5 Технічні характеристики перетворювача частоти

Основні характеристики:

- легка установка;
 - швидке введення в експлуатацію;
 - короткий час відгуку на сигнали керування;
 - даний ПЛ виконує вимоги міжнародних норм електромагнітної сумісності;
 - володіє можливістю роботи в мережах з ізолюваною нейтраллю;
 - широкий діапазон параметрів, що надають можливість різного конфігурування для широких областей застосування;
 - просте та швидке кріплення проводів;
 - 3 вбудованих реле;
 - 6 ізолюваних перемикаються рпр/рпн дискретних входів;
 - 2 аналогові виходи (0 – 20 mA); - 2 аналогові входи:
- AIN 1 0-10В, 0 – 20 mA та -10...+10 В
- AIN 2 0-10В, 0 - 20 mA ;
- 2 аналогові входи можуть використовуватися як 7-й і 8-й дискретні входи;
 - функції VICO технології;
 - його модульна конструкція забезпечує широку гнучкість конфігурацій;
 - висока частота комутації для забезпечення безшумної роботи електродвигуна;
 - докладна інформація про поточний стан перетворювача частоти, наочне відображення виставлених параметрів і вбудовані функції повідомлень;
 - зовнішні опції для обміну даними з комп'ютером, базова панель оператора, (BOP-2) і для стабільного з'єднання PROFIBUS комунікаційний модуль.
- Спеціальні функції:
- каскадний запуск двигунів (через вбудовані реле);

- режим енергозбереження;
- режим Hand/Auto (Ручний/Автоматичний);
- режим визначення «сухого ходу» насоса;
- режим байпас;

Функціональні особливості:

- U/f закон управління;
- U/f з регулюванням потоку (FCC) для поліпшення динамічних характеристик і підвищення якості регулювання електродвигуна;
- багатоточкова V/f характеристика, що задається користувачем;
- миттєве обмеження струму (FCL) для роботи без відключення двигуна;
- вбудоване динамічне гальмування постійним струмом;
- комбіноване гальмування для покращення можливостей гальмування;
- програмований час розгону і гальмування з програмованою функцією згладжування;
- вбудований PID контролер; - перевантаження 110% протягом 59 секунд;
- пуск на обертовий двигун;
- можливість налаштування на три різні приводи; - вільні функціональні блоки.

Особливості захисту:

- захист від підвищеної та зниженої напруги;
- захист перетворювача від перегріву;
- захист від замикання на землю;
- захист від короткого замикання;
- захист від перегріву двигуна за втратами $I_2 t$;
- запобігання роботі з замиканням на корпус;
- можливість підключення РТС/КТУ датчиків для захисту двигуна.

3. РОЗРАХУНОК І ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Математична модель частотно-регульованого електроприводу

Векторні системи взаємодіють з узагальнюючими векторами та їх проєкціями на ортогональні осі. Дані вектори та їх проєкції дозволяють спростити систему рівнянь розрахунку завдання для асинхронного двигуна і проводити обчислення з їх проєкціями як зі скалярними величинами. Майже всі векторні систем управління включають тригонометричні і фазові перетворювачі. Тригонометричні перетворювачі дозволяють зробити перетворення проєкцій узагальнюючих векторів з однієї системи координат в іншу систему координат. Виходячи з того, що одна система координат нерухома і пов'язана зі статором, а інша систем а координат обертається синхронно з вибраним опорним вектором. Фазові перетворювачі перетворюють трифазну систему струмів і напруг у двофазну систему, а також ними здійснюється зворотне перетворення. Для проєкцій узагальнюючого вектора струму статора, перетворення з нерухомої системи координат $\alpha\beta$ у систему координат 1-2, що обертається, відбувається за формулами:

$$\left. \begin{aligned} I_{s1} &= I_{s\alpha} \cos \gamma + I_{s\beta} \sin \gamma, \\ I_{s2} &= I_{s\beta} \cos \gamma - I_{s\alpha} \sin \gamma, \end{aligned} \right\}$$

де γ - кут повороту системи, що обертається, координат відносно нерухомої системи.

Перетворення проєкцій з системи координат 1-2, що обертаються, в нерухому систему координат $\alpha\beta$ здійснюється за формулами:

$$\left. \begin{aligned} I_{s\alpha} &= I_{s1} \cos \gamma - I_{s2} \sin \gamma, \\ I_{s\beta} &= I_{s1} \sin \gamma + I_{s2} \cos \gamma. \end{aligned} \right\}$$

Для напруг і струмів статора при включенні двигуна "зіркою" перехід від трифазної системи до двофазної системи і зворотно відбувається за формулами:

$$\left. \begin{aligned} U_{s\alpha} &= U_A, \\ U_{s\beta} &= \frac{1}{\sqrt{3}}(U_B - U_C), \\ I_{s\alpha} &= I_A, \\ I_{s\beta} &= \frac{1}{\sqrt{3}}(I_B - I_C). \end{aligned} \right\}$$

Перехід від двофазної системи до трифазної здійснюється за формулами:

$$\left. \begin{aligned} U_A &= U_{s\alpha}, \\ U_B &= -\frac{1}{2}U_{s\alpha} + \frac{\sqrt{3}}{2}U_{s\beta}, \\ U_C &= -\frac{1}{2}U_{s\alpha} - \frac{\sqrt{3}}{2}U_{s\beta}, \\ I_A &= I_{s\alpha}, \\ I_B &= -\frac{1}{2}I_{s\alpha} + \frac{\sqrt{3}}{2}I_{s\beta}, \\ I_C &= -\frac{1}{2}I_{s\alpha} - \frac{\sqrt{3}}{2}I_{s\beta}. \end{aligned} \right\}$$

Прийнято, що систему координат, що обертається, орієнтують по вектору потокозчеплення ротора. При такому використанні функціональна схема електроприводу має найменшу кількість перехресних зв'язків, а вирази для визначення моменту, що обертає, і швидкості порівняно прості. При цьому найбільш просто здійснюється регулювання швидкості при стабілізації потокозчеплення ротора. Рівняння короткозамкнутого асинхронного електродвигуна, що обертається зі швидкістю вектора потокозчеплення ротора системі координат, мають вигляд:

$$\left. \begin{aligned}
 U_{s1} &= \frac{dI_{s1}}{dt} L'_s + K_r \frac{d\Psi_{rm}}{dt} - I_{s2} L'_s \omega_\psi + R_s I_{s1}, \\
 U_{s2} &= \frac{dI_{s2}}{dt} L'_s + I_{s1} L'_s \omega_\psi + K_r \Psi_{rm} \omega_\psi + R_s I_{s2}, \\
 0 &= \frac{d\Psi_{rm}}{dt} + \frac{R_r}{L_r} \Psi_{rm} - I_{s1} \frac{L_m R_r}{L_r}, \\
 0 &= \beta \Psi_{rm} - \frac{R_r L_m}{L_r} I_{s2}, \\
 M_d &= \frac{mp K_r}{2} \Psi_{rm} I_{s2},
 \end{aligned} \right\}$$

где $\beta = \omega_\psi - p\omega$.

Векторна діаграма представлена на рис. 3.1 представляє собою проекцію узагальнюючого вектора струму статора I_s на координатну вісь 1 (I_{s1}) визначального потокозчеплення ротора. У свою чергу проекція узагальнюючого струму статора на вісь 2 (I_{s2}) визначає електромагнітний момент двигуна. З цього випливає, що у векторній системі управління виникає можливість роздільного управління магнітним потоком і обертальним моментом.

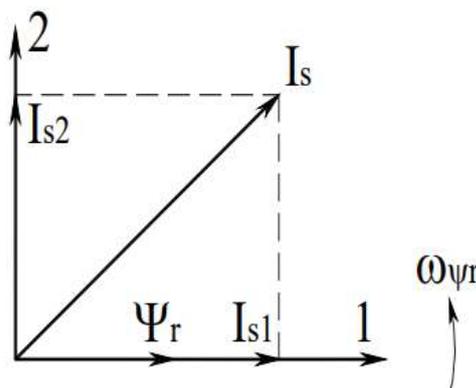


Рис.3.1 - Векторна діаграма

При роботі система управління повинна вирішувати завдання стабілізації магнітного стану двигуна, отже, потік ротора ψ_r і струм I_{s1} .

Для вирішення даної задачі, рівняння роторного ланцюга системи можна представити в наступному вигляді:

$$0 = \frac{R_r}{L_r} \psi_{rm} - \frac{L_m R_r}{L_r} I_{s1},$$

$$0 = (\omega_{\psi r} - p\omega) \psi_{rm} - \frac{L_m R_r}{L_r} I_{s2},$$

З рівняння випливає закон формування струму I_{s1} :

$$I_{s1} = \frac{1}{L_m} \psi_{rm}.$$

З рівняння обертального моменту системи випливає закон формування струму I_{s2} :

$$I_{s2} = \frac{2}{mpK_r} \cdot \frac{M}{\psi_{rm}}.$$

Рівняння служать основою для побудови векторної системи управління приводом з орієнтуванням по потоку ротора.

Схема моделі приводу з векторним управлінням при моделюванні в середовищі MATLAB представлена на рис.3.2. Схема блоку Vector control представлена на рис.3.3.

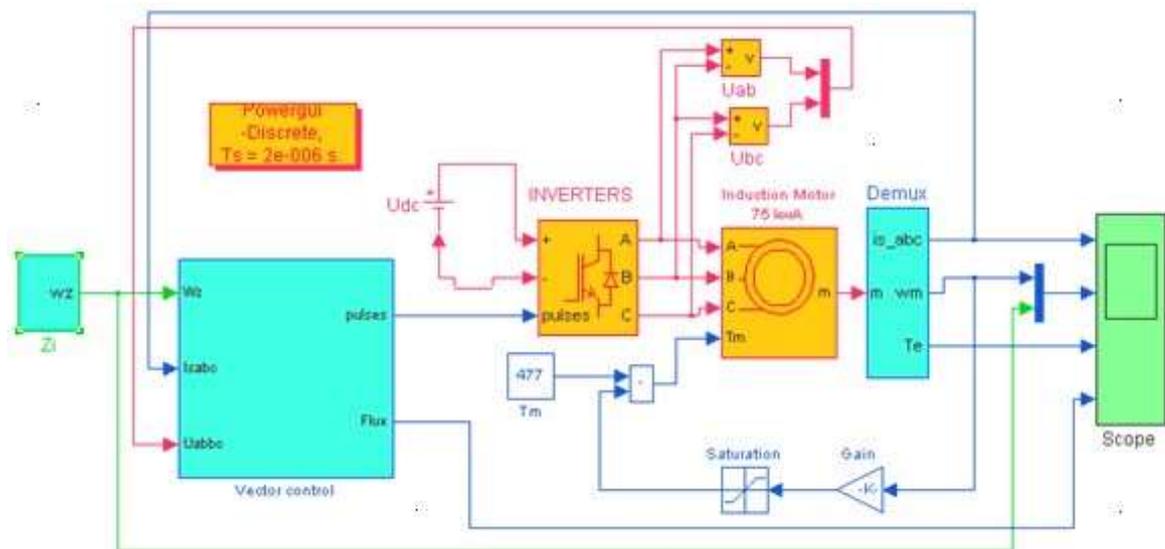


Рисунок 3.2 - Схема моделі векторної системи управління.

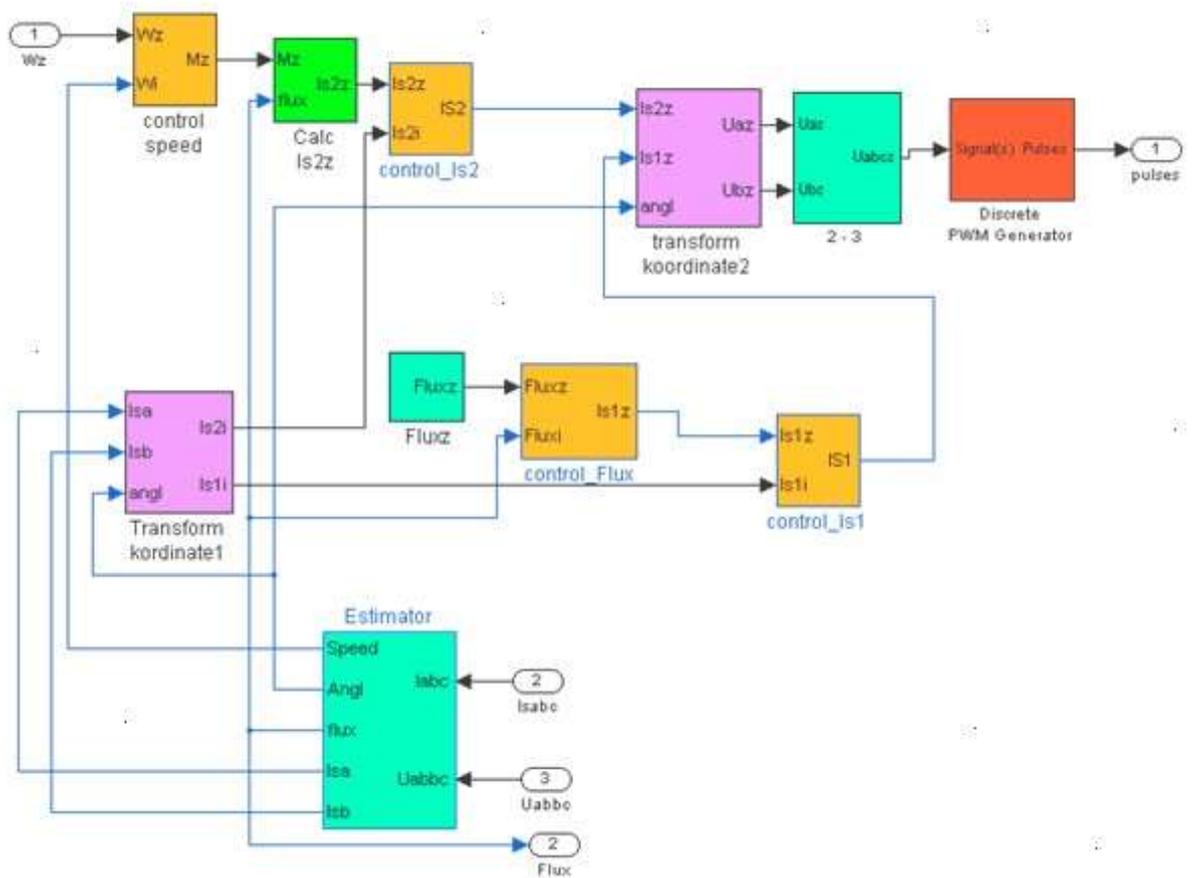


Рисунок 3.3 - Схема блоку Vector control .

3.2 Комп'ютерна модель електроприводу

Схема реалізації моделі в програмному середовищі Matlab представлена на рис.3.4.

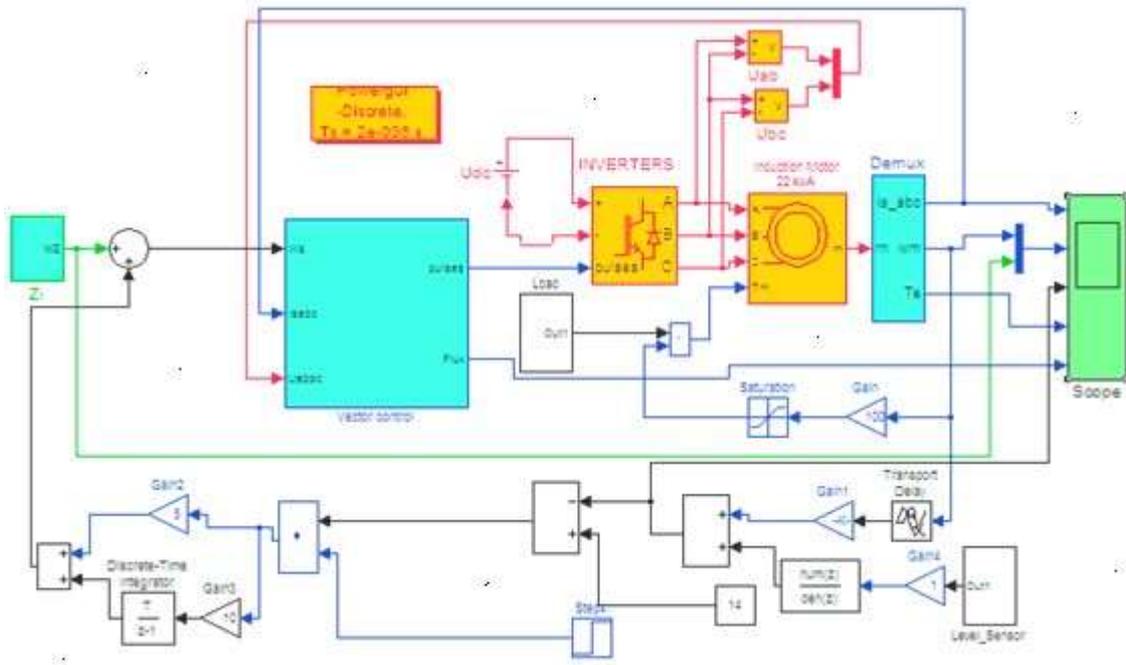


Рисунок 3.4 - Структурна схема моделі електроприводу в середовищі Matlab.

Для побудови моделі електроприводу використана схема моделі векторної системи управління (рис.3.2), яка дороблена необхідними елементами для емуляції роботи системи в цілому.

Структурна схема транспортної затримки представлена на рис.3.5. Цей елемент призначений для імітації часу між покиданням матеріалу конвеєром і попаданням його в зону дії датчика рівня.

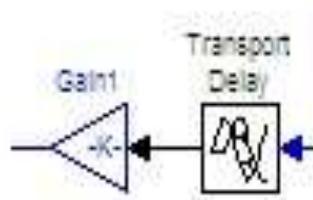


Рисунок 3.5 - Структурна схема транспортної затримки.

Блок імітації механічного навантаження представлений на рис.3.6. Цей блок реалізований з метою імітації роботи механічного навантаження на електродвигун.

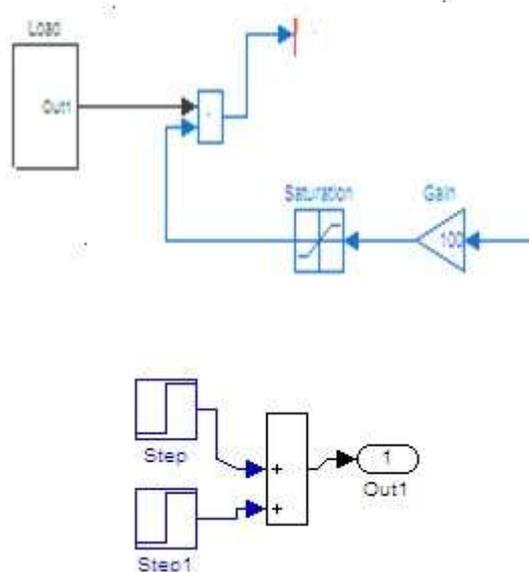


Рисунок 3.6 - Блок імітації механічного навантаження

Блок імітації датчика рівня представлений на рис.3.7. Включається на сьомій секунді роботи і імітує збільшення рівня. Вимикається на 15 секунд. Цей блок дозволяє оцінити якість роботи регулятора швидкості руху конвеєра живильника.

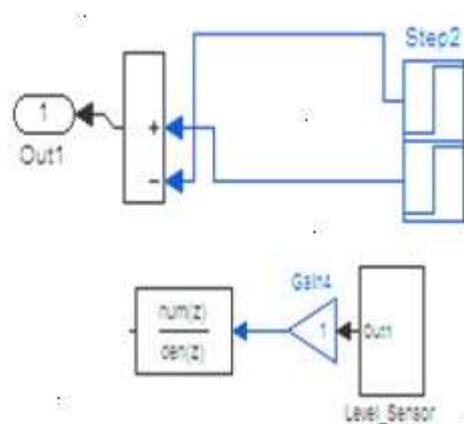


Рисунок 3.7 - Блок імітації датчика рівня.

Регулятор швидкості руху живильника. Регулятор представлений на рис.3.8. Регулятор забезпечує ПІ-закон регулювання. Включається через 4 секунди після старту і дозволяє змінювати завдання за швидкістю в залежності від рівня завантаження дробарки.

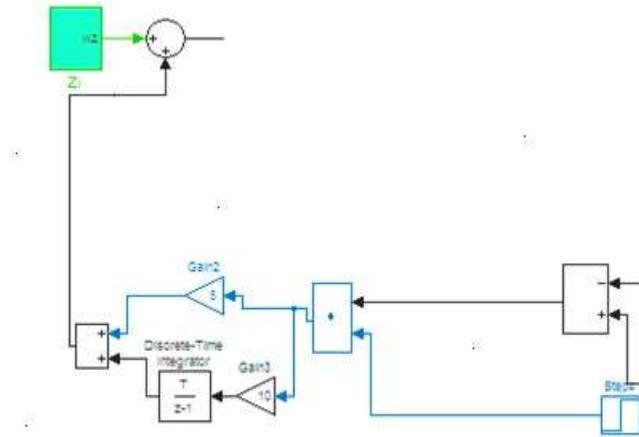


Рисунок 3.8 - Блок регулятора швидкості руху живильника

Ланцюг регулювання швидкості руху конвеєра в залежності від завантаження дробарки. Ланцюг представлений на рис.3.9. Дана конструкція складається з задавача швидкості, вимірювача параметрів двигуна, блоку імітації рівня дробарки, ПІ-регулятора, блоків підсумовування і блок завдання константи, даний блок імітує завдання на необхідного рівня завантаження.

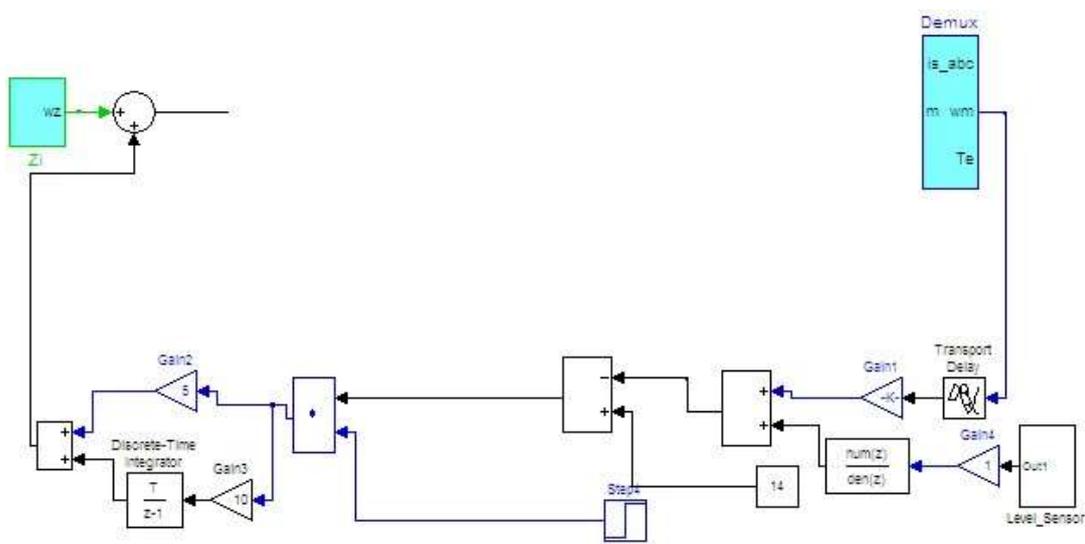


Рисунок 3.9 - Ланцюг регулювання швидкості руху конвеєра в залежності від завантаження дробарки

На рис.3.10 зображений блок асинхронної машини, який може працювати як в генераторному, так і в руховому режимі. Режим його роботи описується знаком механічного моменту (позитивний для двигуна, від'ємний для генератора). Електрична частина машини представлена моделлю четвертого порядку і механічною частиною системою другого порядку. Усі електричні змінні та параметри відносяться до статора.

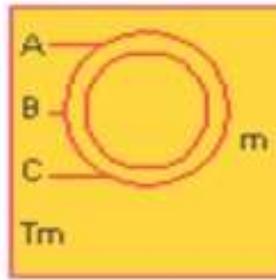


Рисунок 3.10 - Блок асинхронного двигуна

Блок вимірювання параметрів двигуна представлений на рис.3.11. Він вимірює струми статора, швидкість ротора і момент на валу двигуна.

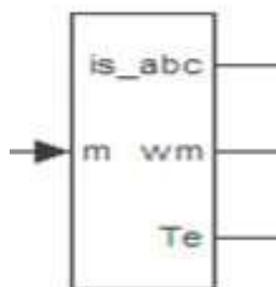


Рисунок 3.11 - Блок вимірювання параметрів двигуна.

Для перевірки працездатності системи, а також з метою отримання графіків з подальшим їх аналізом, час розгону обрано рівним одній секунді. А на четвертій секунді симуляції в роботу включається ПІ - регулятор рівня. Відповідно до завдання (блок константи), він змінює завдання за швидкістю для Vector control. На сьомій секунді в роботу включається імітатор рівня в дробарці і змінює поточне завдання за рівнем в дробарці. ПІ-регулятор починає регулювати отримане завдання за швидкістю, щоб відпрацювати вплив і виставити рівень відповідний заданому. У зв'язку з цим рівень спочатку росте, що викликає зменшення частоти обертання електродвигуна приводу живильника. Після закінчення 15 секунд симуляції рівень приймає вихідне положення, що у свою чергу змінює завдання для ПІ-регулятора рівня. Швидкість обертання електродвигуна знову наростає. На рис.3.12 представлений хід емуляції роботи моделі.

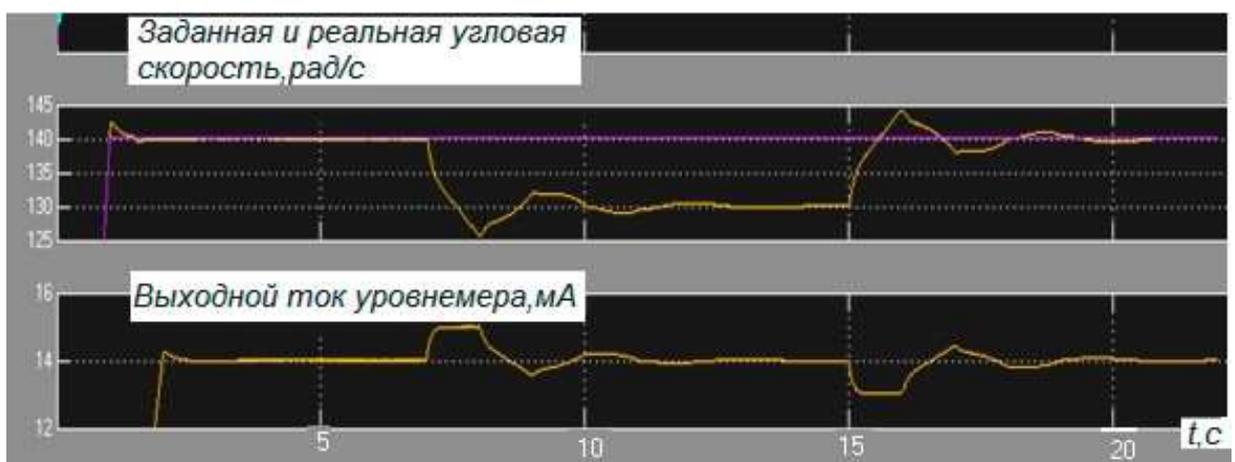


Рисунок 3.12 - Перебіг емуляції роботи моделі.

3.3 Розрахунок налаштувань ПІ-регулятора

Регулятор налаштовується на технічний оптимум. Це означає, що перерегулювання не повинно перевищувати 5%, цій настройці відповідає: T_{II} рівна найбільшій постійній часу. Як дана постійна використовується електромеханічна постійна часу:

$$T_{II} = 2 \cdot T_{\mu} \cdot K_{ПЧ} \cdot K_{ДВ} \cdot K_{ДУ}$$

Електромеханічна постійна часу знаходиться за допомогою моделювання в програмі MatLab процесу прямого пуску асинхронного двигуна. Графік швидкості апроксимується перехідним процесом, що відповідає аперіодичному ланці першого порядку.

Для розрахунку параметрів ПІ-регулятора, контур регулювання можна представити наступною передатною функцією (рис.3.13).

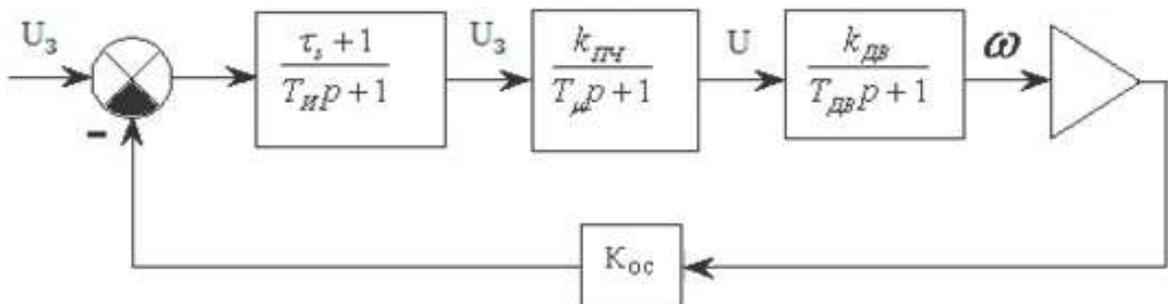


Рисунок 3.13 - Передаточна функція

У цьому контурі коефіцієнт посилення розраховується за формулою:

$$K = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}}$$

де $U_{\text{вих}}$ - сигнал на виході; $U_{\text{вх}}$ - сигнал на вході.

Для перетворювача частоти:

$$K_{ПЧ} = \frac{380}{10} = 38$$

Для двигуна:

$$K_{дв} = \frac{154,2}{380} = 0,4$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку:

$$K_{зв} = \frac{14}{154,2} = 0,09,$$

$$K_{ос} = \frac{20}{14} = 1,42,$$

Передатна функція перетворювача частоти:

$$W(p) = \frac{K_{пч}}{(T_{\mu}p + 1)} = \frac{K_{пч}}{(0,01p + 1)},$$

Передатна двигуна приводу живильника:

$$W = \frac{K_{дв}}{(T_{дв}p + 1)} = \frac{K_{дв}}{(0,76p + 1)},$$

де постійна часу живильника:

$$T_{дв} = T_{пит} = \frac{J \cdot \omega \cdot (1 - S_H)}{M_{ном}}.$$

Для мас, що рухаються поступово

$$J_{\Sigma} = J_{дв} + J_{екв},$$

$$J_{\Sigma} = 0,804 + 0,093 = 0,897$$

$$J_{екв} = m \left(\frac{v}{\omega} \right)^2,$$

$$J_{екв} = 0,00103 \cdot \left(\frac{133,7}{14} \right)^2 = 0,093$$

$$\text{где } m = L \cdot H \cdot B \cdot \rho_t,$$

L - Довжина живильника;

H - висота насипу матеріалу;

B - ширина стрічки живильника;

ρ - насипна щільність руди. $\rho = 1,5 \text{ кг/м}^3$

v - швидкість живильника.

$$m = L \cdot P \cdot \beta \cdot \rho \cdot 10^{-5} = 11,5 \cdot 9,7 \cdot 0,6 \cdot 1,5 = 0,001003 \text{ кг/м}^3$$

$$T_{ДВ} = T_{шт} = \frac{0,897 \cdot 156,7 \cdot (1 - 0,0018)}{140,4} = 1 \text{ с}$$

Передаточна функція розімкнутого контуру:

$$W(p)_{раз} = \frac{\tau_s + 1}{T_u p} \cdot \frac{K_{ПЧ}}{(T_\mu p + 1)} \cdot \frac{K_{ДВ}}{T_{ДВ} p + 1} \cdot K_{Ду}$$

$$W(p)_{зам} = \frac{W_{раз}(p)}{1 + W_{раз}(p) \cdot K_{ОС}}$$

Для компенсації найбільшої постійної часу постійну часу регулятора приймаємо рівної постійної часу живильника:

$$S = T_{ДВ} = 1 \text{ с}$$

Характеристичне рівняння САУ при розрахунку на критерій «технічний оптимум» має вигляд: $2 T_p^2 + 2 T_p + 1 = 0$. Замкнений контур буде відповідати критерію «технічний оптимум», якщо

$$\frac{T_{II}}{K_{II} K_{\delta} K_{ОС}} = 2 T_\mu$$

Постійна часу інтегрування T_I :

$$T_{II} = 2 \cdot T_\mu \cdot K_{ПЧ} \cdot K_{ДВ} \cdot K_{Ду} = 2 \cdot 0,01 \cdot 38 \cdot 0,4 \cdot 0,09 = 0,0276 \text{ с}$$

3.4. Програма для контролера

Як загальне управління приводом використовується мікроконтролер фірми Siemens серії S7-200.

Серія S7-200 - це ряд програмованих логічних контролерів, що керують різноманітними прикладними системами автоматизації. Компактна

конструкція, можливість розширення, низька вартість і широка система команд мікроконтролерів S7-200 дозволяють вирішувати велику кількість завдань управління. Крім того, різноманіття додаткових модулів забезпечують необхідну гнучкість при вирішенні задач автоматизації.

Мікроконтролер S7-200 складається з центрального процесора CPU S7222, схема зовнішніх підключень представлена на рис.3.14, який можна використовувати самостійно або з підключеними до нього додатковими модулями розширення системи введення-виведення.

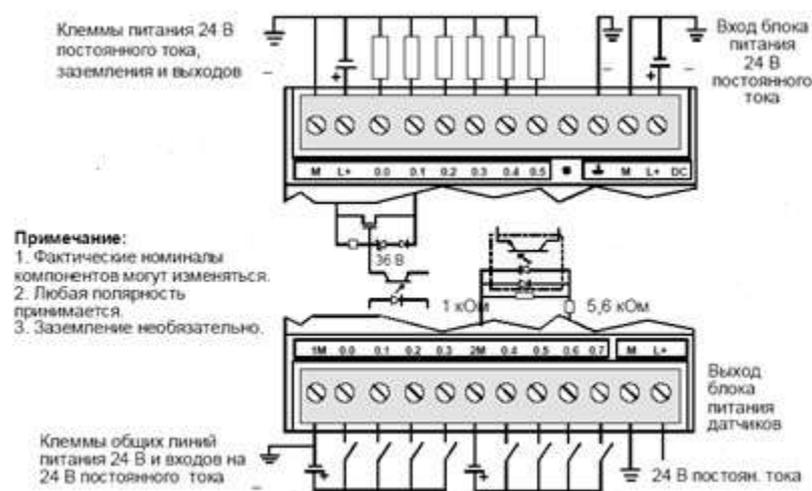


Рисунок 3.14 - Функціональна схема мікроконтролера S7-200

Згідно з побудованою системою, для функціональної реалізації алгоритму управління пуском приводу, на мікроконтролері S7-200, розроблена проста програма в програмній оболонці Micro WIN SP1 V3.1 STEP7. Мікроконтролер, вбудований в систему управління, за програмою здійснює: перевірку блокувань, пуск приводу з заданою інтенсивністю розгону і гальмування від аналогового датчика рівня сировини в дробарці, а також дозволяє здійснити зупинок.

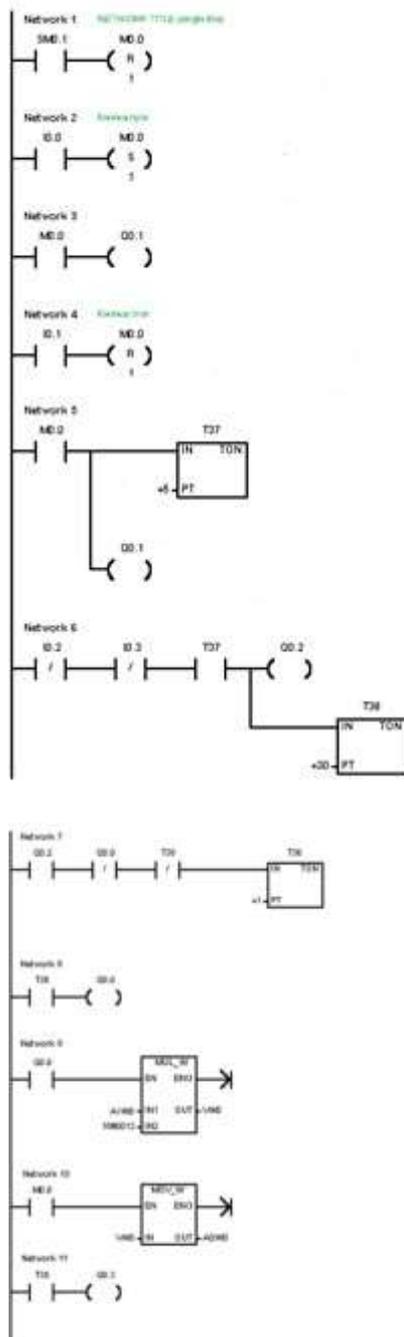


Рисунок 3.15 - Програма мікроконтролера S7-200

До контролера підключена кнопка «пуск» (вхід I0.0), кнопка «стоп» (вхід I0.1) контакти блокувань (входи I0.2, I0.3). Виходи контролера Q0.1, Q0.2, Q0.3 з'єднані з сигнальними лампами. Вихід контролера Q0.0 керує магнітним пускачем приводу. Аналоговий вихід контролера AQW0 є сигналом завдання по швидкості для системи управління автономним інвертором, а на аналоговий вхід AIW0 надходять дані з датчика рівня сировини в дробарці.

ВИСНОВКИ

У представленій роботі спроектована система автоматизації конвеєра подачі матеріалу в дробарку. Здійснено вибір типу конвеєра. Вибраний стрічковий конвеєр. Виходячи з вимог до матеріалів був обраний електродвигун 4AP180S4Y3. Вибраний і введений преобразователь частоти MICROMASTER 430, так як він володіє необхідним набором функцій. Зроблено моделювання електроприводу з векторним управлінням. Розроблена і реалізована, за допомогою пакета програм MATLAB. Так само була розроблена система управління електроприводом живильного конвеєра через контролер S-200.

Частотне управління двигунами змінного струму є економічним, оскільки воно дозволяє зберегти високий ККД двигуна, забезпечує як рухові, так і гальмівні режими роботи, хорошу жорсткість характеристик і, що найголовніше.

Використання цього способу регулювання дозволяє знизити енергоспоживання тим самим зменшити експлуатаційні витрати, а також автоматизувати процес завантаження матеріалу в дробарку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Д. : Донбас, 2007. — Т. 2 : Л — Р. — 670 с. — ISBN 57740-0828-2.
2. Смирнов В. О., Білецький В. С. Підготовчі процеси збагачення корисних копалин. [навчальний посібник]. — Донецьк: Східний видавничий дім, Донецьке відділення НТШ, 2012. — 284 с.
3. https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D0%B0_%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%B1%D0%B0%D1%80%D0%BA%D0%B0
4. Хмара Л. А. Дробильно-сортувальні заводи і устаткування: навч. посіб. / Л. А. Хмара, О. С. Шипілов, О. Г. Онищенко. — Д. — Полтава: ПолтНТУ, 2009. — 209 с.
5. ATmega16.- San Jose.: Atmel Corporation, 2010. — 357с.
6. CMOS Switched-Capacitor Voltage Converters.-Norwood.: Analog Devices, Inc., 2011. — 15с.
7. IRF7105 HEXFET® Power MOSFET.-Kansas.: International IOR Rectifier, 2009 — 9с.
8. IRL3705N HEXFET® Power MOSFET.-Kansas.: International IOR Rectifier, 2009 — 8с.
9. Maxon drive systems. -Sachseln, 2009. - 358с.
- 10.µA7800 SERIES POSITIVE-VOLTAGE REGULATORS.-Dallas.: Texas Instruments Incorporated, 2004. — 13с.
- 11.Киркач Н. Ф. Расчет и проектирование деталей машин: Учеб. пособие для техн. вузов. — 2 е изд., перераб. и доп. / Киркач Н. Ф., Баласанян Р. А. — Харьков: Вища школа, т.1 — 1987. — 134 с., т.2 — 1988. — 142 с.
- 12.Борщев, В.Я. Оборудование для переработки сыпучих материалов: учебное пособие / В.Я. Борщев, Ю.И. Гусев, А.С. Тимонин. — М.: «Издательство Машиностроение-1», 2006. — 208 с.

ДОДАТКИ

1 GENERAL INFORMATION

1.1 Description of the technological process

The line for obtaining cube-shaped crushed stone is a system consisting of open crushing and sorting units on the sites of crushed stone and asphalt concrete plants. It is used to obtain crushed stone I group (cubic) is crushed stone, the content of deciduous trees grains (the thickness or width of which is three or more times less than the length) in which no more than 10-15%. Lightness is one of the most important characteristics of crushed stone quality. Crushed stone of a cubic shape has greater strength, and also provides the most dense compaction, which entails minimal consumption of material. Therefore, the use of cubic crushed stone in production is more economical and expedient. In fig. 1.1 shows the technological diagram of the cubic crushed stone production line.

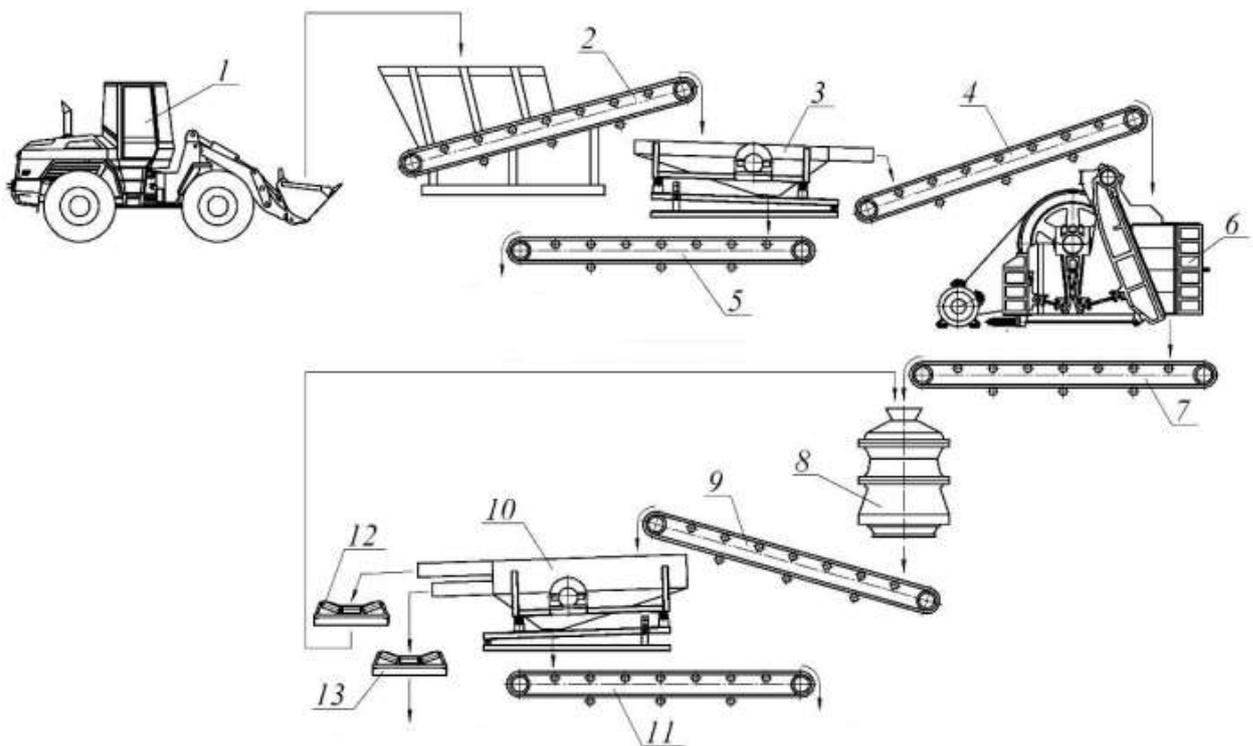


Figure 1.1 – Technological scheme of the cubic crushed stone production line

1 – front loader, 2 – chain feeder, 3, 10 – booms, 4, 5, 7, 9, 11, 12, 13 – belt conveyors, 6 – jaw crusher, 8 – cone crusher

The starting rock (Fig. 1.1) is loaded into the hopper of the chain feeder 2 using the front loader 1 for uniform feeding. After that, it gets to the boom 3, in which the

distribution of raw materials takes place. The raw material of the small fraction enters the belt conveyor (LC) 5 and goes to screening. The remaining raw material moves along LC 4 and falls into the jaw crusher 6 for the first stage of crushing. Then the rock moves through the LC 7 and falls into the cone crusher 8 for the second stage of crushing into finer fractions. From the cone crusher, the rock 8 falls on the LC 9 and then on the rumble 10 for sorting. The finished product of the established fraction enters LC 13, the rock of fine fraction enters LC 11 and is screened, and the larger fraction LC 12 is sent back for further grinding in cone crusher 8, which allows to significantly reduce the number of deciduous crushed stone grains in finished products.

In the technological process of cubic crushed stone production, crushing units 6, 8 perform the main technological operations. Let's consider in detail the principle of operation and construction of these installations.

1.2 Design and principle of operation of a jaw crusher

The jaw crusher is a universal machine for large, medium and fine crushing. It is used on non-metallic materials of any strength and practically all varieties. Application is impossible on viscoelastic materials, such as wood, polymers, certain metal alloys.

In the construction materials industry, jaw crushers are most often used for large and medium crushing of lump materials. They are characterized by simplicity, reliability of construction and easy maintenance.

By arrangement, jaw crushers are divided into two groups: with simple (SHDP) and complex cheek swing (SHDS) (movement of both one cheek and two cheeks is possible). The design of the SHDP allows you to create relatively greater loads on the material being crushed than in the SHDS.

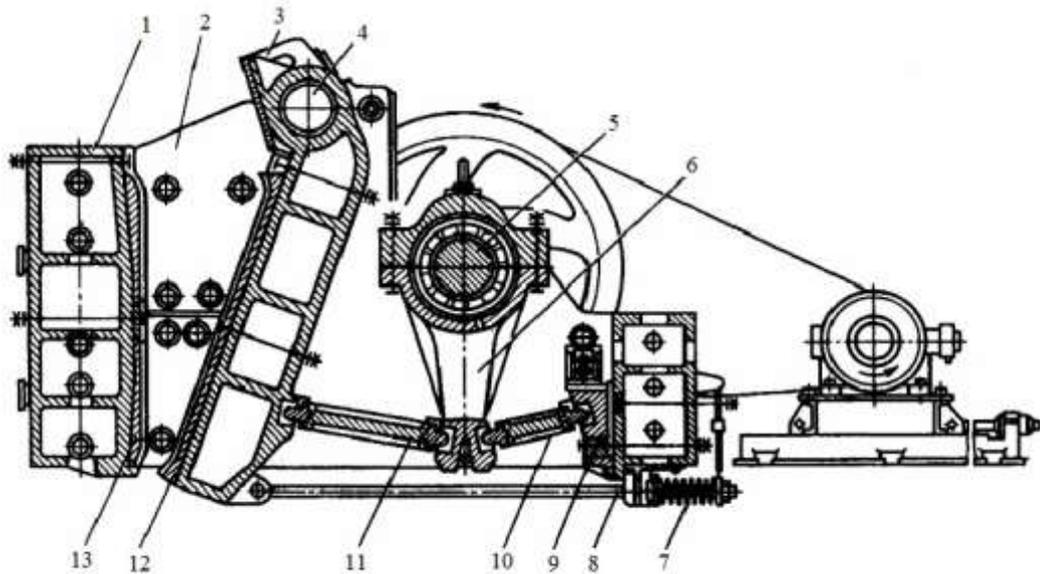


Figure 1.2 – Design of a jaw crusher with a simple jaw movement

1 – side walls of the bed, 2 – variable plates, 3 – movable cheek, 4 – axis of the movable cheek, 5 – eccentric part of the shaft, 6 – connecting rod, 7 – spring, 8 - thrust, 9 - stop, 10, 11 - spacer plates, 12, 13 - crushing plates

In fig. 1.2 shows a typical construction of a crusher for large crushing with a simple movement of the cheek. The movable cheek 3, the axis 4 of which is installed in sliding bearings fixed on the side walls of the bed 1, receives oscillating movements through the spacer plates 10 and 11 from the connecting rod 6, suspended on the eccentric part of the shaft 5, which is driven into rotation by the electric motor through the V- belt . The working surfaces of the cheeks are lined with interchangeable crushing plates 12 and 13. The side walls of the crushing chamber are also lined with interchangeable plates 2.

In the process of operation, there is a need to adjust the width of the output gap of the crushing chamber. For this purpose, in large crushers, spacers of different thicknesses are installed between stop 9 and the back wall of the bed.

The guaranteed closing of the links of the drive mechanism of the movable cheek in crushers with breakable spacer plates is carried out by spring 7 and rod 8 [1].

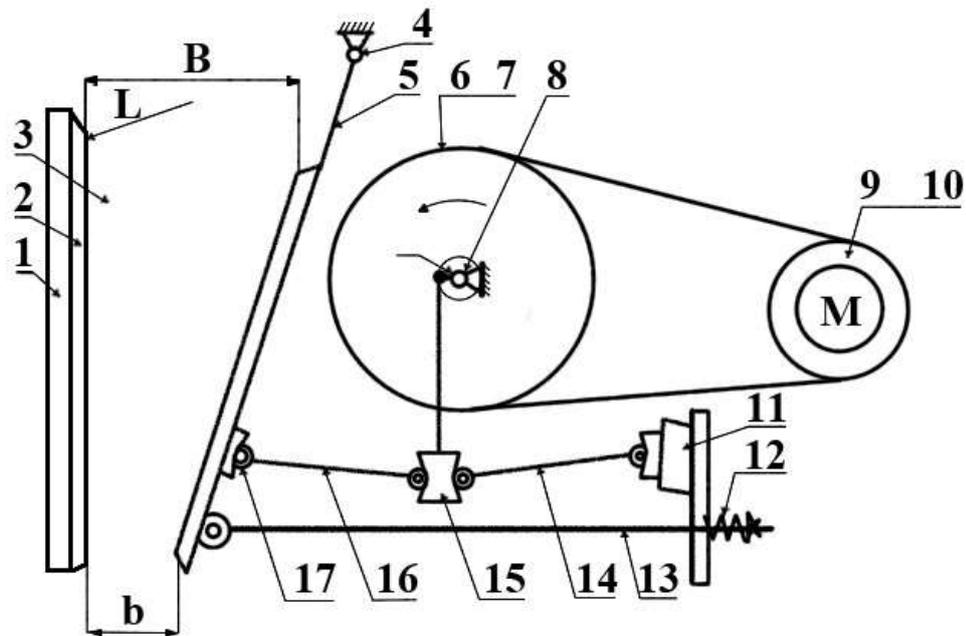


Figure 1.3 - Kinematic diagram of a jaw crusher with a simple movement of the jaw

1 – stationary cheek, 2 – fractional plate, 3 – side wall, 4 – axis of suspension of movable cheek, 5 – movable cheek, 6 – pulley, 7 – flywheel, 8 – eccentric shaft, 9 – guide pulley, 10 – electric motor, 11 – adjusting device, 12, 13 – spring and thrust of the closing device, 14, 16 – spacer plates, 15 – connecting rod, 17 – rolling bearings.

The crusher drive (Fig. 1.3) consists of an electric motor and a V-belt transmission. The crusher works in the following sequence. Rotation is transmitted from the electric motor to the pulley through a V-belt transmission flywheel mounted on an eccentric shaft.

The large mass of moving parts makes it difficult to start the crusher, creating a very large starting torque. Therefore, large crushers have a step-by-step start, which is carried out by successive introduction of the flywheel pulley into operation, then through the friction clutch of the eccentric shaft with the connecting rod, and then through the second friction clutch of the second flywheel.

When the eccentric shaft rotates, the connecting rod makes a reciprocating movement in the vertical plane. During the upward movement of the connecting rod, the ends of the spacer plates move with it. The latter, straightening (due to the increase in the angle between the plates), begin to press on the back wall of the bed and the movable cheek, moving the latter towards the stationary cheek. The material loaded into the crushing chamber is subject to crushing. When the connecting rod moves down, idle speed occurs. The idle energy of the electric motor is accumulated by the flywheels and used during the working stroke. During idling, the cheek moves back under the action of the component force of its gravity and the springs of the locking device [1].

1.3 Design and principle of operation of a cone crusher

Cone crushers are used in all stages of crushing when processing a wide variety of materials, both in terms of the size of the crushed material and the variety of physical and mechanical properties. The crushing organs are a fixed truncated cone and a moving crushing cone located inside it, the axis of which is deviated by an angle γ from the axis of the fixed cone, which rotates relative to the axis of the fixed cone. The volume between these surfaces forms a crushing chamber. When feeding the material into the chamber, the crushing cone rolls over pieces of material, crushing and breaking them, since the working surfaces have curvature.

According to their technological purpose, they are divided into crushers: coarse (K K D), medium (KSD) and shallow (KMD) crushing.

The main parameter of KSD and KMD type crushers is the diameter of the lower base of the moving cone.

Crushers with a suspended shaft, a supporting rammer, and a cantilever shaft are distinguished by a structural feature - the way the crushing cone shaft is supported. The latter design is used in KSD and KMD machines.

The crusher (Fig. 1.4) consists of a frame 4 with a support ring 6 and safety springs 5, an eccentric 1 installed in the central glass of the frame on a four-disk support 2.

Through conical gears, the eccentric is connected to the drive shaft 16, located in the horizontal nozzle of the bed 4. The conical shank of the shaft 13 of a small cone, which rests on the spherical support of the support bowl 3, is connected to the conical hole of the eccentric 1 [2].

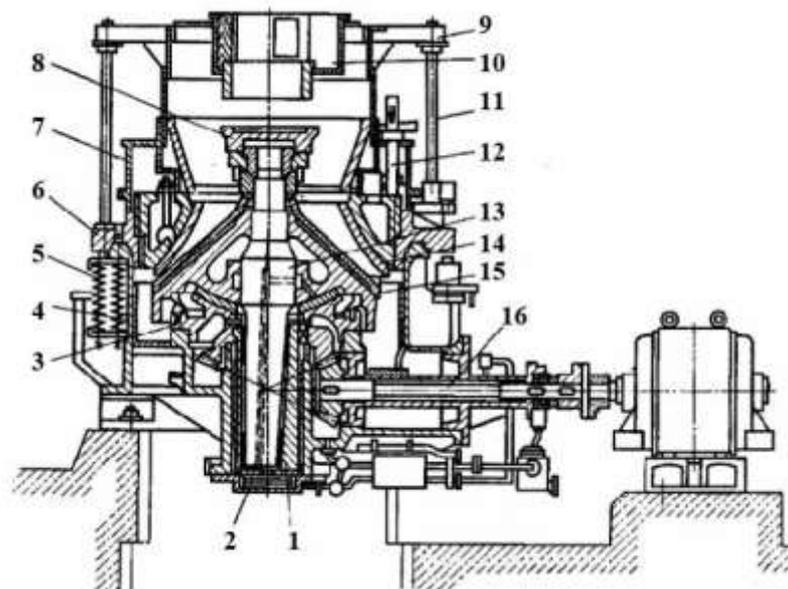


Figure 1.4 – Construction of the KMD with a cantilever shaft

The working chamber of the crusher is formed by the outer surface of the crushing cone, lined with armor 15 made of high-manganese steel, and the inner surface of the fixed armor 14 of the regulating ring, which is connected by a tight thread to the load support ring of the ring by columns 12 with wedges. The wedges rest on a casing 7 mounted on a support ring 6. In the upper part of the crusher there is a hermetic loading device 9, mounted on four racks 11 and a bed 4. The output material enters the receiving box 10 of the loading device and is poured onto the distribution plate through a nozzle cone.

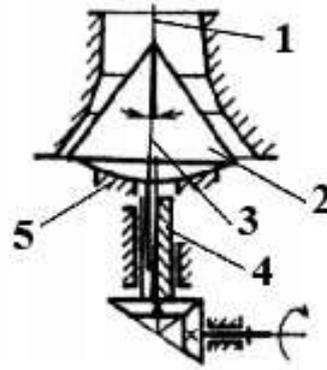


Figure 1.5 – Kinematic diagram of a cone crusher with a cantilever shaft 1 – rolling center, 2 – moving cone, 3 – cone shaft, 4 – eccentric sleeve, 5 – spherical support

The movable cone (Fig. 1.5) of a flat shape 2 is rigidly attached to the shaft 3, the lower end of which is inserted into the eccentric sleeve 4 so that the axis of the shaft forms a certain angle with the axis of rotation (axis of the crusher), called the angle of precession. The movable cone of the crusher rests on a spherical support 5. The shaft of the cone has no upper attachment. The eccentric sleeve receives rotation from the drive device, while the movable cone receives a rocking motion. The rolling center 0 is at the top at the point of intersection of the axis of the shaft and the axis of the crusher [2].

Thanks to the rolling of the distribution plate, uniform loading of the working space is ensured. As a result, when the cones converge, the material is crushed, and when they diverge, it is discharged.

A characteristic feature of KSD and KMD crushers is the crushing of a parallel zone in the chamber, i.e. the area where the gap between the forming cones is constant. This ensures the production of a homogeneous product close to the size of the gap [1].

1.4 Design and principle of operation hammer crushers

In hammer crushers, the material is crushed mainly by the impact of hammers, which are suspended from a rotor that rotates in the working space of the crusher, limited by a body lined with armor plates. Additional (secondary) crushing of the material is carried out when the lump hits the armor plates of the crusher body. Crushing of the material takes place until its grains cannot pass through the slits of the grate.

The productivity of hammer and rotary crushers depends on their structural and mechanical parameters (diameter, length and frequency of rotation of the rotor; number, mass and number of hammers; location and shape of the baffle plates; method of loading and depth of penetration of lumps into the rotor zone). Productivity also depends on the physical properties of the crushed material (strength, content of clay substances, moisture, coarseness of the original and crushed products). There is a relationship between the performance of the crusher, the pulverization of the raw material, the degree of crushing and the power of the electric motor. Under constant conditions of crushing, with increasing productivity, the degree of crushing decreases and vice versa. There is no theoretical formula for calculating the productivity of hammer and rotary crushers. Various empirical formulas are used for the targeted calculation of the productivity of hammer and rotary crushers. [3].

When the strength, viscosity, and moisture content of the crushed material increases, and the coarseness of the crushed product decreases, the productivity of the hammer crusher decreases. With uniform feeding, higher productivity of the crusher is ensured.

Hammer and rotary crushers require careful balancing of the rotor. The loading speed of the source material should be chosen depending on the speed of rotation of the rotor. The width of the gap between the grates and the distance between the grate and the ends of the hammers are chosen depending on the required coarseness of the crushed product and the moisture content of the source material. The width of the gap between the grates should be 5-6 times larger than the grain size of the crushed

product when crushing up to 6 mm and 1.5-2 times when crushing up to 50 mm. When crushing wet materials with clay admixtures, the distance between grates is increased or they work without them.

Types of construction. Hammer crushers are distinguished:

- Single-rotor : non-reversible; reversible
- Two-rotor : parallel crushing; sequential crushing.

Hammer crushers are manufactured with and without grates. Crushers with grate grates are mainly used for fine crushing, they are designed to obtain a crushed product of a certain size. Hammer crushers without grates produce a crushed product of a given size due to the increased speed of rotation of the rotor . Hammer crushers are available with the rotation of the rotor in one direction and reversible. According to the number of working shafts, hammer crushers are divided into single- and two-rotor crushers .

Hammers used in hammer crushers have different shapes and weights (from 3.5 to 15 kg or more). The greater the coarseness of the starting material, the greater the mass of the hammer with a smaller number of them and vice versa.

A single-rotor non-reversible hammer crusher (Fig. 1.6) of type M consists of the following main components: a body , a rotor, baffle plates and a grate [3].

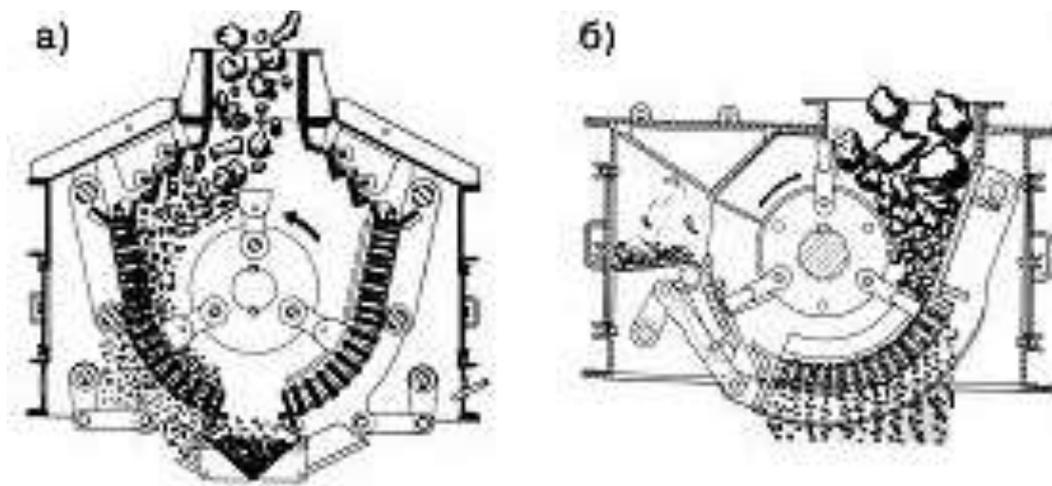


Figure 1.6 – Reversible (a) and non-reversible (b) hammer crusher

The upper 1 and lower 2 parts of the body are cast or welded from rolled or sheet steel. Near the side walls of the housing there are bearings in which the shaft 6

of the rotor 3 rotates. The rotor is a prefabricated structure: the disks are rigidly fixed to the shaft 6, each of them has six holes through which the rods 5 are passed, which serve as axes for hinged hammers 4 .

The upper part of the case is lined with baffle plates 7. In the lower part of the case there is a grate 8, which occupies 135–180 ° circles, described with hammers. The raw material is destroyed by the blows of hammers, blows against lining plates, crushing and abrasion on the grate. The crushed product is unloaded under the crusher through the grate. The grating grates are made of 60C2 or 45X steel and can have a different shape, but most often it is trapezoidal with an expansion of the gap in the unloading direction at an angle of 10 — 20 °. They are inclined to the radius of the rotor at an angle of 40 — 50 ° in the direction of the movement of the material, which reduces the sticking of the grid when crushing materials with increased humidity.

The hinged fastening of the hammers allows you to avoid damage when non-crushing objects fall into the working space of the crusher, because in this case the hammers are deflected at some angle.

A single-rotor reversible hammer crusher (Fig. 1.7) of the DMRE type consists of a welded body 5, a rotor 2 and a grate 7. The possibility of adjusting the position of the grate using a special mechanism is provided [3].

The rotor shaft 1 rests on bearings fixed on the crusher frame. The rotation of the rotor shaft is obtained from the electric motor, with which it is connected by a clutch. On the shaft 1, the discs of the rotor 2 are immovably fixed, through the holes 2 of which the rods with hammers 4 loosely attached to them are passed.

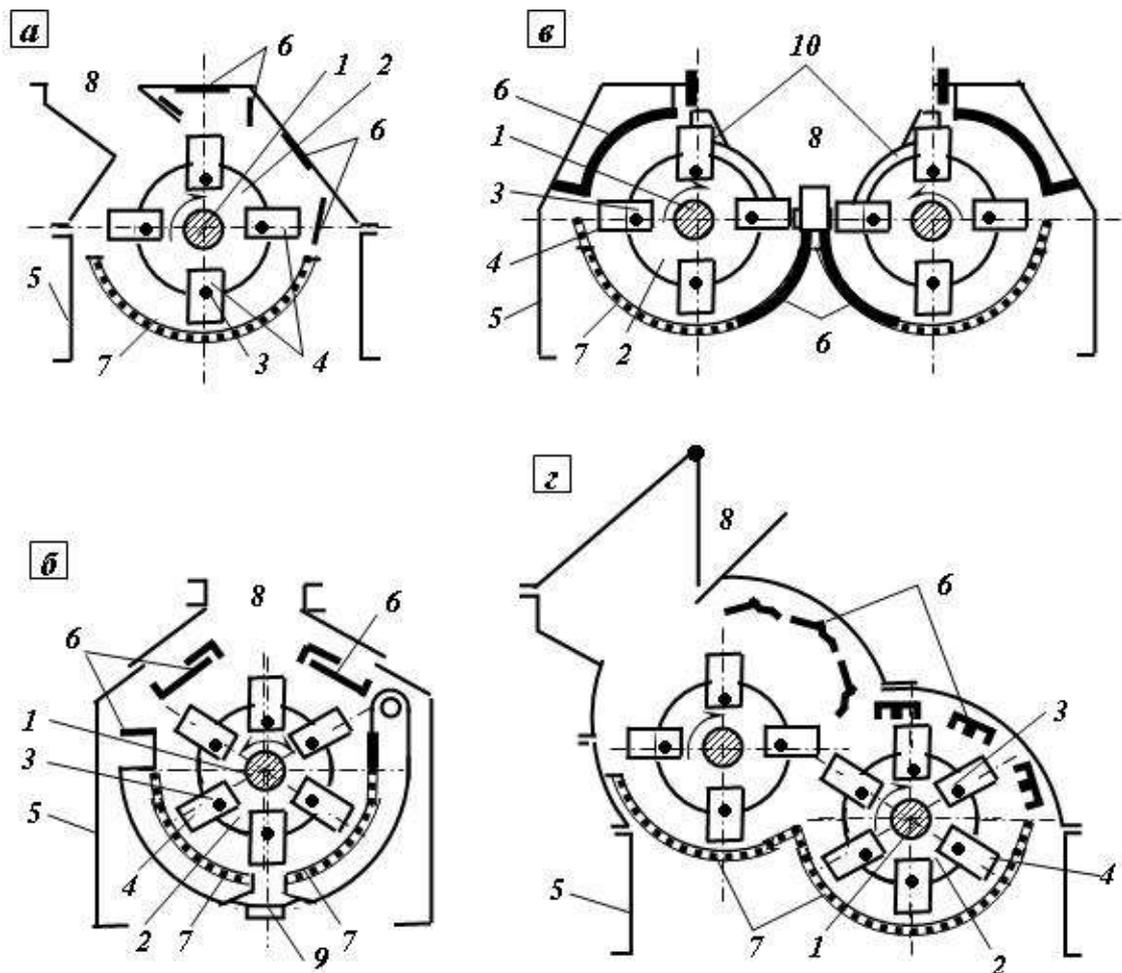


Figure 1. 7 - Schemes of the main types of hammer crushers

Single-rotor : a - non-reversible, b - reversible

Two-rotor : c – parallel crushing, d – sequential crushing

1 – horizontal shaft, 2 – rotor, 3 – axes of hammers, 4 – hammers, 5 – crusher body,
6 – lining plates, 7 – grate, 8 – loading funnel, 9 – catching chamber, 10 – shaped
grates

The raw material through the loading hole 8 enters the working space of the crusher, where as a result of multiple blows of the hammers 4 and blows against the lining armored plates 6, the material is crushed. The final crushing of the material by crushing and abrasion is carried out in the annular gap between the grate 8 and the ends of the hammers 4.

The grate consists of two identical sections, which are suspended on axes from above, and rest on the eccentrics of the adjustment mechanism from below. The

rotation of the eccentrics changes the position of the grate depending on the direction of rotation of the rotor.

To catch metal and other objects that accidentally got into the crusher, a catching chamber 9 is provided, which is unloaded periodically.

The central location of the loading hole 8 allows you to change the direction of rotation of the rotor, which is an advantage of crushers of this type, because it is possible to use the hammers bilaterally without disassembling the crusher for their rotation. That is, the wear of hammers in crushers of this type is uniform on both sides.

The crusher is designed for crushing materials of medium strength and moisture to a size of 3 — 5 mm.

Hammer two-rotor crusher with parallel arrangement of rotors.

The raw material is fed into the loading hopper 8, which is created by the end walls of the crusher housing 5 and shaped grates 10. When rotating the rotors 2, freely suspended hammers 4 pass into the gaps between the shaped grates 10 and crush lumps of material. The crushed product falls on the grates under the rotors, where it is finally crushed and unloaded under the crusher. Shaft 1 of each rotor rotates through a V-belt drive from a separate electric motor. Drive pulleys are weighted and also serve as flywheels. In addition, flywheels are also installed on the free ends of the rotor shafts for leveling the course of the crusher. The largest crusher of this type can accept lumps up to 2,000 mm long and weighing up to 4 tons when crushing up to 30 — 35 mm at a productivity of 1,000 t/h.

Hammer two-rotor crusher with a sequential arrangement of rotors consists of a welded body 5, rotors 2 and grates 7 located under the rotors. The upper and lower rotors with hammers 4 rotate in the same direction. Above each rotor there are baffle plates 6, which are moved when adjusting the crusher. The drive of both rotors is carried out through a V-belt transmission from one electric motor. When the crusher is working, the hammers of the upper rotor hit the lumps of material that come uniformly and continuously from the loading funnel 8. The lumps are partially split, thrown onto the impact plates, bounced off them and again hit by the hammers of the

upper or lower rotor. The lower rotor hits the lumps, knocks them back onto its baffle plates and pushes the material onto the lower grate. The zone between the two rotors is the place of the most intense crushing. The crushed product is unloaded through the slits of the grates. The coarseness of the crushed product is regulated by changing the gaps between the hammers and the baffle plates, as well as between the hammers and the grates.

Hammer crushers are designed for coarse, medium and fine crushing of materials of low and medium hardness, but more often they are used for medium and fine crushing. They are characterized by high productivity and low specific electricity consumption.

Single-rotor hammer crushers are used at coal beneficiation factories , reversible hammer crushers are most widely used in coal preparation shops of coke chemical plants for final crushing of the enriched charge.

A hammer crusher can crush both dry and wet material. At coal beneficiation factories, hammer crushers are mainly used for crushing industrial product or mixed sludge of large machine class before its control beneficiation , as well as for preparing laboratory samples .

The advantages of hammer crushers include simplicity of design, reliability, compactness, high productivity, high degree of crushing (20 and more) and relatively low specific electricity consumption.

Disadvantages of hammer crushers are rapid wear of hammers and clogging of grate holes when crushing wet coal [3].

1.6 General requirements for electric drives of crushers

The main technological requirement for electric drives of crushers should be considered to be the provision of the specified productivity, therefore, the technological process of crushing is carried out continuously. In this regard, the mode of operation of electric motors of crushers can be characterized as long (*SI*).

So, the engine works in one established mode.

Energy efficiency is one of the main criteria for the operation of the electric drive of crushers. Energy efficiency is evaluated by efficiency - the ratio of usefully spent energy to its total consumption in a given process. It is necessary to strive for the maximum value of this indicator and the minimum consumption of electrical energy.

Currently, the electric drive of crushers is mostly unregulated. Despite the shock and uneven nature of the load, maintenance of the set speed of rotation is ensured by the flywheel located on the working shaft. This leads to the fact that an additional electric motor has to be used when starting.

Next to, an important criterion for the operation of the electric drive of the crusher is reliability. Based on the operating mode of the engine and the technological process, it is necessary to ensure uninterrupted operation. The number of failures should be minimized.

From technical and economic indicators, including energy efficiency, the most acceptable are asynchronous motors with a short-circuited rotor, which have become the most common in installations of this type. Taking into account that the working area in which the crushers are installed is very dusty, and there is also a constant effect of an aggressive external environment, electric motors are chosen in a closed version.

To ensure the specified technological requirements, the application of frequency control is promising.

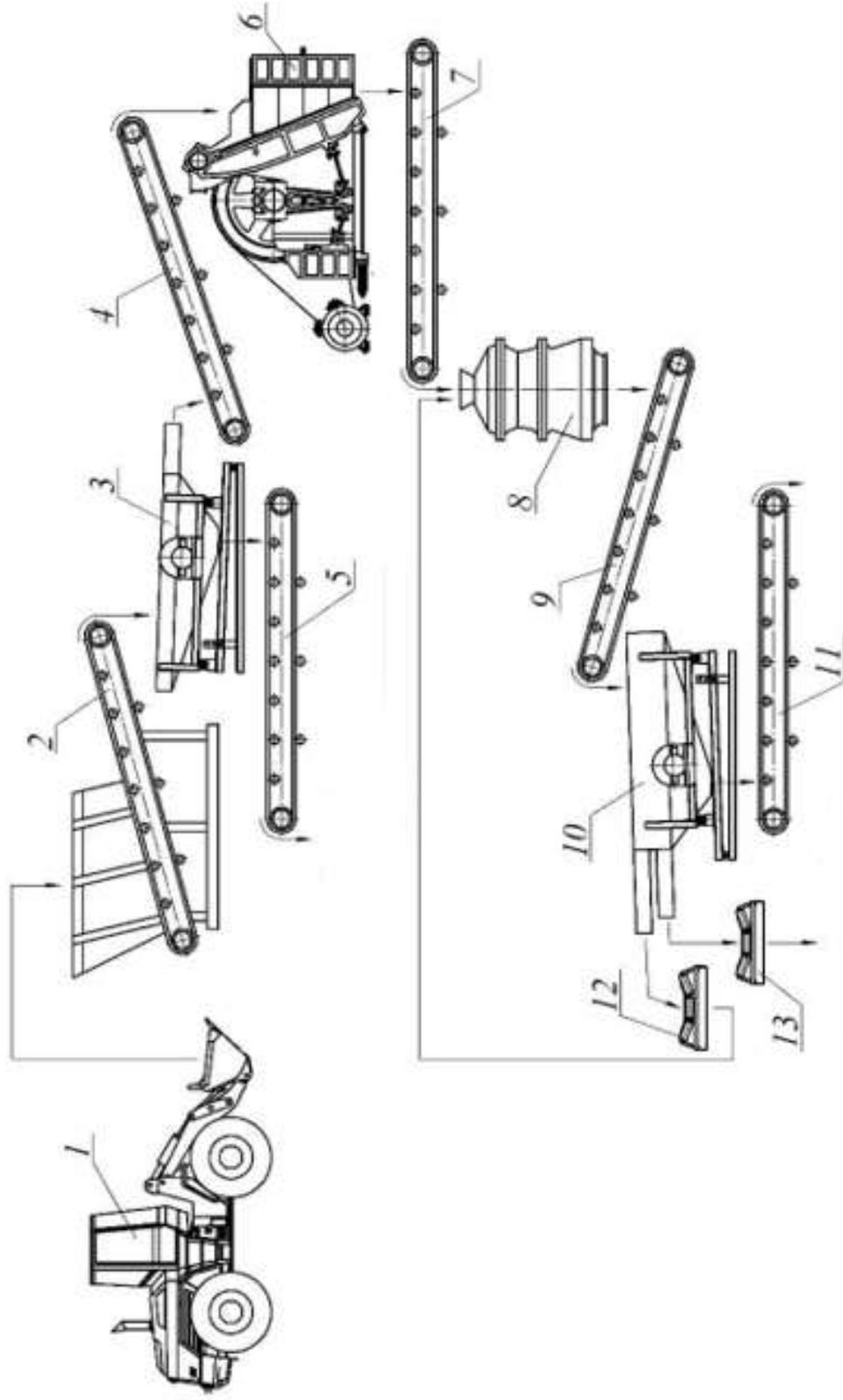
Frequency regulation of asynchronous electric motors is widely used all over the world. This control is able to ensure with high accuracy the working revolutions of the engine both above and below the nominal level. As a result, with the help of changing the rotation frequency of the executive element, the variable of the technological process is influenced - the flow of the product (productivity). There is

also the possibility of smooth start-up, which reduces wear and increases the resource of the crushing equipment.

In addition, it is worth noting that a number of manufacturers of crushers include electric motors with a high value of the pair of poles. This is due to the fact that transmission mechanisms have limited transmission coefficients. The use of frequency control will allow the use of electric motors of the same power, but higher speeds, which favorably affects the efficiency of the electric drive .

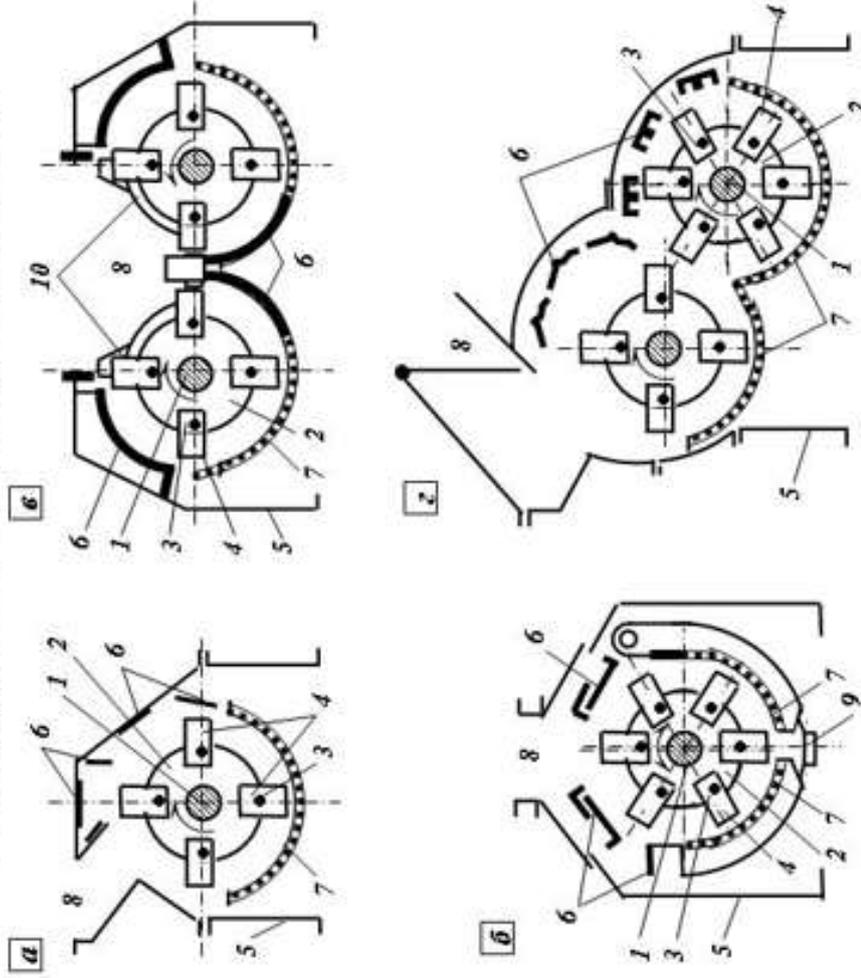
Технологічна схема лінії виробництва щебню

1



1 – фронтальний навантажувач, 2 – ланцюговий живильник, 3, 10 – грохоти, 4, 5, 7, 9, 11, 12, 13 – конвеєри стрічкові, 6 – дробарка щоква, 8 – дробарка конусна

Схеми молоткової дробарки



Однороторні: а – неперевисна, б – реверсивна

Двороторні: в – паралельного дроблення, г – послідовного дроблення

1 – горизонтальний вал, 2 – ротор, 3 – осі молотків, 4 – молотки, 5 – корпус дробарки,
6 – футеровочні плити, 7 – колосникова решітка, 8 – завантажувальна лійка, 9 –

уловлююча камера, 10 – фігурні колосники

Схема моделі векторної системи управління

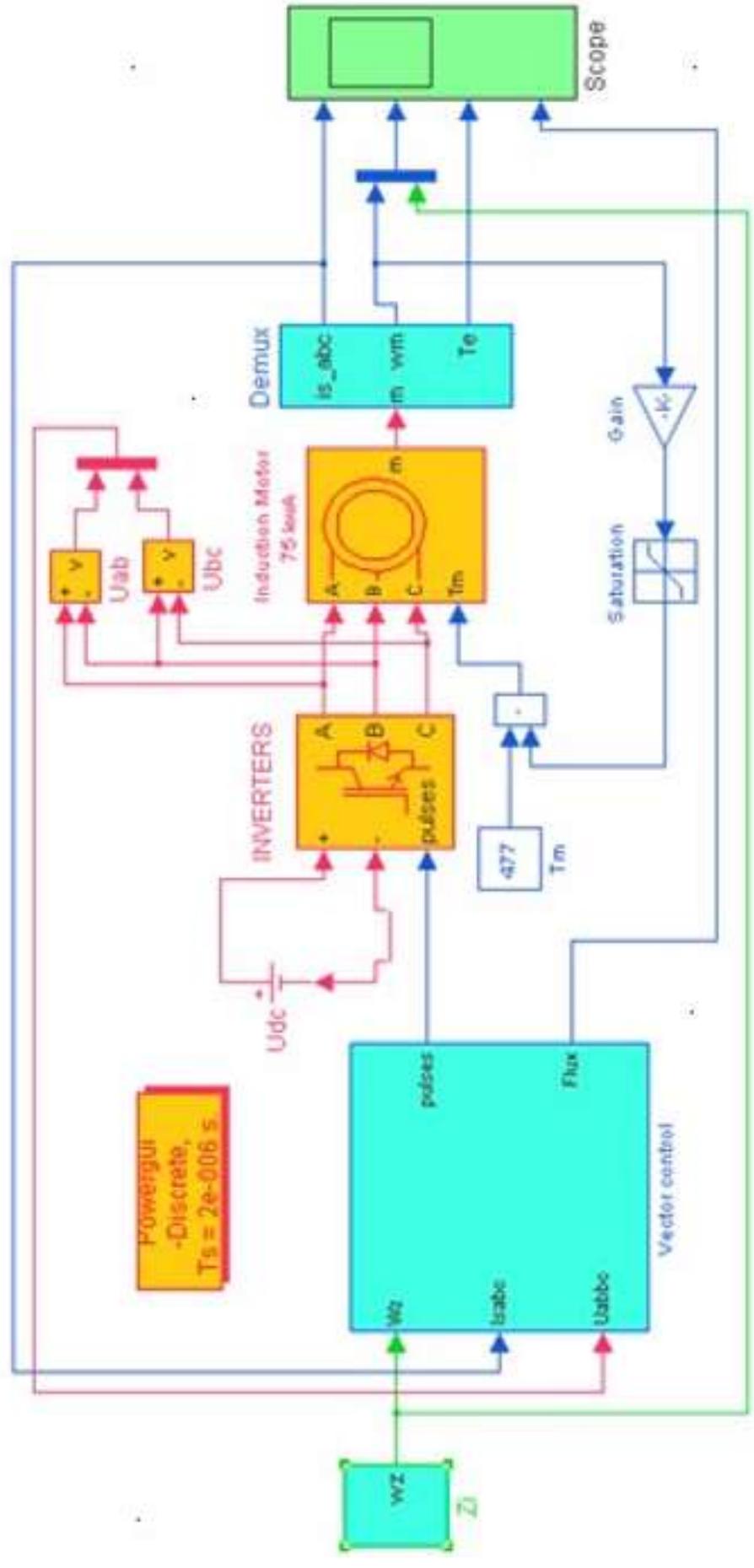
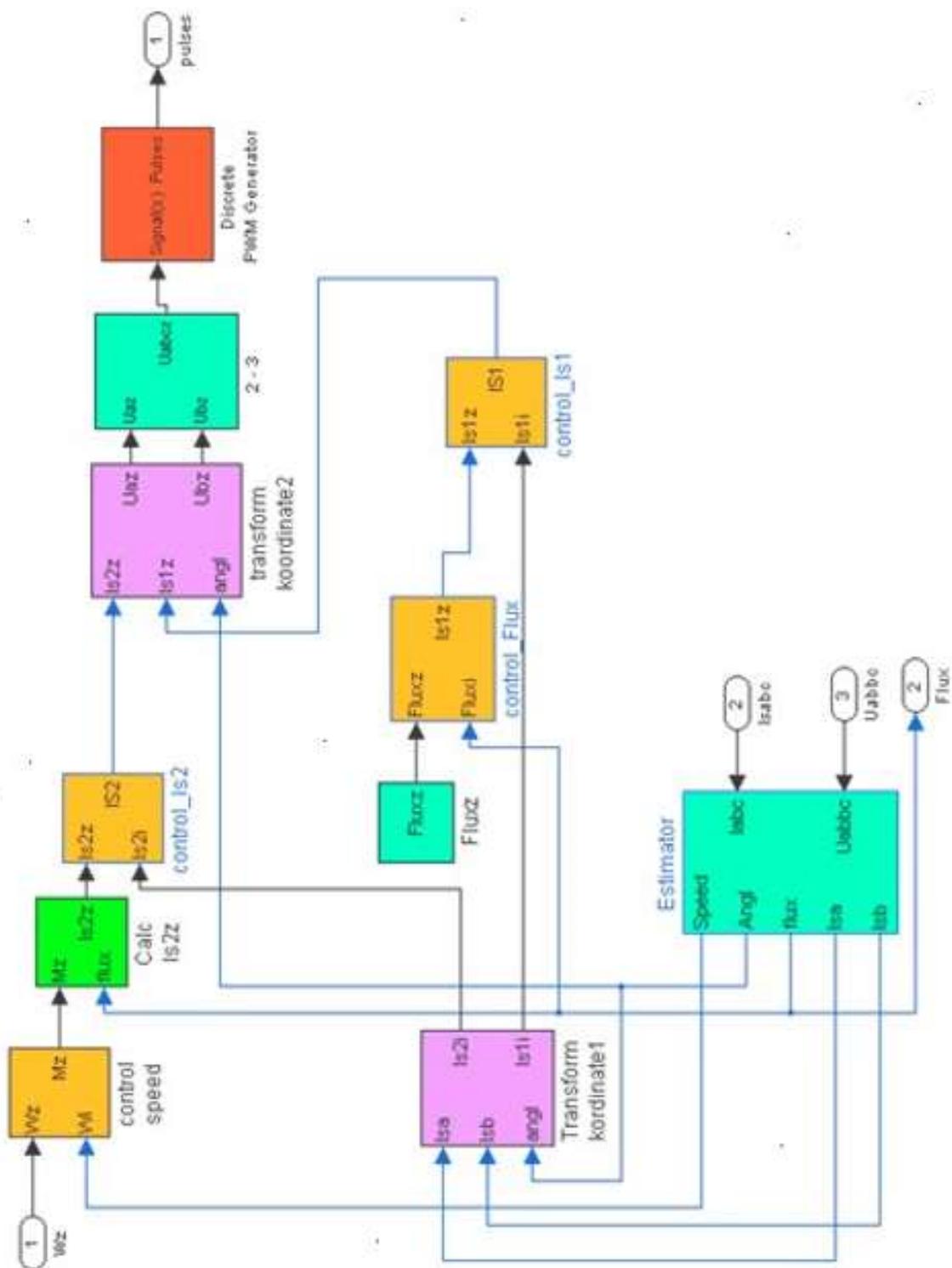
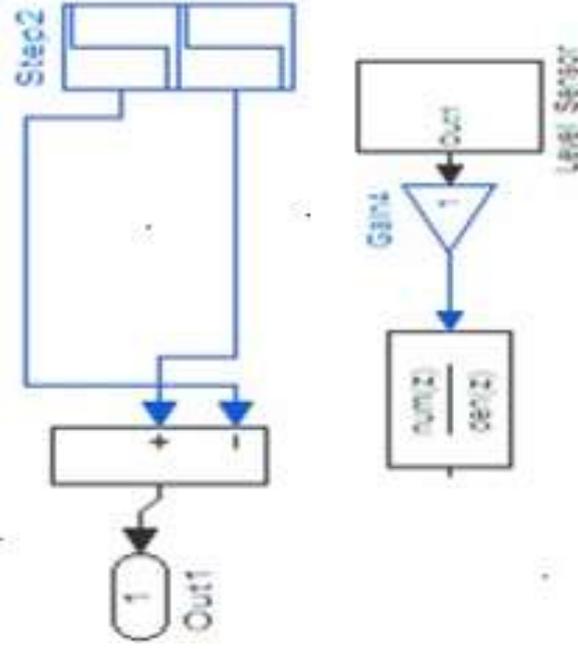


Схема блоку Vector control



Блок імітації датчика рівня



Блок регулятора швидкості руху живильника

