

**Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова**

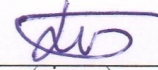
Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри


(підпис)

І. С. Білюк

« 15 » 06 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва спеціальності)

освітня програма Електротехніка та електротехнології
(назва освітньої програми)

на тему: «Модернізація електропривода формувальної машини»

Виконав: студент IV курсу, групи 4317ст3
Царенко Нікіта Миколайович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник доц. каф. автоматики, к.т.н.,
доц. Надточій А.В.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Нормоконтроль ст. викл. каф. автоматики
Савченко О.В.

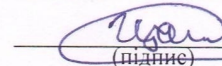
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Рецензент доц. каф. СЕЕС, к.т.н.,
Ставинський Р.А.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Засвідчую, що у цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент


(підпис)

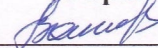
м. Миколаїв – 2026 року

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Інститут, факультет Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
 Кафедра автоматики
 Освітній ступінь бакалавр
 Галузь знань 14 «Електрична інженерія»
 (шифр і назва)
 Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
 (шифр і назва)
 Освітня програма «Електротехніка та електротехнології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

 О.Г. Васильєв

«15» 08 2026 року

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА СТУДЕНТУ

Царенку Нікіті Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Модернізація електропривода формувальної машини»
 керівник роботи Надточій Анатолій Вікторович, кандидат технічних наук,
доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «22» квітня 2026 року
 № 286-УЧ.

2. Строк подання студентом роботи 15 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи: Маса виробу 750 кг;

$P_{дв} = 0.5$ кВт – потужність двигуна; час перехідного процесу 0.7с; експоненційний
 перехідний процес.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
 розробити): 1. Аналіз відомих конструкцій ущільнюючих верстатів;

2. Розрахунок параметрів елементів електропривода;

3. Розробка функціональної схеми системи регулювання швидкості асинхронного
 двигуна;

4. Розробка структурної схеми;

5. Розрахунок та моделювання перехідних процесів;

6. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1. Зовнішній вигляд устаткування;

2. Функціональна схема регулювання швидкості АД;

3. Структурна схема ПЧ-АД при векторній системі;

4. Графіки перехідних процесів.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 03 лютого 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

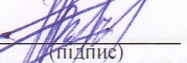
№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз відомих конструкцій ущільнюючих верстатів.	20.03.26	
2	Розрахунок параметрів елементів електропривода.	10.04.26	
3	Розробка функціональної схеми системи регулювання швидкості асинхронного двигуна.	15.05.26	
4	Розробка структурної схеми.	22.05.26	
5	Розрахунок та моделювання перехідних процесів	02.06.26	
6	Охорона праці	05.06.26	

Студент


(підпис)

Царенко Н.М.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Надточій А.В.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 70с., 6 р., 22 рис., 5 табл., 2 дод., 11 джерел.

Ключові слова: асинхронний електропривод, ущільнювальна машина, вітродвигун, резонанс, векторна система керування, перехідна характеристика, показники якості керування.

Об'єкт дослідження – автоматизований електропривод для формувальних та ущільнюючих машин.

Мета роботи – поліпшити продуктивність формовочної машини за рахунок використання резонансних режимів та застосування системи автоматичного керування електроприводом.

Перший розділ присвячений аналізу вібромашин та застосування вібрацій в технологічних процесах і згідно цього зроблена постановка задачі дослідження.

У другому розділі розраховуються параметри вібромашини для ущільнювання бетонних виробів.

У другому розділі сформована функціональна схема векторної системи керування асинхронного електропривода вібромашини для ущільнювання бетонних виробів.

В четвертому розділі наведено розрахунок динамічних коефіцієнтів електроприводу, сформовані зворотні зв'язки та передаточні функції елементів.

У п'ятому розділі надаються розрахунки показників якості системи керування електроприводом. В ході роботи було модифіковано привід вібростолу, а саме встановлення векторної системи керування частотою обертання двигуна вібратора, що дало змогу проводити зміну величини більш плавно та в широкому діапазоні.

У шостому розділі розглянути питання з охорони праці.

Додатки містять машинні розрахунки (додаток А), та слайди мультимедійної презентації (додаток Б).

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ КОНСТРУКЦІЙ УЩІЛЬНЮЮЧИХ ВЕРСТАТІВ.....	6
1.1 Аналіз конструкції електричних двигунів для створення вібрацій.....	6
1.2 Опис конструкцій вібраційних машин.....	9
1.3 Постановка задачі.....	14
2 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....	16
3 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА.....	26
4 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ.....	31
4.1 Синтез регуляторів.....	34
4.1.1 Синтез регулятора струму.....	34
4.1.2 Синтез регулятора потоку.....	35
4.1.3 Синтез регулятора швидкості.....	35
4.2 Розрахунок коефіцієнтів зворотних зв'язків.....	36
5 РОЗРАХУНОК ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ.....	37
5.1 Базисні значення.....	37
5.2 Розрахунок структурної схеми у відносних одиницях.....	38
5.3 Розрахунок векторної системи керування.....	39
6 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	50
ВИСНОВКИ.....	62
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	64
ДОДАТОК А Машинні розрахунки	65
ДОДАТОК Б Мультимедійна презентація.....	67

ВСТУП

Вібраційні машини отримують все більш широке застосування в самих різноманітних галузях промисловості. Розширюється область застосування вібромашин що зарекомендували себе раніше, знову створюються вібромашини для здійснення нових технологічних операцій. Це зумовлене конструктивною простотою вібромашин і в багатьох випадках більш високої, ніж у звичайних машин технологічною ефективністю.

Застосування вібраційної техніки в промисловості в ряді випадків дозволяє корінним чином удосконалити технологічні процеси. Прикладами можуть служити вібровипуск руди, що підвищив безпеку і ефективність праці в рудній промисловості, і вібраційну обробку деталей в машинобудуванні, що дозволила автоматизувати процес і підвищити якість виробів.

Вібромашини обширно застосовуються на будівництві в якості ущільнювачів залізобетонних конструкцій, фундаментів. Приміняються для транспортування, розвантаження та просіювання сипучих матеріалів, також на вібростолах для формування залізобетонних плит чи інших виробів з бетону (тротуарна плитка, бетонні паркани, цегла тощо).

При проведенні будівельних етапів будівництва, наприклад, при виконанні формування фундаменту, слід надати рідкому бетону необхідну міцність і однорідність, заповнивши порожнини. Порожнини в залізобетонному елементі споруди представляються головними епіцентрами некомпенсованих механічних напружень, і часто можуть стати джерелом, з якого почнеться руйнування несучих конструкцій. Щоб запобігти руйнуванню будівельний розчин необхідно ретельно ущільнити, задіюючи в цьому вібраційну машину.

У даному випадку використовуються віброущільнювальні апарати, які називаються ущільнювачами бетону. Робота вібраційних ущільнювачів розчину реалізується на коливаннях розцентрованих обертових вантажків.

В електричних віброущільнювачах в якості джерела відцентрових вібрацій використовується вал з дисбалансуючим вантажем, який обертається

електродвигуном, що значно спрощує застосування віброустановки на відміну від пневматичних аналогів.

1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ КОНСТРУКЦІЙ УЩІЛЬНЮЮЧИХ ВЕРСТАТІВ

1.1 Аналіз конструкції електричних двигунів для створення вібрацій

Пристрій механічного вібратора представляє з себе простий електродвигун, через нього проходить вал, на кінцях якого закріплені металеві пластини (ексцентрики). Вони зміщені по відношенню центру вібратора і закріплені. При обертанні вала створюються коливання, а так як вібратор міцно закріплений за допомогою чотирьох болтів, то вся вібрація передається до поверхні на якій він закріплений. При великих коливаннях і відповідальній роботі використовують вібратори з посиленими підшипниками і електрикою. Ексцентрики на валу регулюються і при цьому можна отримати різну силу коливань.

Найчастіше в якості двигуна використовують трифазні асинхронні двигуни з короткозамкнутим ротором, тому що вони більш надійні в експлуатації та мають кращі масогабаритні показники ніж двигуни інших типів. Також до переваг асинхронних двигунів можна віднести простоту в обслуговуванні (відсутність колекторного вузла), наявність двох можливих напруг живлення (220-380 В), відсутність спеціальних джерел живлення та відносно дешевизну, на відміну від двигуна постійного струму. До недоліків асинхронних трифазних двигунів можна віднести: ускладнення регулювання частоти обертання валу двигуна; великий пусковий струм; низький $\cos \varphi$ при недогрузках.

Враховуючи специфіку важких вібраційних навантажень на вал двигуна та на його корпус, двигуни виконуються як в класичних так і в посиленних варіантах.

Посиленні двигуни для вібраторів виконуються з литої сталі що підсилена додатковими ребрами жорсткості. Також на таких двигунах встановлюються чавунні підшипникові щити, це дає змогу встановлювати вібратори не лише горизонтально, а й під певним кутом. Статор виготовлюють з покращеною ізоляцією струмопровідних частин для можливості використання вібратора в умовах

підвищеної вологості. Металеві кожухи дебалансних елементів мають легкодоступні кріплення, що значно полегшує регулювання амплітуди коливань вібратора [1, 9-11].

Класичний
статор



Статор з
покращеною
ізоляцією

Можливість
експлуатації
вібратора в більш
несприятливих
умовах.

Класичний
алюмінієвий
підшипниковий
щит.



Чавунний підшипниковий
щит з підшипниками
збільшеної
вантажопідйомності

Припускається установка
вібратора під кутом.

Підвищений термін
використання вібратора.

ИБ-98



Класична конструкція з
використанням стяжок

ИБ-11-50



Легкознімні металеві
кожухи, конструкція без
стяжок.

Полегшення регулювання
амплітуди вібрацій.

Посилення станини
додатковими ребрами
жорсткості

Запобігання обриву
кріплення.

Рисунок 1.1 – Підсиленні елементи спеціальних двигунів для вібраторів

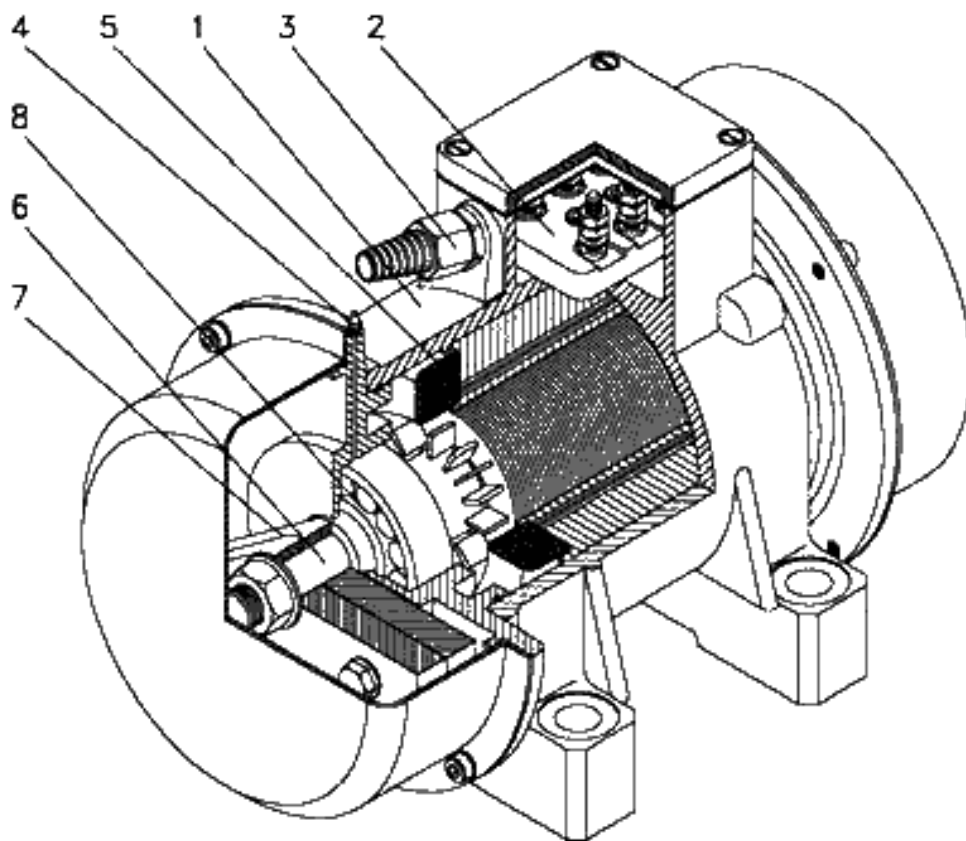


Рисунок 1.4 – Конструкція вібратора: 1)Корпус вібратора; 2) Клемна коробка; 3)Кабельний сальник; 4)Фланець обойми підшипника; 5)Статор; 6)Вісь ротора; 7)Дебаланс; 8)Підшипник.



Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд вібратора, виконаного на базі асинхронного двигуна.

1.2 Опис конструкцій вібраційних машин

Вібростіл - промислове обладнання, яке використовується для виробництва будівельних та оздоблювальних матеріалів, що виготовляються методом вібролиття з бетону або інших сумішей. Типові приклади такої продукції:

- тротуарна плитка;
- штучний камінь;
- малі архітектурні форми;
- фігурні декоративні елементи;
- композитні блоки для заборів і т.д.

Конструкція вібростола:

Вібростіл складається з декількох ключових функціональних елементів:

- робочої поверхні з динамічним вібратором;
- станини;
- панелі управління.

Залежно від практичних потреб і необхідних матеріалів, виготовляють різні моделі різних розмірів, потужності, з тою чи іншою кількістю вібраторів.

Спосіб застосування вібростола

Виробничий процес на вібростолі являє собою заповнення спеціальних форм (металевих або пластикових) підготовленою сумішшю. Такі ємності розміщуються на робочу поверхню і піддаються вібрації протягом встановленого періоду. Оброблений таким чином бетон стає щільніше, в матеріалі усуваються порожнини і бульбашки повітря. Оптимальна щільність сировини, яка досягається на вібростолі, - 2300 кг / куб.м., Що відповідає сучасним стандартам важкого литого бетону, достатньо міцного і довговічного. Представлені вібростоли відмінно підходять як для невеликих майстерень з виробництва тротуарної плитки, так і для великих виробництв [2].



Рисунок 1.6 – Загальний вигляд вібростола

Віброконвеєр. Вібраційні конвеєри призначені для переміщення різних вантажів (харчових та нехарчових) за допомогою примусової спрямованої вібрації транспортуючого елемента (лотка, стола, сита, труби тощо) віброконвеєри можуть бути використані в різних технологічних процесах як живильники в якості агрегатів дозованої подачі продуктів. В якості транспортуючих елементів використовуються матеріали з ситової або сітчастою поверхнею, що дозволяє додатково з переміщенням вантажу проводити відсів непотрібних включень (наприклад, відсів борошна при транспортуванні пельменів або вареників в скороморозильні камеру) або обробляти вантаж паром, проводити його підсушування (наприклад, пастеризація макаронних виробів) і пр. У виготовляються нами конвеєрах як приводних агрегатів застосовуються вібратори електромеханічні різної потужності загального або спеціального призначення.

Елементи конструкції віброконвеєрів, що стикаються з продуктом, виготовлені з харчової нержавіючої сталі, решта - зі сталі з полімерним покриттям [2].

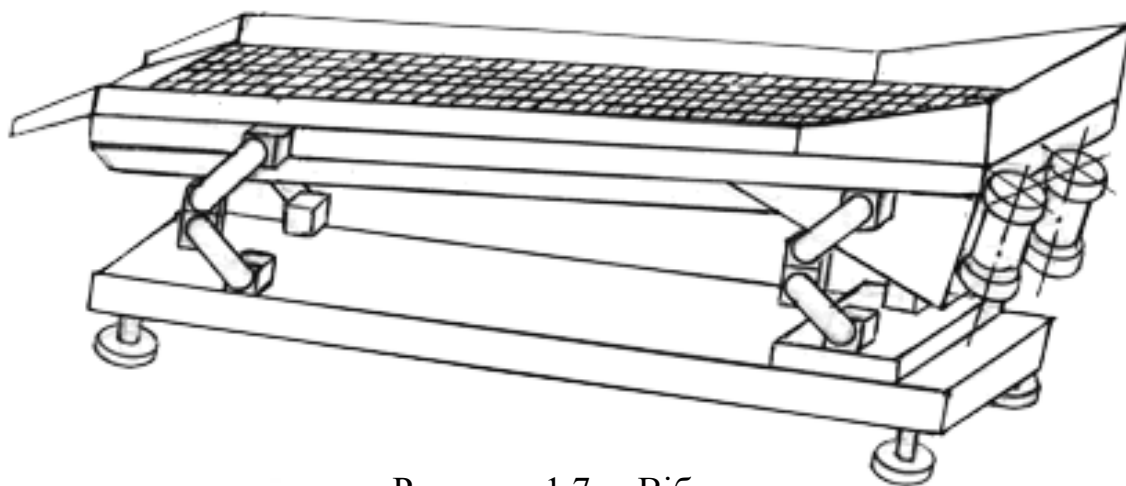


Рисунок 1.7 – Віброконвеєр

Вібросито. Вібросита типу СВП призначені для безперервного просіву широкого діапазону сипучих, зернистих, гранульованих і порошкоподібних матеріалів. Рекомендується для застосування в харчовій, хімічній, медичній, біотехнічній, комбікормовій, електротехнічній, будівельній та інших галузях промисловості. Можливе використання вібросит спеціальної конструкції для обезводнення, освітлення, проціджування і фільтрування різних матеріалів.

Опис конструкції

Вібраційні сита (просіювачі) типорозміру СВП-0, 8 відносяться до класу вібросит підвищеної продуктивності і мають просіюючу поверхню в діапазоні 0,96-1,44м².

Конструктивно апарат складається з жорсткого короба, прямокутного перерізу, силового кронштейна з двома самосинхронізується вібробуджувача інерційного типу, знімних ситових рамок, і верхньої кришки з завантажувальним патрубком. Розвантажувальні патрубки знаходяться в нижній частині короба.

Під дією вібрації сипка суміш, в процесі руху від завантажувального до розвантажувального патрубкам, проходить наступні технологічні процеси:

- Транспортування суміші вздовж короби, необхідне для безперервності процесу і характеризується середньою швидкістю центру мас всього сипучого тіла;
- Самосортування - занурення в нижні шари (до поверхні сита) часток менших розмірів і більшої щільності, і спливання у верхні шари часток великих розмірів і меншої щільності [2] .

- Просіювання - проходження через отвори сита часток з розмірами меншими, ніж розміри отвору.

Даний апарат (СВП-0, 8) рекомендований для застосовується у випадках коли продуктивність розсіву по вихідному матеріалу не перевищує 6 м³/год.

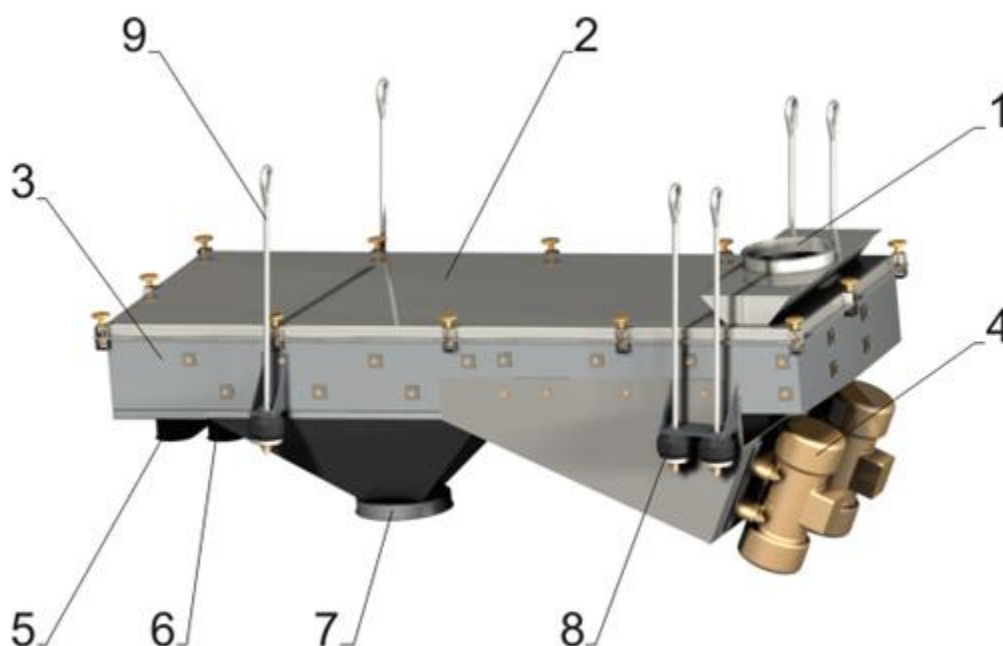


Рисунок 1.8 – Зовнішній вигляд вібросита: 1) - патрубок завантаження, 2) - кришка, 3) - корпус (робочий орган), 4) - вібропривод, 5) - патрубок вивантаження великої фракції, 6) - патрубок вивантаження середньої фракції, 7) - патрубок вивантаження дрібної фракції, 8) - пружні елементи, 9) - підвісні тяги.

Віброрейки. Віброрейки для укладки бетону застосовуються для ущільнення й розрівнювання бетонної суміші при бетонуванні доріг, підлог, площадок та інших покриттів. Віброрейка для укладки бетону складається з балки довжиною 2 метри, 3 метра або 4 метри з встановленими на ній вібраторами. Вимушену силу віброрейки можна регулювати шляхом регулювання змушує сили вібратора.

Віброрейки для укладання бетону використовуються для ущільнення й розрівнювання бетонної або цементної суміші при бетонуванні або цементуванні підлог, дорожніх покриттів, майданчиків і т.п.

Віброрейки бувають двох типів:

- подвійні жорсткі віброрейки (металеві);
- подвійні телескопічні віброрейки (розсувні) (алюмінієві).

Конструкція віброрейки проста: дві квадратні труби, пов'язані між собою елементами жорсткості і вібратор електромеханічний загального призначення, або бензиновий двигун з ексцентриком. Довжина рами зазвичай складає від 2 до 6 метрів. В якості вібратора використовується трифазний асинхронний електродвигун з встановленими на валу ротора дебалансами.

Дебаланси, обертаючись, створюють вимушену силу і передають вібрацію на конструкцію. Частоту вібрації можна регулювати за допомогою електронного перетворювача частоти. Вимушену силу регулюють шляхом зміни змушуючої сили вібратора. Як і віброплити (віброплощадки), віброрейки в основному використовуються на будівництві та при проведенні дорожніх робіт.

Віброрейки, як механізм або пристрій, є досить простими і легкими в освоєнні, проте виконують досить важливу функцію, адже саме якість поверхні, в безлічі ситуацій є основою якості споруди або ремонту будівель. Вирівнювання бетонної підлоги, в свою чергу, майже ніколи не обходиться без застосування спеціальних віброрейок, різного типу і пристрої. Саме віброрейка дозволяє робочим виконувати великі обсяги робіт за найкоротші терміни, при цьому, не даючи ніяких погіршень якості [2].



Рисунок 1.9 – Віброрейка

Віброплощадка складається з плити 970x570x300, що є її робочою частиною, в центрі якої може бути встановлено вібратор марки ІВ-98 або ІВ-104. Ущільнення відбувається за рахунок вертикальної складової змущеної сили, що виникає в вібраторі. Поступальний рух віброплощадки відбувається за рахунок горизонтальної складової змущуючої сили. Вимушену силу віброплощадки можна регулювати шляхом зміни змущуючої сили вібратора [2] .



Рисунок 1.9 – Віброплощадка

1.3 Постановка задачі

Проведений аналіз шляхів поліпшення динамічних властивостей вібромашин, а також їх кінематичних схем, конструкції двигунів та способів їх керування дозволяє зробити наступну постановку задачі:

- Скласти кінематичну схему вібромашини для ущільнення бетонних виробів;
- Здійснити вибір двигуна для забезпечення потрібних технологічних параметрів;
- Сформувати функціональну схему керування асинхронним двигуном;
- Дістати передаточні функції передаточних елементів системи керування;
- Отримати структурну схему електроприводу;
- Провести параметричний синтез з налагодження параметрів регуляторів для забезпечення перехідного процесу за швидкістю, з наступними показниками якості:
 - 1) Час перехідного процесу становив $t < 1с$;
 - 2) величина перерегулювання σ не перевищувала 5%.

- Визначити організаційно-технічні заходи з охорони праці щодо забезпечення обслуговування устаткування.

2 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕМЕНТІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

В основу роботи вібростолу покладено принцип роботи двокаскадної віброізоляції.

Спочатку необхідно визначити корисну масу виробу, що буде виготовлятися за допомогою даного пристрою.

Розміри ємності для формовки бетону становлять:

- бокові стінки $1,98 \times 0,15 \times 0,0045$ м – 2шт. та $0,98 \times 0,15 \times 0,0045$ м – 2 шт.
- нижня плита $1,98 \times 0,98 \times 0,0045$ м – 1 шт.

Повний об'єм бокових стінок становить:

$$V_{\Sigma} = V_1 + (V_2 \cdot 2) + (V_3 \cdot 2),$$

$$V_1 = 0.045 \cdot 1.98 \cdot 0.98 = 8.732 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3,$$

$$V_2 = 0.045 \cdot 1.98 \cdot 0.15 = 1.336 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3,$$

$$V_3 = 0.045 \cdot 0.98 \cdot 0.15 = 6.615 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3,$$

$$V_{\Sigma} = 8.732 \cdot 10^{-3} + (1.336 \cdot 10^{-3} \cdot 2) + (6.615 \cdot 10^{-4} \cdot 2) = 0.013 \text{ м}^3,$$

де V_1 – об'єм дна ємності;

V_2 – об'єм поздовжньої стінки ємності;

V_3 – об'єм поперечної стінки ємності.

Маса ємності обчислюється наступним чином:

$$M = V_{\Sigma} \cdot \rho_{CT},$$

де $\rho_{CT} = 7.8 \cdot 10^3$ кг/м³ - густина сталі .

$$M = 0.013 \cdot 7.8 \cdot 10^3 = 101.4 \text{ кг.}$$

Обчислюємо максимальний об'єм виробу:

$$V_{\epsilon} = 1.98 \cdot 0.98 \cdot 0.15 = 0.291 \text{ м}^3.$$

Тоді максимальна маса виробу становить:

$$M = V_B \cdot \rho_B = 0.291 \cdot 2500 = 727.65 \text{ кг},$$

де $\rho_B = 2500 \text{ кг/м}^3$ – густина важкого бетону.

Розрахунки проводяться на основі принципу роботи двокаскадної віброізоляції.

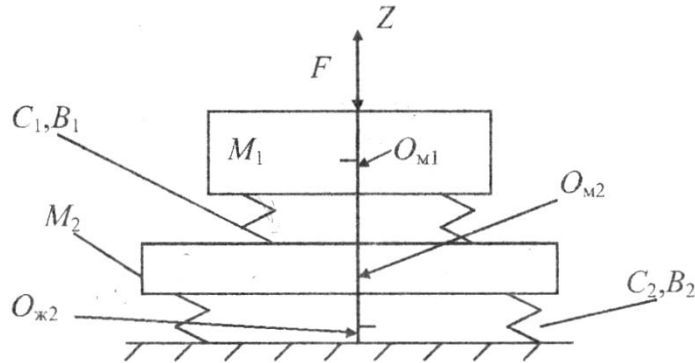


Рисунок 2.1 – Динамічна модель двокаскадної віброізоляції

Запишемо рівняння руху що описують динамічну структуру наведену на рис. 2.1.

$$M_1 \frac{d^2 \cdot Z_1}{dt} + B_1 \left(\frac{dZ_1}{dt} - \frac{dZ_2}{dt} \right) + C_1 (Z_1 - Z_2) = f(t),$$

$$M_2 \frac{d^2 \cdot Z_2}{dt} + B_2 \frac{dZ_2}{dt} + C_2 Z_2 + B_1 \left(\frac{dZ_2}{dt} - \frac{dZ_1}{dt} \right) + C_1 (Z_2 - Z_1) = 0.$$

Після перетворення за Лапласом й групування коефіцієнтів одержимо:

$$Z_1 (M_1 p^2 + B_1 p + C_1) - Z_2 (B_1 p + C_1) = F,$$

$$Z_2 (M_2 p^2 + B_\Sigma p + C_\Sigma) - Z_1 (B_1 p + C_1) = 0,$$

де C_1 та C_2 – жорсткості пружного зв'язку; $C_\Sigma = C_1 + C_2$; M_1 – маса робочого органа вібростолу з максимальним навантаженням; M_2 – маса проміжної платформи;

$\xi = 0.1$ – безрозмірний коефіцієнт демпфірування пружного зв'язку;

$$\omega_{0i} = \sqrt{\frac{C_i}{M_i}} \text{ – парціальна частота; } B_i = 2 \cdot \xi \cdot M_i \cdot \omega_{0i}; \quad B_\Sigma = B_1 + B_2.$$

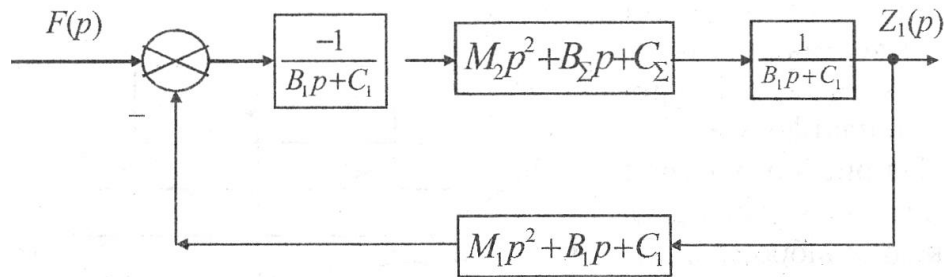


Рисунок 2.2 – Структурна схема динамічної моделі двокаскадної віброізоляції

Після застосування правила згортки структурних схем одержимо передаточну функцію динамічної моделі [3] .

$$W(p) = \frac{-M_2 p^2 + B_2 p + C_2}{(B_1 p + C_1)^2 + (M_2 p^2 + B_2 p + C_2) \cdot (M_1 p^2 + B_1 p + C_1)}.$$

За допомогою програмного середовища Mathcad проводимо математичне моделювання системи.

Задаючись вимушеною силою $F = 1\text{ Н}$ та необхідними жорсткостями пружного зв'язку, знаходимо амплітуду коливання маси M_1 при необхідній технологічній частоті виготовлення бетонних виробів. Частоту знаходимо за допомогою табл. 2.1 або користуючись графком, наведеному на рис. 2.3.

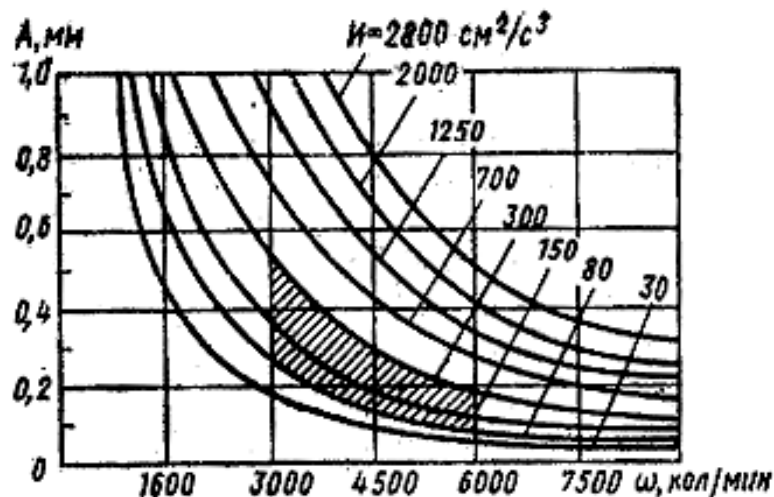


Рисунок 2.3 – Залежність між амплітудами A та частотами коливань ω при ріноманітній інтенсивності вібрації I [4]

Таблиця 2.1– Режим ущільнення вібруванням легкобетонної суміші при частоті коливання 3000 кол/хв. [4].

Суміш	Рекомендована мінімальна амплітуда коливання, мм	Рекомендований пригруз на поверхню бетонної суміші при її вібрації, Па	Тривалість вібрування суміші в виробі, с
Щільна жорстка (з жорст- кістю 15 ... 25 с)	0.6 0.6	3...4 2...3	150...180 120...150
Щільна помірно жорстка (з жорсткістю 8 ... 15 с)			
Щільна малорухлива (з осіданням конуса 1 .. 3 см)	0.35	Не потрібно	90...120
Щільна малорухлива (з осіданням конуса 3 .. 15 см)	0,35	Теж саме	60...90
Поризована газом	0.35		90...180
Поризована піною	0.35	”	60...90
Поризована повітрозалучаючими добавками	0.35	”	120...150
Крупнопориста	0.35	При необхідності не більше 2	30
Мілкопісчана	0,6	3 ... 4	120...180

Всі потрібні розрахунки наведено в додатку А.

З приведених розрахунків отримано:

$$A = 1.54 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

Максимальна технологічна амплітуда для виготовлення важких бетонів становить:

$$A_T = 0.6 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Звідси випливає що розрахункову амплітуду потрібно підвищити в $\frac{A_T}{A}$, тобто у $3.896 \cdot 10^3$ рази.

Беручи до уваги що приріст амплітуди прямопропорційно залежить від приросту вимушеної сили, то для отримання необхідної технологічної амплітуди достаньмо підвищити вимушену силу у $3.896 \cdot 10^3$ рази.

Отже для максимального навантаження вібростолу вимушена сила буде становити: $F = 3.896 \text{ кН}$.

З каталогу [5] обираємо необхідний вібратор з наступними параметрами:

МОДЕЛЬ	Число	Синхронна частота коливання		Статичний момент кг*см	Напруга живлення, В.	Частота струму Гц.	Потужність електродвигуна		Маса, кг	Робочий ресурс. год	
		Швидкість обертання					Вимушена сила, кН	Номінальна кВт.			Споживана кВт.
		Гц.	Об/хв								
ИВ-2,5-25	4	25	1500	1,3...2,5	5.1...10,2	42. 380: 3Φ	50	0,12	0,17	18,0	5000
ИВ-05-50	2	50	3000	2.5..5.0	2.5..5.1	42. 380: 3Φ	50	0,25	0.5	15.0	5000
ИВ-05-50	2	50	3000	2.5..5.0	2.5..5.0	220: 1Φ	50	0,25	0.5	17.5*	5000

- Модель вібратора – ИВ 05-50;
- Число полюсів – 2;
- Частота обертання – 3000 об/хв;
- Вимушена сила – 2,5..5 кН;
- Статичний момент – 2,5..5,1 кг*см;
- Напруга живлення – 42, 380; 3Ф;
- Частота струму живлення – 50 Гц;
- Номінальна потужність – 0,25 кВт;
- Споживана потужність – 0,5 кВт;
- Маса вібратора – 15,0 кг;
- Робочий ресурс – 5000 год.

Відповідно до потужності та типу двигуна, користуючись таблицею 2.1 обираємо перетворювач частоти **Lenze серії 8200 Vector** типу ETMD 551X28EA.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики, Запобіжники, перетин дротів [6]

Тип ETM(L)D...	Потужність кВт	Живлення Напруга частота	Струм А ⁽³⁾	Вихідний струм I _г				Автомат	Запобіжн ик	Перетин кабеля, мм ²
				I _г		I _{тах} (60 сек.)				
251 X28EA	0.25	I/N/PE 230/240 V (180 У...264 V) 50/60Гц (48 Гц...62 Гц)	3.4	1.7	1.6	2.6	2.4	C10 A	M10 A	1,5
371 X28EA	0.37		5.0	2.4	2.2	3.6	3.3	C10 A	M10 A	1,5
551 X28EA	0.55		6.0	3.2	2.9	4.8	4.4	C10 A	M10 A	1,5
751 X28EA	0.75		9.2	4.2	3.9	6.3	5.8	C16 A	M16 A	2,5
112 X28EA	1.1		12.0	6.0	5.5	9.0	8.3	C20 A	M20 A	2,5
152 X28EA	1.5		16.0	7.0	6.4	10.5	9.6	C25 A	M25 A	2,5
222 X28EA	2.2		21.0	9.6	8.8	14.4	13.2	C30 A	M30 A	4,0
371 L4TXA	0.37	3/PE 400/480 V (320 У...528 V) 50/60Гц (48 Гц...62 Гц)	1.6	1.3	1.2	2.0	1.8	C10 A	M10 A	1,5
751 L4TXA	0.75		3.0	2.5	2.3	3.8	3.5	C10 A	M10 A	1,5
112 L4TXA	1.1		4.3	3.6	3.3	5.4	5.0	C10 A	M10 A	1,5
152 L4TXA	1.5		4.8	4.1	3.8	6.2	5.7	C10 A	M10 A	1,5
222 L4TXA	2.2		6.4	5.8	5.3	8.7	8.0	C10 A	M10 A	1,5
302 L4TXA	3.0		8.3	7.6	7.0	11.4	10.5	C12 A	M12 A	1,5
402 L4TXA	4.0		10.6	9.4	8.6	14.1	12.9	C16 A	M16 A	2,5
552 L4TXA	5.5		14.2	12.6	11.6	18.9	17.4	C20 A	M20 A	2,5
752 L4TXA	7.5		18.1	16.1	14.8	24	22	C25 A	M25 A	4,0
(1) Для номінальної напруги мережі та частоти комутації 4,6, 8 кГц										
(2) Для номінальної напруги мережі та частоти комутації 10 кГц										
Максимальний струм в функції від установки с 73 (вхідна напруга)										
Рекомендується встановлювати автомати серії X8 або XE.										

Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд перетворювача частоти **Lenze серії 8200 Vector** типу **ETMD 551X28EA**

Обраний перетворювач частоти підключаємо до мережі та двигуна користуючись однією з двох наступних схем підключення:

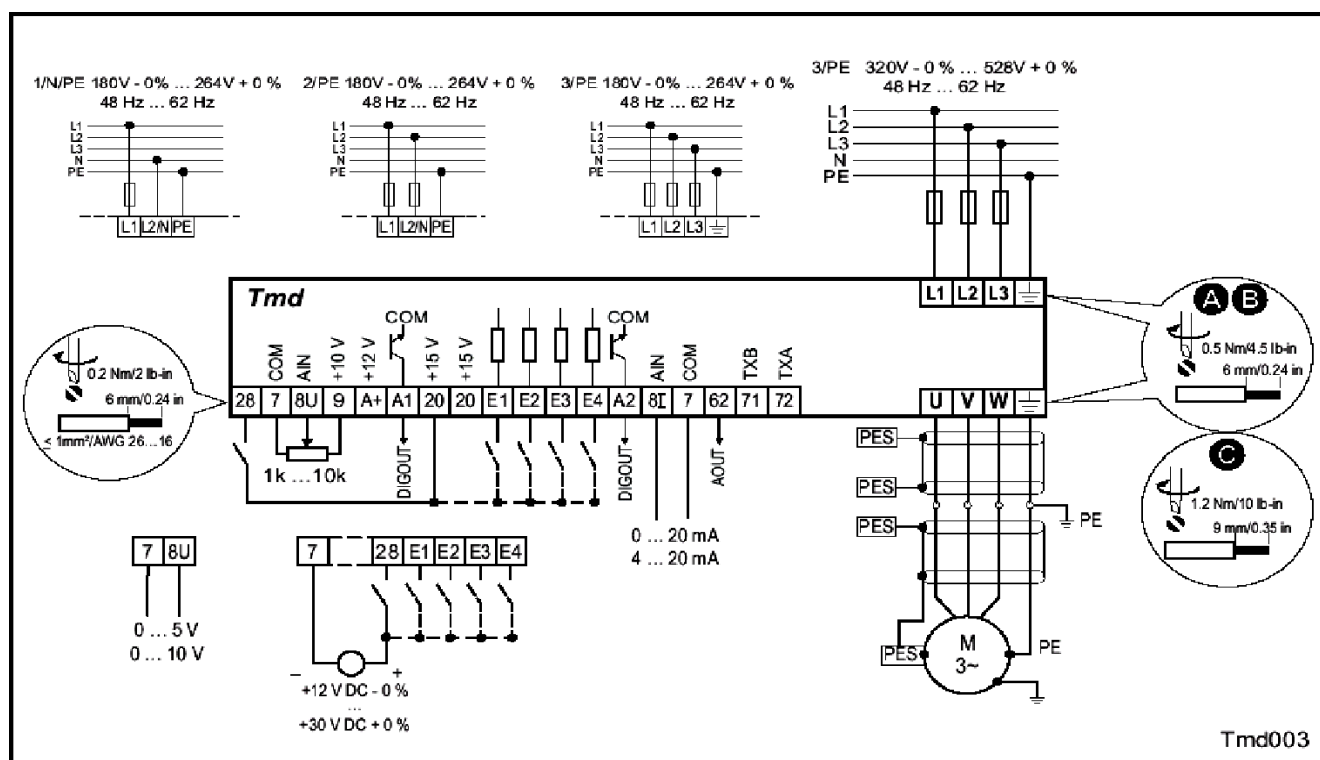
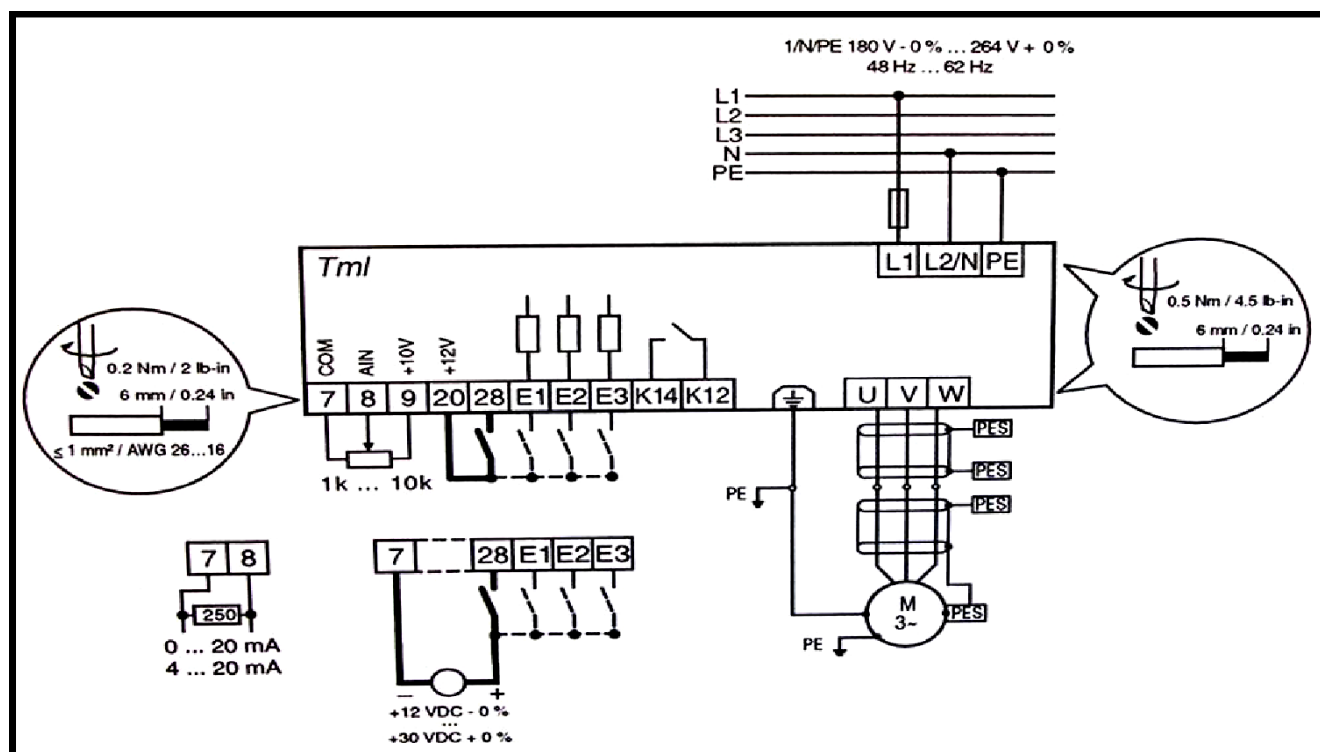


Рисунок 2.5 – Можливі схеми підключення частотного перетворювача 8200 TMD

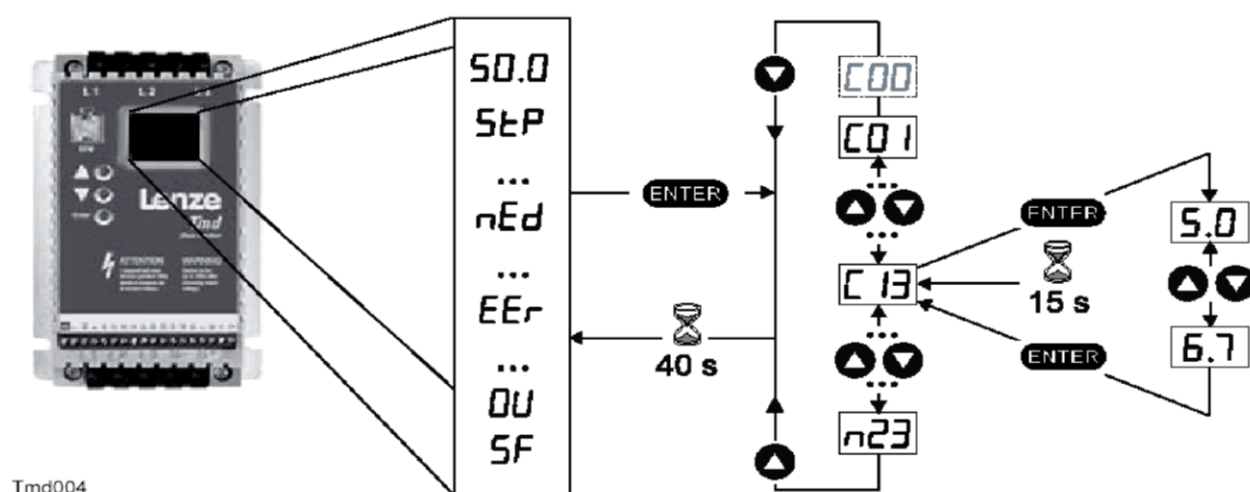
Введення в експлуатацію та програмування частотного перетворювача **8200 TMD**

Рисунок 2.6 – Загальний вигляд монітору та клавіш програмування перетворювача

Таблиця 2.3 – Меню налаштувань параметрів перетворювача [6]

Код	Параметр	Діапазон уставок		Примітка
		Заводська установка	Доступні значення	
C00	Введення паролю	0	0...999	Видимий при активному паролі
01	Задання частоти		0 – Аналоговий вхід (8U, 8I.код C34)	Керування з терміналу
			1 – клавішами ▲ та ▼ (с40/C47)	Програмування з пульту
			2 – Аналоговий вхід (8U, 8I.код C34)	Керування з терміналу
			4- Аналоговий вхід (8U, 8I.код C34) 5 - клавішами ▲ та ▼ (с40/C47)	Програмування з LECOM/ пульту
			6- Аналоговий вхід (8U, 8I.код C34) 7 - клавішами	Керування з віддаленого пульту
				Керування та програмування з

Продовження таблиці 2.3

			▲та▼ (с40/С47)	віддаленого пульта.
			8- Аналоговий вхід (8U, 8І.код С34) 9 - клавішами ▲та▼ (с40/С47)	Керування з терміналу Програмування з Modbus/пульта
			10- Аналоговий вхід (8U, 8І.код С34) 11 - клавішами ▲та▼ (с40/С47)	Керування та програмування з Modbus/пульта
С10	Мінімальна вихідна частота	0.0	0...240 Гц	Вихідна частота при 0% аналогового задання С10 не враховується в режимах JOG та с40
С11	Максимальна вихідна частота	50.0	7,5...240 Гц	Вихідна частота при 100% аналоговому заданні
С12	Час розгону	5.0	0...999с	Частота від 0 Гц до С11
С13	Час гальмування	5.0	0...999с	Частота від С11 до 0 Гц
С46	Задання частота		0,0 (Гц) 240	Задання через аналоговий вхід чи функцію UP/DOWN
С50	Вихідна частота		0,0 (%) 240	Тільки показ.

Продовження таблиці 2.3

C52	Напруга двигуна		0 (В) 999	
C54	Струм двигуна		0,0 (А) 400	Тільки показ.
C56	Навантаження приводу		0 (%) 255	Тільки показ.
C57	Момент двигуна		0 (%) 400	Тільки показ.(при C14 = 4,5)
C66	Стабілізація видкості	30,0	0,0 100	Оптимізує статичні властивості системи в векторному режимі.
C84	Опір статора двигуна	0,00	0,00 (Ом) 16,0	Автоматично встановлюється на $c48^{-1}$)
C86	Потужність двигуна		0,00 (кВт) 99,9	З заводської таблички двигуна
C87	Номінальна швидкість двигуна	1390	300 (об/хв) 65000	
C88	Номінальний струм двигуна	0,0	0,0 (А) 480	
C89	Номінальна частота двигуна	50	10 (Гц) 999	
C90	Номінальна напруга двигуна	0	0 (В) 600	
C91	Cosφ	0,0	0,40 1,0	Коефіцієнт потужності двигуна

3 РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Функціональна схема системи регулювання швидкості АД при живленні його від перетворювача частоти (ПЧ) на основі автономного інвертора напруги з управлінням по вектору потокозчеплення ротора двигуна представлена на рис. 3.1. Подібна система векторного керування (система Transvektor) вперше була запропонована фірмою Siemens (ФРН). Система має два зовнішніх контура регулювання - модуля вектора потокозчеплення ротора $|\Psi|$ і кутовий швидкості з двигуна, а також два підпорядкованих їм внутрішніх контура регулювання складових струму статора I_{1x} і I_{1y} в осях x і y ортогональної системи координат, що обертається з синхронною швидкістю $\omega_{0ел}$ поля двигуна. Система здійснює незалежне регулювання модуля вектора потокозчеплення ротора і швидкості ротора при збереженні прямої пропорційності між моментом двигуна і складовою намагнічує сили статора, перпендикулярній вектору потокозчеплення ротора. Сигнал завдання потокозчеплення ротора $|\Psi_2|_3$ формується в спеціальному обчислювальному пристрої ОП, що використовує математичну модель АД і вводяться в неї реальні параметри двигуна: активні і реактивні опори кіл статора і ротора, число пар полюсів, номінальні значення потужності, швидкості, напруги і струму статора, їх частоти, ККД та потужності.

На рис. 3.1 вводяться параметри двигуна умовно зображені у вигляді сукупності зовнішніх сигналів $X_{зн}$ на вході ОП. Зовнішній сигнал завдання швидкості двигуна ω_3 подається на вхід задатчика інтенсивності ЗІ, що формує темп зміни швидкості двигуна відповідно до необхідних технологічними обмеженнями.

Вимірювання поточних значень швидкості, потокозчеплення ротора і струмів статора АД проводиться за допомогою датчиків швидкості (тахогенератор ТГ), потоку (ДП) і струму (ДС).

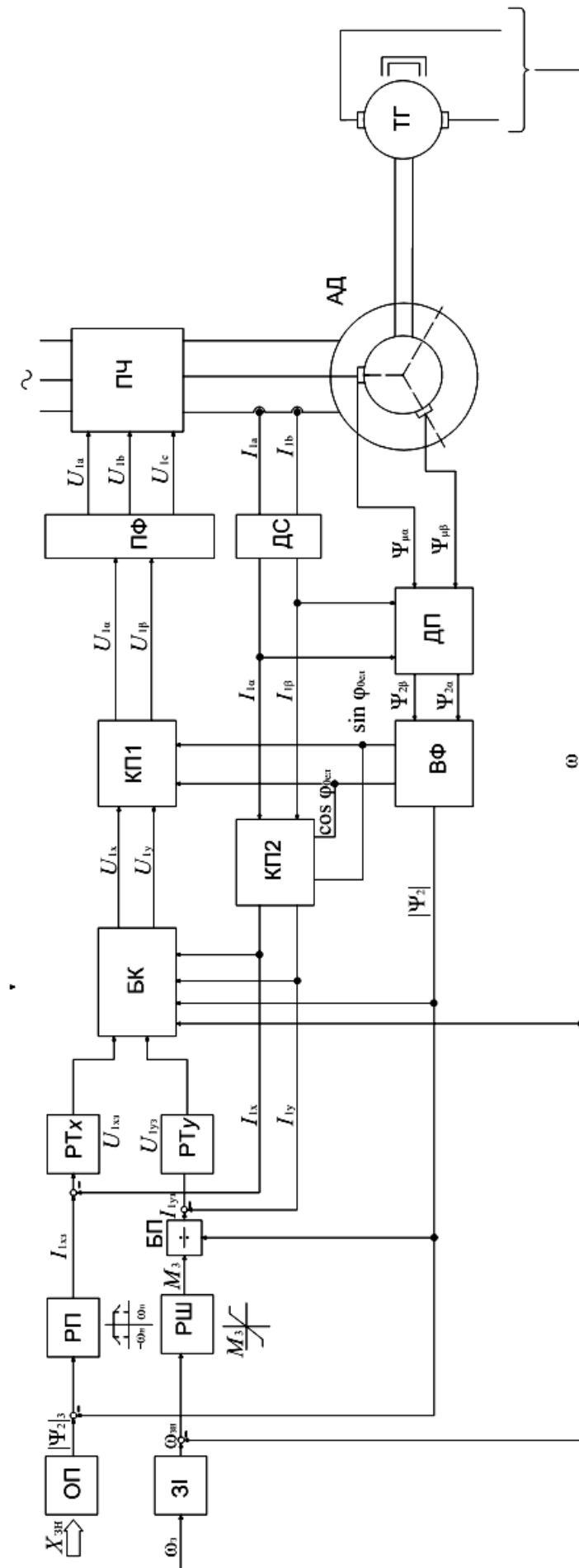


Рисунок 3.1 – Функціональна схема системи регулювання швидкості АД.

Датчик потоку перетворює виміряні за допомогою датчиків Холла трифазні миттєві значення потокозчеплення в повітряному зазорі $\Psi_{\mu a}$ $\Psi_{\mu b}$ в складові потоку $\Psi_{\mu\alpha}$ $\Psi_{\mu\beta}$ в осях α , β ортогональної системи координат, жорстко пов'язаної з нерухомим статором двигуна, причому вісь α поєднується з магнітною віссю обмотки статора фази А. Зазначені складові визначаються наступними виразами:

$$\Psi_{\mu\alpha} = \sqrt{\frac{3}{2}} \Psi_{\mu a},$$

$$\Psi_{\mu\beta} = \sqrt{2} \left(\frac{1}{2} \Psi_{\mu a} + \Psi_{\mu b} \right).$$

Крім того, в ДП здійснюється обчислення складових потокозчеплення ротора згідно виразами:

$$\Psi_{2\alpha} = \frac{L'_2}{L_{12}} \Psi_{\mu\alpha} - (L'_2 - L_{12}) I_{1\alpha},$$

$$\Psi_{2\beta} = \frac{L'_2}{L_{12}} \Psi_{\mu\beta} - (L'_2 - L_{12}) I_{1\beta}.$$

Датчик струму вимірює миттєві значення фазних струмів статора I_{1a} , I_{1b} і аналогічно датчику потоку перетворює їх в двофазну систему змінних $I_{1\alpha}$, $I_{1\beta}$.

Перетворення змінних АД, наведених в нерухомій системі координат α , β , в змінні системи координат x , y , пов'язаної з потокозчеплення ротора і обертається зі швидкістю $\omega_{0\text{ел}}$ здійснюється вектор-фільтром ВФ і координатним перетворювачем КП1.

Вектор-фільтр виділяє модуль вектора потокозчеплення ротора

$$|\Psi_2| = \sqrt{\Psi_{2\alpha}^2 + \Psi_{2\beta}^2};$$

та тригонометричні функції

$$\begin{aligned}\cos \varphi_{0эл} &= \Psi_{2\alpha} / |\Psi_2|, \\ \sin \varphi_{0эл} &= \Psi_{2\beta} / |\Psi_2|,\end{aligned}$$

де $\varphi_{0эл}$ - електричний кут повороту ротора щодо статора в осях x, y ($\varphi_{0эл} = \omega_{0эл} t$).

Перетворювач КП2 здійснює поворот вектора намагнічує сили статора на кут $\varphi_{0эл}$ відповідно до виразів:

$$\begin{aligned}I_{1x} &= I_{1\alpha} \cos \varphi_{0эл} + I_{1\beta} \sin \varphi_{0эл}, \\ I_{1y} &= -I_{1\alpha} \sin \varphi_{0эл} + I_{1\beta} \cos \varphi_{0эл}.\end{aligned}$$

в які входять складові струму статора по осях x, y обертової системи координат.

Оскільки вектор потокозчеплення ротора в системі координат x, y суміщений з віссю x , тобто $|\Psi_2| = \Psi_{2x}$, $\Psi_{2y} = 0$, то складова струму I_{1x} визначає магнітний потік двигуна, що за аналогією з двигуном постійного струму порівнянно з дією струму в ланцюзі його обмотки збудження. При цьому складова струму I_{1y} подібно струму якірного ланцюга двигуна постійного струму визначає електромагнітний момент двигуна.

Завдання на електромагнітний момент двигуна формується вихідним сигналом регулятора швидкості РШ, на вході якого порівнюються сигнал завдання швидкості $\omega_{зі}$ з виходу ЗІ і сигнал, пропорційний поточної швидкості ω двигуна. Обмеження вихідного сигналу РШ забезпечує обмеження завдання максимальних значень електромагнітного моменту АД. Для підтримання сталості електромагнітного моменту при змінах модуля потокозчеплення ротора у відповідності з виразом:

$$M(p) = \frac{3}{2} p_{II} k_2 \Psi_{2x}(p) I_{1y}(p);$$

введено блок поділу (БП) сигналу з виходу регулятора швидкості на $|\Psi_2|$. На виході блоку ділення формується сигнал завдання I_{1y3} складової струму статора по осі y (I_{1y}).

Сигнал завдання I_{1x3} складової струму статора по осі x (I_{1x}) формується на виході регулятора потоку РП, на вході якого порівнюються сигнали завдання і реальні значення модуля потокозчеплення ротора.

Сигнали завдання I_{1xz} та I_{1yz} порівнюються з поточними складовими струмів статора I_{1x} і I_{1y} на входах регуляторів струму відповідно PC_x і PC_y вихідні сигнали яких визначають завдання складових напруг статора U_{1xz} і U_{1yz} в системі координат x, y [7].

4 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ

Структурна схема векторної системи керування з орієнтацією по потокозчеплення ротора зображена на рис. 4.1. Структурна схема має два канали регулювання: канал потокозчеплення і канал регулювання швидкості обертання ротора.

Канал потокозчеплення ротора складається з регулятора потоку W_{PI} , регулятора струму W_{PC} і перетворювача частоти у вигляді інерційної ланки першого порядку. Об'єкти регулювання зведемо в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 - Об'єкти регулювання в каналі потоку

Контур	Об'єкт регулювання для контуру	Опис об'єкта регулювання
Контур струму	$\frac{1/R_{1e}}{T_{1e} \cdot p + 1}$	Обмотка статора. Інерційна ланка першого порядку
Контур потоку	$\frac{k_2 \cdot L_2}{T_2 \cdot p + 1}$	Обмотка ротора. Інерційна ланка першого порядку

Канал регулювання швидкості ротора складається з регулятора швидкості W_{PI} , регулятора струму W_{PC} і перетворювача частоти у вигляді інерційної ланки першого порядку. Об'єкти регулювання і ланки зведемо в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Об'єкти регулювання і ланки в каналі швидкості

Контур	Об'єкт регулювання для контуру	Опис об'єкта регулювання
Контур струму	$\frac{1/R_{1e}}{T_{1e} \cdot p + 1}$	Обмотка статора. Інерційне ланка першого порядку
Контур швидкості	$\frac{3}{2} \cdot p_{\pi} \cdot k_r$	Конструктивний коефіцієнт двигуна
	$\frac{1}{J \cdot p}$	Інтегруюча ланка

Проекції повного струму I_{1x} і I_{1y} обчислюються в результаті перетворень Кларка і Парка. Система координат, в якій розташовані проекції повного струму обертається з частотою обертання ротора.

Поеднання обертання системи координат з обертанням ротора робить проекції повного струму постійними ($I_{1x} = const$ і $I_{1y} = const$) в усталеному режимі, що дозволяє розрахувати коефіцієнти зворотних зв'язків по струмів.

Для отримання бажаних перехідних процесів необхідно виконати синтез регуляторів векторної системи керування.

4.1 Синтез регуляторів

Синтез всіх необхідних регуляторів проводимо користуючись джерелом [8].

4.1.1 Синтез регулятора струму. Запишемо передавальну функцію розімкнутого контуру стабілізації струму:

$$W_{\text{роз.к.стаб.І}}(p) = W_{PC}(p) \cdot \frac{k_{II}}{T_{II} \cdot p + 1} \cdot \frac{1/R_{1e}}{T_{1e} \cdot p + 1}, \quad (4.1)$$

де R_{1e} - сумарний активний опір фази двигуна,

$$R_{1e} = R_s + k_r^2 \cdot R_r, \quad (4.2)$$

$$\text{де } k_r = \frac{L_m}{L_r}.$$

Бажана передатна функція розімкнутого контуру стабілізації струму:

$$W_{\text{баж.роз.к.стаб.І}}(p) = \frac{1/k_{O.C.}}{a_T \cdot T_{\mu} \cdot p \cdot (T_{\mu} \cdot p + 1)}, \quad (4.3)$$

де $k_{O.C.}$ - коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом.

Приймаємо $a_T = 2$ відповідно до настройки регулятора на МО, $T_{\mu} = T_{II}$.

Обчислимо передавальну функцію регулятора:

$$W_{PC} = \frac{1/k_{O.C.1}}{2 \cdot T_{II} \cdot p \cdot (T_{II} \cdot p + 1)} \cdot \frac{T_{II} \cdot p + 1}{k_{II}} \cdot \frac{T_{1e} \cdot p + 1}{1/R_{1e}} = \frac{T_{1e} \cdot p + 1}{k_{O.C.} \cdot 2 \cdot T_{II} \cdot p \cdot k_{II} \cdot 1/R_{1e}}. \quad (4.4)$$

Позначимо:

$$T_{III} = \frac{k_{O.C.} \cdot 2 \cdot T_{II} \cdot k_{II}}{R_{1e}}. \quad (4.5)$$

Тоді вираз набуде вигляду:

$$W_{PC}(p) = \frac{T_{1e} \cdot p + 1}{T_{III} \cdot p}. \quad (4.6)$$

4.1.2 Синтез регулятора потоку

Запишемо передавальну функцію розімкнутого контуру стабілізації потоку:

$$W_{роз.к.стаб.П}(p) = W_{РП}(p) \cdot W_{зам.к.стаб.І}(p) \cdot \frac{k_r \cdot L_r}{T_2 \cdot p + 1}. \quad (4.5)$$

Передавальна функція замкнутого контуру регулювання потоку:

$$W_{зам.кон.стаб.І}(p) = \frac{W_{роз.кон.стаб.І}(p)}{1 + W_{роз.кон.стаб.І}(p) \cdot k_{О.С.}} = \frac{1/k_{О.С.}}{2 \cdot T_{П} \cdot p + 1}. \quad (4.6)$$

Бажана передатна функція розімкнутого контуру стабілізації потоку:

$$W_{баж.роз.к.стаб.П}(p) = \frac{1/k_{О.П.}}{a_T \cdot T_{\mu c} \cdot p \cdot (T_{\mu c} \cdot p + 1)}. \quad (4.7)$$

Приймаємо $a_T = 2$, $a_{П} = 2$ відповідно до настройки регулятора на МО і некомпенсованих постійну часу приймаємо $T_{\mu c} = a_{П} \cdot T_{П}$.

Обчислимо передавальну функцію регулятора:

$$W_{РП}(p) = \frac{1/k_{О.П.}}{2 \cdot 2 \cdot T_{П} \cdot p \cdot (2 \cdot T_{П} \cdot p + 1)} \cdot \frac{2 \cdot T_{П} \cdot p + 1}{1/k_{О.Т.1}} \cdot \frac{T_2 \cdot p + 1}{k_r \cdot L_r} = \frac{k_{О.Т.1} \cdot (T_2 \cdot p + 1)}{4 \cdot T_{П} \cdot p \cdot k_{О.П.} \cdot L_m}. \quad (4.8)$$

Позначимо:

$$T_{ПП} = \frac{k_{О.П.} \cdot 4 \cdot T_{П} \cdot L_m}{k_{О.Т.1}}. \quad (4.9)$$

Тоді вираз набуде вигляду:

$$W_{РП}(p) = \frac{T_2 \cdot p + 1}{T_{ПП} \cdot p}. \quad (4.10)$$

4.1.3 Синтез регулятора швидкості

Запишемо передавальну функцію розімкнутого контуру стабілізації швидкості:

$$W_{роз.к.стаб.Ш}(p) = \frac{1}{|\psi_2| \cdot k_{О.П.}} \cdot W_{РШ}(p) \cdot W_{зам.кон.стаб.І}(p) \cdot |\psi_2| \cdot \frac{3}{2} \cdot p_{П} \cdot k_r \cdot \frac{1}{J \cdot p}. \quad (4.11)$$

Передавальна функція замкнутого контуру регулювання потоку:

$$W_{зам.кон.стаб.І}(p) = \frac{W_{роз.кон.стаб.І}(p)}{1 + W_{роз.кон.стаб.І}(p) \cdot k_{О.С.}} = \frac{1/k_{О.С.2}}{2 \cdot T_{П} \cdot p + 1}. \quad (4.12)$$

Бажана передатна функція розімкнутого контуру стабілізації потоку:

$$W_{баж.роз.к.стаб.П}(p) = \frac{1/k_{О.С.}}{a_T \cdot T_{\mu c} \cdot p \cdot (T_{\mu c} \cdot p + 1)}. \quad (4.13)$$

Приймаємо $a_T = 2$, $a_C = 2$ відповідно до настройки регулятора на МО, а не скомпенсовану постійну часу $T_{\mu c} = a_C \cdot T_{\Pi}$.

Обчислимо передавальну функцію регулятора:

$$W_{PII}(p) = \frac{1/k_{O.II}}{2 \cdot 2 \cdot T_{\Pi} \cdot p \cdot (2 \cdot T_{\Pi} \cdot p + 1)} \cdot \frac{2 \cdot T_{\Pi} \cdot p + 1}{1/k_{O.T}} \cdot \frac{2 \cdot k_{O.II} \cdot J \cdot p}{3 \cdot z_p \cdot k_r} = \frac{k_{O.II} \cdot k_{O.T.2} \cdot J}{3 \cdot z_p \cdot k_r \cdot 2 \cdot T_{\Pi} \cdot k_{O.C.}} = k_{PII}. \quad (4.14)$$

Постійні часу

$$T_{1e} = \sigma \cdot \frac{L_s}{R_{1e}}, \quad (4.15)$$

$$T_2 = \frac{L_r}{R_r}. \quad (4.16)$$

4.2 Розрахунок коефіцієнтів зворотних зв'язків

Коефіцієнт зворотного зв'язку за потоком:

$$k_{O.II} = \frac{U_{H.3}}{\psi_2}. \quad (4.17)$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом в контурі потокозчеплення:

$$k_{O.C.1} = \frac{U_{H.3}}{I_{1\alpha\beta}}. \quad (4.17)$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом в контурі регулювання моменту:

$$k_{O.C.2} = \frac{U_{H.3}}{I_{1\beta\delta}}. \quad (4.18)$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю:

$$k_{O.II} = \frac{U_{H.3}}{\omega_{r.\delta}}. \quad (4.19)$$

Коефіцієнт передачі перетворювача за напругою і стала часу:

$$k_{\Pi} \frac{U_{\delta}}{U_{H.3}}. \quad (4.20)$$

$$T_{\Pi} = 0,001c.$$

5 РОЗРАХУНОК ТА МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ

5.1 Базисні значення

Для розрахунку регуляторів і складових моделі, необхідно задатися базисними значеннями координат електропривода.

$U_{\bar{o}} = \sqrt{2} \cdot U_{\phi.n.}$ - амплітудне значення номінальної фазної напруги обмотки статора, В;

$I_{\bar{o}} = \sqrt{2} \cdot I_1$ - амплітудне значення номінального струму обмотки статора, В;

$I_{1\alpha\bar{o}} = I_{1\alpha}$ - струм в каналі потокозчеплення двигуна, А;

$I_{1\beta\bar{o}} = k_{кр} \cdot I_{1\beta}$ - струм в каналі швидкості двигуна, А;

де $k_{кр}$ - відношення критичного моменту до номінального $k_{кр} = \frac{M_{кр}}{M_n}$.

$\omega_{\bar{o}} = 2 \cdot \pi \cdot f_{c.n.}$ - номінальна кутова частота напруги статора, с⁻¹;

$\omega_{r.\bar{o}} = \frac{\omega_{\bar{o}}}{z_p}$ - кутова частота обертання ротора, с⁻¹;

$M_{\bar{o}} = k_{кр} \cdot \frac{P_n}{\omega_{r.\bar{o}}}$ - електромагнітний момент, Н · м;

$\psi_{2\bar{o}} = \psi_2 = L_m \cdot I_{1\alpha}$ - потокозчеплення ротора, Вб;

Розрахунок проекцій струмів

$$I_{1\alpha} = \sqrt{2} \cdot I_1 \cdot \sqrt{\left(\frac{-R_s \cdot \sin \varphi - X_s \cdot \cos \varphi}{X_m} \right)^2 + \left(\frac{X_s \cdot \sin \varphi + R_s \cdot \cos \varphi - \frac{U_1}{I_1}}{X_m} \right)^2}, \quad (5.1)$$

$$I_{1\beta} = \sqrt{2} \cdot I_1 \cdot \sqrt{\left(\cos \varphi - \frac{-R_s \cdot \sin \varphi - X_s \cdot \cos \varphi}{X_m} \right)^2 + \left(-\sin \varphi - \frac{X_s \cdot \sin \varphi + R_s \cdot \cos \varphi - \frac{U_1}{I_1}}{X_m} \right)^2}. \quad (5.2)$$

5.2 Розрахунок структурної схеми у відносних одиницях

Загальна формула переведення абсолютних величин в в.о.:

$$y = \frac{Y}{Y_{\delta}}. \quad (5.3)$$

Переведення струму:

$$i_a = \frac{I}{I_{\delta}}. \quad (5.4)$$

Кутова швидкість:

$$n = \frac{\omega_n}{\omega_{\delta}}. \quad (5.5)$$

Потокозчеплення:

$$\psi = \frac{\Psi_{2n}}{\Psi_{\delta}}. \quad (5.6)$$

Переведення коефіцієнтів зворотних зв'язків здійснюється за формулою:

$$k' = K \cdot \frac{Y_{\text{вх.}\delta}}{Y_{\text{вих.}\delta}}. \quad (5.7)$$

Розрахунок коефіцієнтів:

$$k'_{OC1} = k_{OC} \cdot \frac{I_{\delta}}{U_{зб}}. \quad (5.8)$$

$$k'_{OШ} = k_{OШ} \cdot \frac{\omega_{\delta}}{U_{зб}}. \quad (5.9)$$

$$k'_{OP} = k_{OP} \cdot \frac{\Psi_{\delta}}{U_{зб}}. \quad (5.10)$$

Розрахунок передавальних коефіцієнтів ланок структурної схеми в в.о.

Перетворювач:

$$k'_{\Pi} = k_{\Pi} \cdot \frac{U_{\text{вх.}\delta}}{U_{\text{вих.}\delta}}. \quad (5.11)$$

Ланка електричної частини двигуна:

$$r_{1e} = \frac{R_{1e}}{R_{\delta}}. \quad (5.12)$$

Регулятор швидкості:

$$k' = \frac{T_j}{2 \cdot 2 \cdot T_{II}}. \quad (5.13)$$

Інерційна постійна приводу:

$$T_j = \frac{\omega_{\delta}}{M_{\delta}} \cdot J_{\Sigma}. \quad (5.14)$$

Розрахунок моменту опору:

$$m = \frac{M_c}{M_{\delta}}. \quad (5.15)$$

5.3 Розрахунок векторної системи керування

Проведемо розрахунок параметрів та моделювання системи керування, користуючись формулами (4.1 – 4.20) та (5.1 – 5.15) та каталогом [9].

Зробимо розрахунок параметрів двигуна.

Номінальна частота обертання ротора	$\omega_n = 287,45$ рад/с.
Номінальний момент	$M_n = 1,74$ Нм.
Пусковий момент	$M_n = 3,479$ Нм.
Критичний момент	$M_{кр} = 3,827$ Нм.
Номінальний струм статора	$I_n = 1,297$ А.
Номінальна ковзання	$S_n = 0,085$.
Критичне ковзання	$S_{кр} = 0,545$.
Активний опір статора	$R_s = 22,047$ Ом.
Активний опір ротора	$R_r = 16,28$ Ом.
Реактивний опір статора	$X_s = 8,31$ Ом.
Реактивний опір ротора	$X_r = 14,076$ Ом.
Опір взаємоіндукції	$X_m = 423,98$ Ом.
Повна індуктивність статора	$L_s = 1,376$ Гн.
Повна індуктивність ротора	$L_r = 1,39$ Гн.
Взаємна індуктивність статора і рота	$L_m = 1,35$ Гн.

Коефіцієнт магнітного зв'язку статора	$k_s = 0,9812;$
Коефіцієнт магнітного зв'язку ротора	$k_r = 0,968.$
Коефіцієнт розсіювання машини	$\sigma = 0,04416.$
Для створення моделі приймемо момент інерції механізму	

$$J_{\text{мех}} = 10 \cdot J_{\text{об}} = 10 \cdot 0,0009 = 0,009 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Сумарний момент складе

$$J_{\Sigma} = J_{\text{мех}} + J_{\text{об}} = 0,009 + 0,0009 = 0,009899 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Розрахунок базисних значень

$$U_{\phi} = \sqrt{2} \cdot U_{\phi.\text{н.}} = \sqrt{2} \cdot 220 = 311,127 \text{ В},$$

$$I_{\phi} = \sqrt{2} \cdot I_1 = \sqrt{2} \cdot 1,297 = 1,835 \text{ А},$$

$$\begin{aligned}
 I_{1\alpha} &= I_{\phi} \cdot \sqrt{\left(\frac{R_s \cdot \sin \varphi + X_s \cdot \cos \varphi}{X_m} \right)^2 + \left(\frac{X_s \cdot \sin \varphi + R_s \cdot \cos \varphi - \frac{U_{\phi}}{I_{\phi}}}{X_m} \right)^2} = \\
 &= 1,834 \cdot \sqrt{\left(\frac{22,0471 \cdot 0,6 + 8,31 \cdot 0,809}{423,983} \right)^2 + \left(\frac{8,31 \cdot 0,6 + 22,047 \cdot 0,809 - \frac{311,12}{1,83}}{423,983} \right)^2} = 0,642 \text{ А},
 \end{aligned}$$

$$I_{1\beta} = I_{\delta} \cdot \sqrt{\left(\cos \varphi - \frac{-R_s \cdot \sin \varphi + X_s \cdot \cos \varphi}{X_m}\right)^2 + \left(-\sin \varphi - \frac{X_s \cdot \sin \varphi + R_s \cdot \cos \varphi - \frac{U_{\delta}}{I_{\delta}}}{X_m}\right)^2} =$$

$$= 1,83 \cdot \sqrt{\left(0,809 - \frac{-22,047 \cdot 0,6 + 8,31 \cdot 0,809}{423,98}\right)^2 + \left(-0,6 - \frac{8,31 \cdot 0,6 + 22,0471 \cdot 0,809 - \frac{311,126}{1,834}}{5,536}\right)^2} = 1,567 \text{ A},$$

$$I_{1\alpha\delta} = I_{1\alpha} = 0,642 \text{ A},$$

$$I_{1\beta\delta} = k_{kp} \cdot I_{1\beta} = 2,2 \cdot 1,566 = 3,447 \text{ A},$$

$$\omega_{\delta} = 2 \cdot \pi \cdot f_{c.H.} = 314,159 \text{ c}^{-1},$$

$$\omega_{r.\delta} = \frac{\omega_{\delta}}{z_p} = \frac{314,159}{1} = 314,159,$$

$$M_{\delta} = k_{kp} \cdot \frac{P_u}{\omega_{r.\delta}} = 2,2 \cdot \frac{500}{314,159} = 3,501 \text{ Hm},$$

$$\Psi_{2\delta} = \Psi_2 = L_m \cdot I_{1\alpha\delta} = 1,3495 \cdot 0,641 = 0,866 \text{ B}\delta,$$

$$R_{1e} = R_s + k_r^2 \cdot R_r = 22,047 + 0,967^2 \cdot 16,28 = 37,299 \text{ OM},$$

$$k_{O.C.1} = \frac{U_{u.3.}}{I_{1\alpha\delta}} = \frac{10}{0,641} = 15,583 \frac{\text{B}}{\text{A}},$$

$$k_{O.C.2} = \frac{U_{u.3.}}{I_{1\beta\delta}} = \frac{10}{3,446} = 2,901 \frac{\text{B}}{\text{A}},$$

$$k_{O.C.} = \frac{U_{u.3.}}{\omega_{r.\delta}} = \frac{10}{314,159} = 0,032 \text{ B} \cdot \text{c},$$

$$k_{\Pi} = \frac{U_{\delta}}{U_{\text{н.з.}}} = \frac{311,126}{10} = 31,113 \frac{B}{A},$$

$$T_2 = \frac{L_r}{R_r} = \frac{1,394}{16,28} = 0,086 \text{ c},$$

$$T_{1e} = \sigma \cdot \frac{L_s}{R_{1e}} = 0,04416 \cdot \frac{1,37}{37,29} = 0,001629 \text{ c},$$

$$k_{O.\Pi.} = \frac{U_{\text{н.з.}}}{\Psi_{2\delta}} = \frac{10}{0,866} = 11,547 \frac{B}{B\delta},$$

$$T_{III1} = \frac{k_{O.C.1} \cdot 2 \cdot T_{\Pi} \cdot k_{\Pi}}{R_{1e}} = \frac{15,583 \cdot 2 \cdot 0,001 \cdot 31,112}{37,298} = 0,026 \text{ c},$$

$$W_{PIII1}(p) = \frac{T_{1e} \cdot p + 1}{T_{III1} \cdot p} = \frac{0,00629 \cdot p + 1}{0,026 \cdot p},$$

$$T_{III2} = \frac{k_{O.C.2} \cdot 2 \cdot T_{\Pi} \cdot k_{\Pi}}{R_{1e}} = \frac{2,901 \cdot 2 \cdot 0,001 \cdot 31,112}{37,298} = 0,00484 \text{ c},$$

$$W_{PIII2}(p) = \frac{T_{1e} \cdot p + 1}{T_{III2} \cdot p} = \frac{0,001629 \cdot p + 1}{0,00484 \cdot p},$$

$$T_{III} = \frac{k_{O.\Pi.} \cdot 4 \cdot T_{\Pi} \cdot L_m}{k_{O.C.1}} = \frac{11,54 \cdot 4 \cdot 0,001 \cdot 1,349}{15,583} = 0,004 \text{ c},$$

$$W_{PII}(p) = \frac{T_2 \cdot p + 1}{T_{III} \cdot p} = \frac{0,86 \cdot p + 1}{0,004 \cdot p},$$

$$W_{PIII}(p) = k_{PIII} = \frac{k_{O.\Pi.} \cdot k_{O.T.} \cdot J_{\Sigma}}{3 \cdot Z_p \cdot k_r \cdot 2 \cdot T_{\Pi} \cdot k_{O.C.}} = \frac{11,546 \cdot 2,901 \cdot 0,00989}{3 \cdot 1 \cdot 0,967 \cdot 2 \cdot 0,001 \cdot 0,0318} = 1794.$$

Після розрахунку всіх величин, що входять в структурну схему, необхідно ввести їх у модель векторної системи керування. Зробимо моделювання векторної системи керування. На рис 5.1. представлена модель системи.

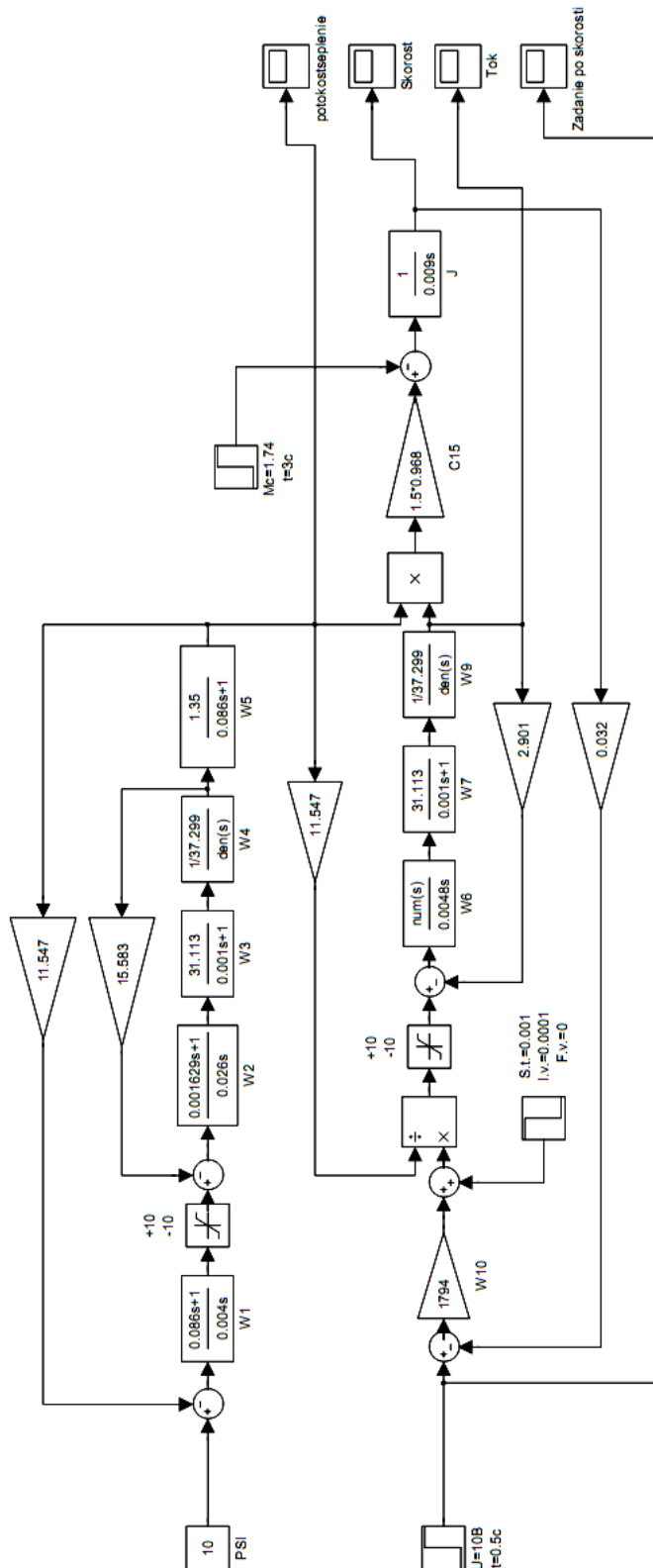


Рисунок 5.1 – Модель векторної системи керування.

Після проведення моделювання отримано графіки перехідних процесів в двигуні, що подані на рис. 5.2-5.5.

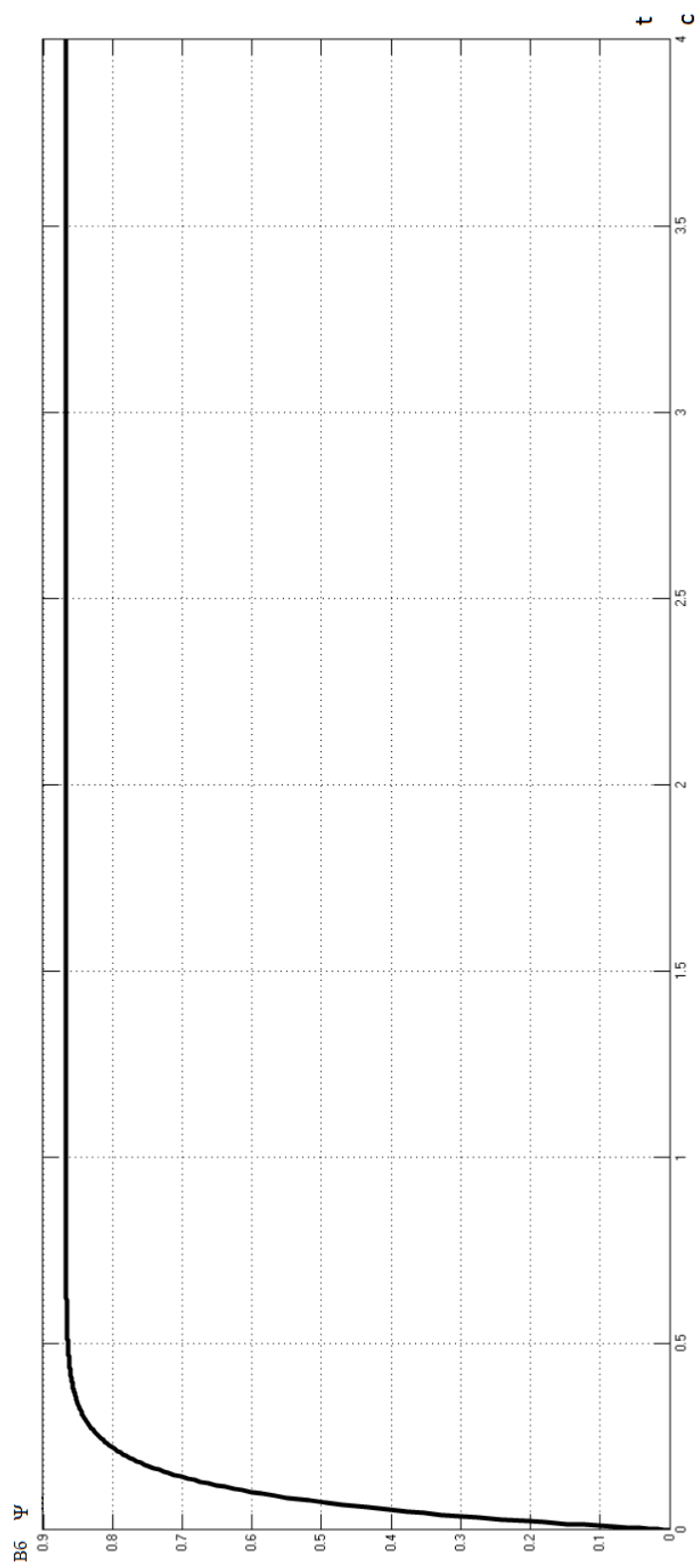


Рисунок 5.2 – Графік залежності потокозчеплення від часу.

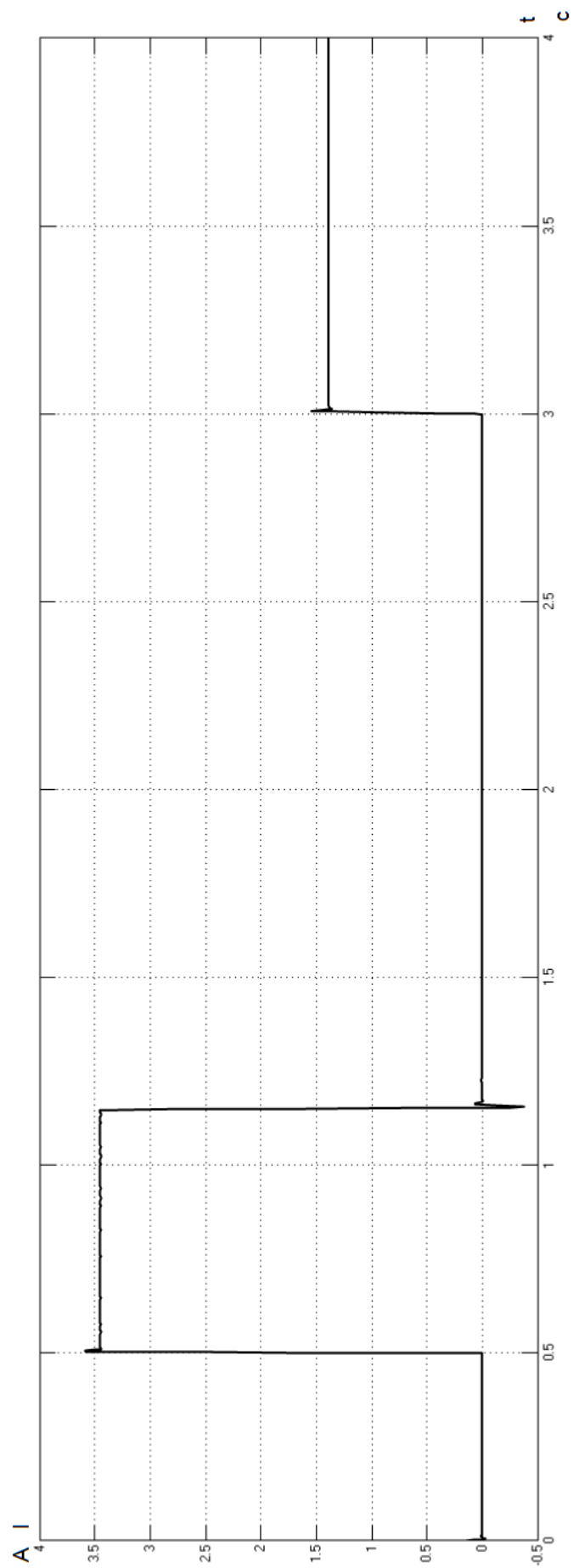


Рисунок 5.3 – Графік перехідного процесу струму статора.

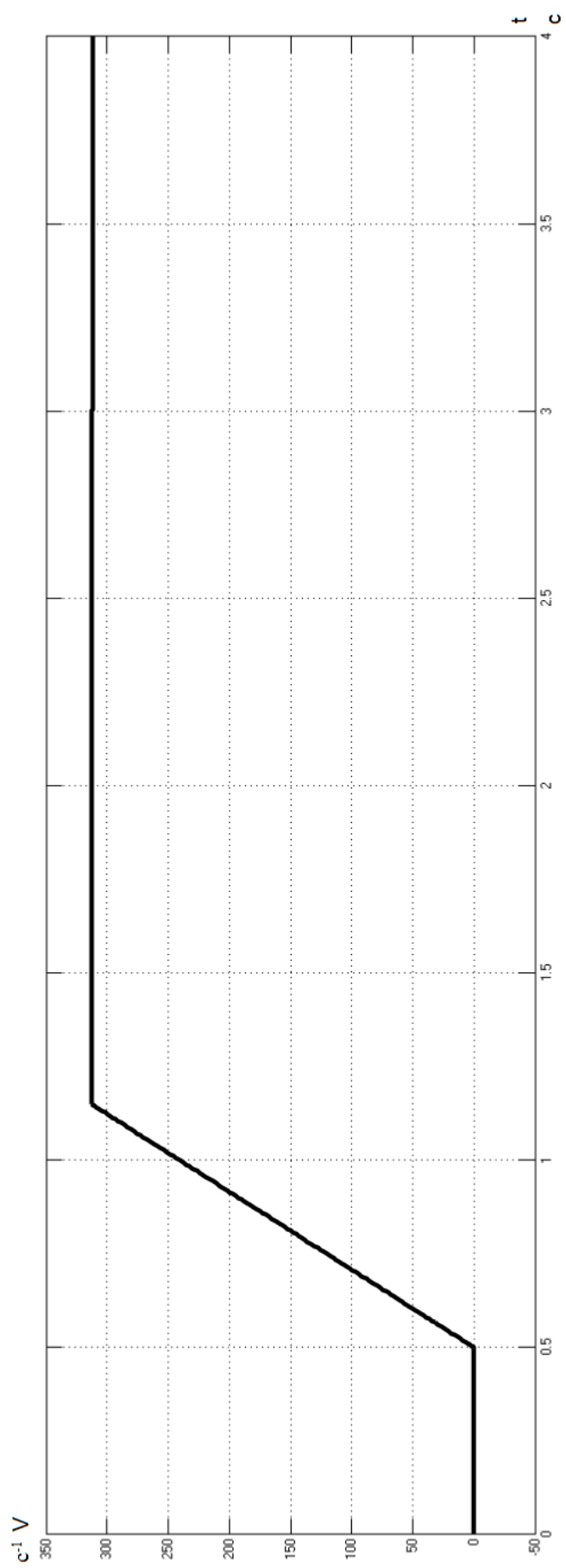


Рисунок. 5.4 – Графік перехідного процесу швидкості обертання ротора.

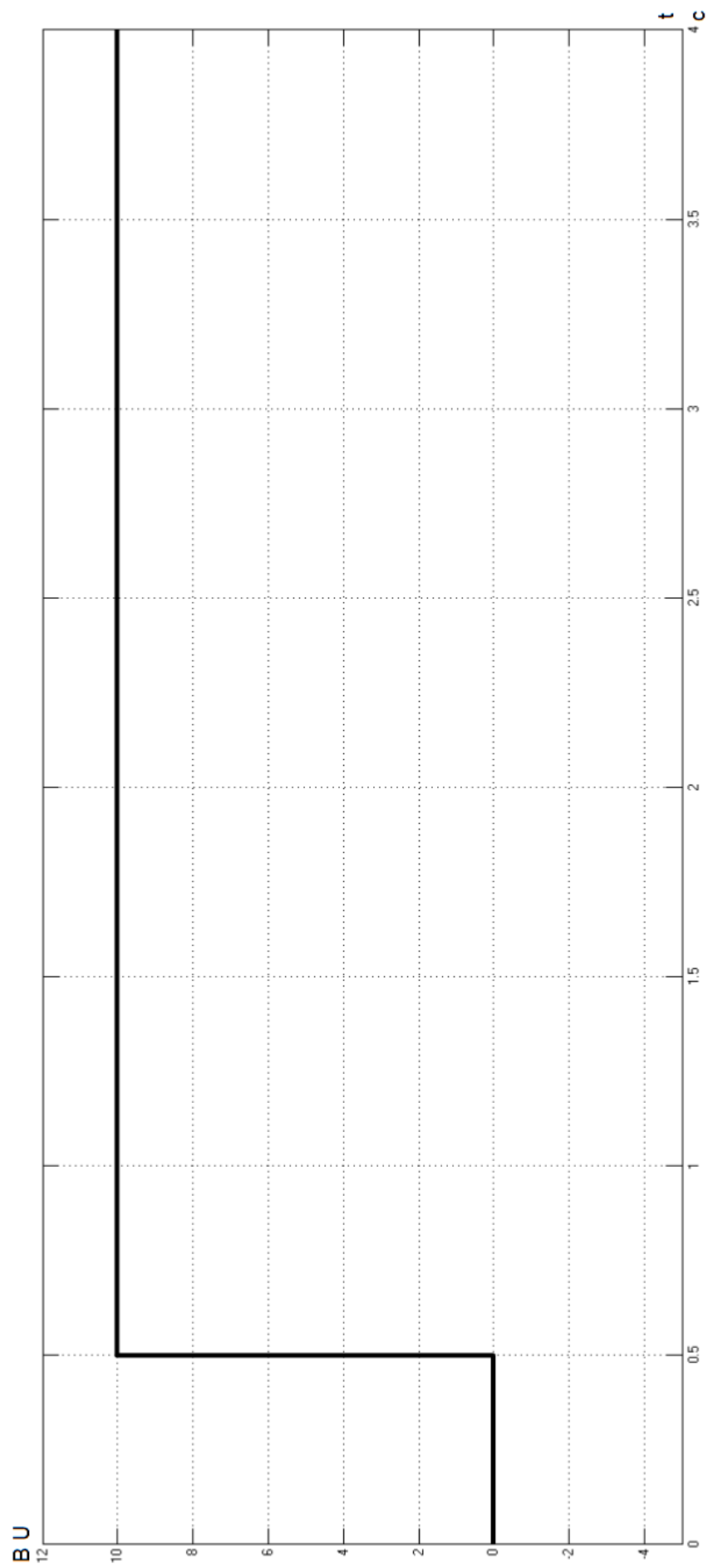


Рисунок 5.5 – Задання по швидкості.

З отриманих графіків видно, що час розгону двигуна становить 0.755с., номінальна частота обертання відповідає заданій.

Графік перехідного процесу потокозчеплення має експоненціальний характер, час перехідного процесу становить 0.65с., встановлена величина потокозчеплення дорівнює 0.866 Вб, що відповідає умовам моделювання.

Час перехідного процесу струму статора $t = 3.0275$ с. Величина пускового струму дорівнює 3.5839 А, а усталеного 1,383 А. Пусковий струм більший за усталений у 2.6 рази, що задовольняє умовам експлуатації двигуна.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Вібрація (від лат. Vibratio - коливання) - пружні механічні коливання високої частоти і малої амплітуди в техніці (машинах, механізмах, конструкціях та ін.)

Корисна вібрація спеціально створюється вібраторами і використовується в будівельній і транспортній техніці, в машинобудуванні, медицині та ін.

Шкідлива вібрація виникає при роботі або русі технічних пристроїв (транспортних засобів, двигунів, компресорів, турбін і т. д.) і може призводити до порушення режимів роботи та до аварій машин.

Для захисту машин від вібрації використовують спеціальні методи, в т. ч. і віброізоляцію. Дія вібрації на організм може бути як позитивна, так і шкідлива, викликаючи професійні захворювання. Вібрація виникає на скреперах, бульдозерах, автогрейдерів, автомобілях, тракторах та інших самохідних машинах; через сидіння кабіни управління, підвішеної до башти, внаслідок коливань крана при підйомі і опусканні вантажу (до таких кранів відносять баштові і стрілові самохідні); через підлогу робочого місця від вібрації стенда, на якому випробовується генеруючий вібрації механізм; через підлогу робочого місця, розташованого на формуючому агрегаті бетоноукладчика; від пневматичної або електричної ручної машини, від органів управління самохідної машини.

По впливу на організм людини розрізняють загальну і локальну вібрацію. Загальній вібрації організм піддається під впливом коливань робочого місця (робочої площадки, статі, сидіння). Загальну вібрацію поділяють на три категорії:

- транспортна вібрація (загальна вібрація 1-й категорії) впливає на людину на робочих місцях самохідних та причіпних машин, транспортних засобів при русі по місцевості і дорогах. До джерел транспортної В. відносять трактори, вантажні автомобілі, снігоочисники і др.;
- транспортно-технологічна вібрація (загальна вібрація 2-й категорії) впливає на людину на робочих місцях машин, що пересуваються по спеціально підготовленій поверхні виробничих приміщень. До джерел транспортно-технологічної В. відносять екскаватори, вантажопідйомні крани, машини для завантаження мартенівських печей в металургійному виробництві та ін;

- технологічна вібрація (загальна вібрація 3-ї категорії) впливає на людину на робочих місцях стаціонарних машин або передається на робочі місця, що не мають джерел вібрації. До джерел технологічної вібрації відносять верстати, ковальсько-пресове обладнання, ливарні машини, вентилятори та ін.;

Загальну вібрацію 3-ї категорії поділяють на такі типи:

- на постійних робочих місцях виробничих приміщень;
- робочих місцях на складах, в їдальнях, побутових та інших виробничих приміщеннях, де немає машин - джерел вібрації ;
- робочих місцях у приміщеннях конструкторських бюро, лабораторій, навчальних пунктів, обчислювальних центрів, здоровпунктів, робочих кімнатах та ін приміщеннях для працівників розумової праці.

Джерела виникнення локальних вібрацій: ручні машини, органи ручного управління машинами та обладнанням, оброблювані деталі.

Вплив вібрації залежить від її виду, тривалості та напрямку дії, частоти і амплітуди коливань, рівня шуму, мікроклімату на робочому місці та ін. факторів.

Вібрація характеризується спектром частот і такими кінематичними параметрами, як віброшвидкість і віброприскорення або їх логарифмічними рівнями в децибелах.

Вібрацію класифікують:

за способом передачі людині - локальна, що передається на руки працюючого; загальна (вібрація робочих місць), що передається через опорні поверхні тіла в положенні сидячи (сідниці) або стоячи (підшви ніг);

за характером спектра - низькочастотна (з переважанням максимальних рівнів в октавних смугах 1-4 Гц і 8-16 Гц відповідно для загальної та локальної вібрації.); середньочастотна (8-16 Гц для загальної вібрації, 31,5 і 63 Гц для локальної вібрації); високочастотна (31,5 і 63 Гц для загальної вібрації, 125-1000 Гц для локальної вібрації);

за часовими характеристиками - постійна вібрація, для якої величина віброшвидкості або віброприскорення змінюється не більш ніж в 2 рази (на 6 дБ) за

час спостереження; непостійна вібрація (коливається, змінна, імпульсна), для якої величина віброшвидкості або віброприскорення змінюється не менш ніж в 2 рази (на 6 дБ) за час спостереження не менше 10 хв.

Виробничими джерелами локальної вібрації є машини ударної (клепальні і рубальні, відбійні молотки; пневмотрамбувачи), ударно-обертальної (пневматичні та електричні перфатори) і обертальної (шліфувальні, свердлильні машини; електро-і бензомоторні пилки) дії. Локальна вібрація має місце при точильних, наждачних, шліфувальних, полірувальних роботах, які виконуються на стаціонарних верстатах з ручною подачею виробів; при роботі ручними інструментами без двигунів, (напр., рихтувальні роботи). До можливих джерел локальної вібрації відносяться органи ручного управління машинами та обладнанням.

Ручні вібронебезпечні машини генерують вібрацію, рівні якої найчастіше значно перевищують нормативні значення (112 дБ) на 5-26 дБ і більше. Пневмотрамбувачи, гайковерти, гірські свердла створюють вібрацію з високими рівнями в області низьких частот. Максимальні рівні коливальної швидкості пневматичних відбійних молотків, бурильних перфаторів з числом ударів до 2000 в 1 хв частіше лежать в широкій області низьких, середніх і частково високих частот.

Причинами підвищення рівнів вібрації є:

- зниження величини осьового зусилля подачі;
- зміна фізико-хімічних властивостей матеріалів;
- збільшення довжини вставного інструменту для рубальних молотків, діаметра заклепок для клепальних молотків;
- подовження оправки і збільшення діаметра абразивного круга для шліфувальних машин;
- зношеність та несправність машин.

Загальна вібрація за джерелом виникнення підрозділяється на транспортну, транспортно-технологічну і технологічну. Водії транспортних машин (тракторів, самохідної сільськогосподарської техніки, вантажного автотранспорту, землерийних машин та ін), а також оператори транспортно-технологічного устаткування (екскаваторів, підйомних кранів, гірничодобувних машин, бетоноукладачів та ін) піддаються впливу загальної та локальної вібрації. На робочі місця передається низькочастотна поштовхоподібна вібрація безладного характеру, що виникає в процесі пересування машин по нерівній поверхні або від роботи рухомих частин механізмів.

На робоче місце водія, в т. ч. і на органи управління, передається вібрація, що виникає в результаті роботи двигуна. До джерел технологічних вібрацій відносяться: обладнання, дія якого заснована на використанні вібрації і ударів (віброплатформи, вібростенди, молоти, штампи, преси і т. д.); потужні електричні установки (компресори, насоси, вентилятори, деякі металообробні верстати та ін).

З факторів виробничого середовища, що посилюють шкідливий вплив локальних і загальних вібрацій на організм, слід відзначити: надмірні м'язові навантаження; шум високої інтенсивності; несприятливі мікрокліматичні умови.

Вібрація належить до факторів, що володіє значною біологічною активністю. Характер, глибина і спрямованість функціональних зрушень з боку різних систем організму визначаються насамперед рівнем, спектральним складом і тривалістю впливу вібрації.

В суб'єктивному сприйнятті вібрації і об'єктивних фізіологічних реакціях важлива роль належить біомеханічним властивостям тіла людини як складної коливальної системи.

Ступінь поширення коливань по тілу залежить від їх частоти, амплітуди, площі ділянок тіла, що стикаються з вібруючим об'єктом, місця програми та напрямки осі вібраційного впливу, демпфуючих властивостей тканин, явища резонансу та ін умов.

При низьких частотах вібрація поширюється по тілу з малим загасанням, охоплюючи коливальним рухом все тулуб і голову. Виявляється пряма залежність між ступенем статичних м'язових зусиль при роботі з ручним механізованим інструментом і ступенем поширення коливань. Знижуючи силові дії, що додаються до машини, можна значною мірою обмежити поширення вібрації по тілу і тим самим знизити її несприятливу дію.

При вивченні біологічної дії вібрації приймається до уваги характер її розповсюдження по тілу людини, яка розглядається як поєднання мас з пружними елементами. В одному випадку це весь тулуб з нижньою частиною хребта і тазом (чоловік що стоїть), в ін. випадку - верхня частина тулуба з верхньою частиною хребта (чоловік нагинатися вперед або сидить).

Для людини що стоїть на віброуючій поверхні є 2 резонансних піку на частотах 5-12 Гц і 17-25 Гц, для сидячої - на частотах 4-6 Гц. Для голови резонансні частоти лежать в області 20-30 Гц. У цьому діапазоні частот амплітуда коливань голови може перевищувати амплітуду коливань плечей в 3 рази. Для лежачої людини область резонансних частот знаходиться в інтервалі 3-3,5 Гц. Однією з найбільш важливих коливальних систем є сукупність грудної клітини та черевної порожнини. У положенні стоячи коливання внутрішніх органів цих порожнин виявляють резонанс на частотах 3-3,5 Гц. Максимальна амплітуда коливань черевної стінки спостерігається на частотах 7-8 Гц, а передньої стінки грудної клітки - 7-11 Гц.

При збільшенні частоти коливань відбувається ослаблення її передачі по тілу людини. Механічна система прямої руки людини має резонанс в області частот 30-60 Гц. При передачі коливань від долоні до тильної сторони кисті амплітуда коливань при незмінній частоті 40-50 Гц зменшується на 35-65%. На ділянках між кистю і ліктем, ліктем і плечем відбувається подальше ослаблення коливань. Найбільше загасання спостерігається в плечовому суглобі і на голові.

Зі збільшенням сили натиску на рукоятку спостерігається пропорційне зростання провідності вібрації на плечі, що становить 1,2 дБ на подвоєння сили натиску для частоти 8 Гц, близько 3 дБ - для частоти 16 Гц і 4-5 дБ - для частот 32-125 Гц. При збільшенні сили натиску на інструмент людиною не тільки буде отримано велику кількість коливальної енергії в зв'язку зі збільшенням вхідного механічного

імпедансу, але вплив вібрації пошириться на велику рецептивну зону.

Місцева вібрація малої інтенсивності може надавати сприятливий вплив на організм людини, відновлюючи трофічні зміни, покращуючи функціональний стан ЦНС, прискорюючи загоєння ран і т. п. При збільшенні інтенсивності коливань і тривалості їх впливу виникають зміни, що приводять у ряді випадків до розвитку професійної патології - вібраційної хвороби. Найбільше поширення має патологія, обумовлена впливом локальної вібрації.

У генезі реакцій організму на вібраційне навантаження важливу роль відіграють аналізатори: шкірний, вестибулярний, руховий. Порушення здоров'я, зумовлені локальної або загальної вібрації, складаються з ураження нейросудинної, нервово-м'язової систем, опорно-рухового апарату, змін обміну речовин і ін. Істотне значення при цьому мають як специфічні, так і неспецифічні реакції загального типу, що відображають адаптаційно-компенсаторні реакції організму.

Виразність і характер порушень визначаються в першу чергу спектральними та амплітудними параметрами вібрації, а також умовами праці, при яких цей вплив відбувається. Вплив низькочастотної вібрації призводить до розвитку вібраційної патології з превалюванням поразок нервово-м'язової системи, опорно-рухового апарату і менш вираженим судинним компонентом. Наприклад., така форма спостерігається у формувальників, бурильників та ін.. Середньочастотна і високочастотна вібрація викликає різні за ступенем вираженості судинні, нервово-м'язові, кістково-суглобові та інші порушення. При роботі зі шліфувальними машинами та ін. джерелами високочастотної вібрації виникають в основному судинні порушення. В результаті впливу інтенсивної локальної вібрації спочатку з'являються функціональні, а потім дистрофічні зміни в рецепторному апараті і нервових сплетеннях дрібних судин в області верхніх кінцівок. Поступово в процес втягуються і інші відділи периферичної та центральної нервових систем.

Важливу роль в ініціюванні нападу побіління пальців відіграє вплив холоду, що викликає рефлекторне, опосередковане симпатичної системою звуження судин. Посилює порушення мікроциркуляції та проникності судин кисневий дисбаланс. Дефіцит кисню сприяє також розвитку трофічних порушень в дистальних відділах верхніх кінцівок, зокрема, виникнення міофіброзов, артрозів і періартроз, утворенню

кіст, еностозів, зниження мінерального компонента кісткової тканини. Страждає капілярний і передкапілярний кровообіг в пальцях рук, а в подальшому змінюється тонус великих судин (артерій і вен) на передпліччях і плечах.

Патогенез вібраційної хвороби залишається до цього часу недостатньо вивченим. Узагальнена клініко-фізіологічна картина дії загальної вібрації дозволяє висловити гіпотезу про механізм прямої мікротравмуючої дії вібрації на опорно-руховий апарат, вестибулообумовленні і екстравестибулярні реакції. Частота і ступінь вираженості порушень залежить від фізичних характеристик вібрації, ергономічних параметрів робочого місця, медико-біологічних параметрів людини-оператора.

Механізм формування вібраційних порушень від впливу загальної вібрації є складним процесом, що складається з 3 етапів:

- 1) рецепторні зміни, які характеризуються дисфункцією вестибулярного апарату, та пов'язані з ними функціональні порушення вестибулосоматичних, вестибуловегетативних, вестибулосенсорних реакцій;
- 2) дегенеративно-дистрофічні порушення хребта (остеохондроз), що виникають при наявності екзогенних і ендогенних факторів, і пов'язані з ними явища декомпенсації трофічної системи;
- 3) втрата адаптаційних здібностей органами рівноваги та пов'язані з цим порушення функціонального стану онтовестибулоспінального комплексу внаслідок патологічної вестибулоафферентації.

Встановлено, що при дії загальної вібрації важливе значення, поряд з нервово-рефлекторними порушеннями, має підвищення венозного опору, зміна венозного відтоку, що призводить до венозного повнокров'я, збільшення фільтрації рідини і зниження харчування тканин з розвитком надалі периферичного ангиодистонічного синдрому. Низькочастотна вібрація веде до зміни морфологічного складу крові: еритроцитопенія, лейкоцитозу; має місце зниження рівня гемоглобіну.

Відзначено вплив загальної вібрації на обмінні процеси, які проявляються в зміні вуглеводного обміну; біохімічних показників крові, що характеризують порушення білкового і ферментативного, а також вітамінного і холестеринового обміну. Спостерігаються порушення окисно-відновних процесів, які проявляються у зниженні активності цитохромоксидази, креатинкінази, у підвищенні концентрації

молочної кислоти крові, зміни показників азотистого обміну, в зниженні альбумін-глобулінового коефіцієнта, у зміні активності коагулюючих факторів крові. Виявлено зниження концентрації іонів натрію в крові, підвищення екскреції солей натрію і зниження солей калію. Має місце порушення діяльності ендокринної системи: порушується нейрогуморальна і гормональна регуляція функцій, що виявляється у змінах показників гістамін-серотоніну, змісту гідрокортизону, 17-оксикортикостероїдів, катехоламінів.

Загальна вібрація чинить негативний вплив також на жіночу статеву сферу, що виражається в розладах менструального циклу, альгодисменореї та менорагії. У чоловіків нерідко спостерігається імпотенція - ці порушення найбільш характерні для операторів транспортних і транспортно-технологічних засобів, що піддаються дії поштовхоподібної вібрації.

При всіх видах вібраційної хвороби нерідко спостерігаються зміни з боку ЦНС які можуть бути пов'язані з комбінованим дією вібрації та інтенсивного шуму, постійно супутнього вібраційним процесам. З тієї ж причини у працівників вібронебезпечних професій з великим стажем виникають неврити слухових нервів. При виражених стадіях захворювання спостерігається зниження слуху не тільки на високі, але й на низькі тони.

Вібраційна хвороба від локальних і загальних вібрацій відрізняється своєрідністю клінічного перебігу і нерідко може призводити до порушення працездатності хворих. За статистичними даними, 1/3 виявлених професійних захворювань пов'язана з впливом В. і шуму. Найбільш висока захворюваність вібраційною хворобою реєструється на підприємствах важкого, енергетичного, транспортного машинобудування, вугільної промисловості та кольорової металургії.

Профілактика. Комплекс профілактичних заходів, прийнятих в нашій країні, включає: гігієнічне нормування, організаційно-технічні та лікувально-профілактичні заходи. Основним документом, який регламентує параметри виробничих вібрацій, є Санітарні норми СН 2.2.4/2.1.8.566-96 "Виробнича вібрація, вібрація в приміщеннях житлових і громадських будівель". Санітарні норми встановлюють: класифікацію вібрації; методи гігієнічної оцінки вібрації; нормовані параметри та їх допустимі величини.

Санітарні правила і норми СанПіН 2.2.2.540-96 "Гігієнічні вимоги до ручних інструментів і організації робіт" встановлюють: вимоги до ручних машин (до силових характеристикам) - масі; вазі, сприймається руками оператора при виконанні технологічних операцій; сили натискання, необхідної для роботи в номінальному режимі; зусиллю натиснення пускових пристроїв; правила організації робіт з ручними інструментами; заходи по профілактиці. Є ряд нормативів, що регламентують гігієнічні параметри вібрацій машин і обладнання, - ГОСТ.

Найбільш ефективний захист від шуму і вібрації в джерелі їх утворення. Тому при проектуванні і конструюванні устаткування і технологічних процесів необхідно (де це можливо) замінювати ударні взаємодії деталей безударними, зворотно-поступальний рух - обертальним, підшипники кочення - підшипниками ковзання, металеві деталі - деталями з пластмас або інших матеріалів, шумні технологічні процеси - безшумними або малошумними і так далі.

При виготовленні устаткування необхідно дотримувати мінімальні допуски в зчленуваннях і ретельне балансування рухомих деталей, демпфувати (поглинати) вібрації взаємоударних деталей шляхом покриття їх матеріалами, що мають велике внутрішнє тертя (гумою), а також застосуванням прокладок з пробки, бітумного картону, повсті, азбесту і тому подібне

Найбільш дієвим засобом захисту людини від вібрації є усунення безпосереднього контакту з вібруючим обладнанням. Здійснюється це шляхом застосування дистанційного управління, промислових роботів, автоматизації та заміни технологічних операцій.

Зниження несприятливого дії вібрації ручних механізованих пристроїв на операторів досягається: шляхом зменшення інтенсивності вібрації безпосередньо в

джерелі (за рахунок конструктивних удосконалень); засобами зовнішнього віброзахисту, які являють собою пружнодемпфуючі матеріали та пристрої, розміщені між джерелом вібрації і руками оператора.

Для захисту рук від дії локальної вібрації, згідно ГОСТ 12.4.002-74, застосовують рукавиці або рукавички наступних видів : із спеціальними віброзахисними пружно-демпфуючими вкладишами, повністю виготовлені з віброзахисного матеріалу (литвом, формуванням і тому подібне), а також віброзахисні прокладення або пластини, які забезпечені кріпленнями до руки (ГОСТ 12.4.046-78).

Для захисту від вібрації, що передається людині через ноги, рекомендується носити взуття на повстяній або товстій гумовій підшві.

У комплексі заходів щодо зниження несприятливої дії вібрації на організм людини важлива роль відводиться режимам праці та відпочинку. Згідно режимам праці сумарний час контакту з вібрацією протягом зміни має бути обмежена відповідно до величини перевищення нормативного рівня. Рекомендується встановлювати дві регламентованих перерви для активного відпочинку, проведення фізіотерапевтичних процедур і т. д.: Першу - тривалістю 20 хв (через 1-2 години після початку зміни) і другу - 30 хв (через 2 години після обідньої перерви) . Обідня перерва має тривати не менше 40 хв. При роботі з вібруючим устаткуванням тривалість одноразового безперервного впливу вібрації не повинна перевищувати 10-15 хв.

До заходів організаційного характеру, спрямованих на скорочення часу контакту з вібраційним устаткуванням, належить створення комплексних бригад зі взаємозамінністю професій. З метою профілактики несприятливого впливу локальної та загальної вібрації працівники повинні використовувати засоби індивідуального захисту: рукавиці або рукавички, килимки, взуття, підметки та наколінники. Серед лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на попередження несприятливого впливу вібрації, важливе місце відводиться ранньої діагностики захворювань і активної диференційованої диспансеризації працівників вібронебезпечних професій. Диспансеризація передбачає попередження виникнення (первинна профілактика), прогресування (вторинна профілактика) вібраційної

хвороби, а також захворювань непрофесійного характеру.

До медико-біологічних і загальнооздоровчих заходів профілактики вібраційної патології належать:

- теплові процедури для рук у вигляді гідропроцедур (ванночки) або сухого повітряного обігріву;
- взаємомасаж і самомасаж рук і плечового пояса;
- виробнича гімнастика;
- ультрафіолетове опромінення;
- вітамінопрофілактика та інші заходи загальнооздоровчого характеру, наприклад, кімната психологічного розвантаження, кисневий коктейль і ін.

На підприємствах повинні бути розроблені конкретні комплекси медико-біологічних профілактичних заходів з урахуванням характеру впливаючих вібрацій і супутніх факторів виробничого середовища.

Гігієнічні допустимі рівні вібрації регламентує ГОСТ 12.1.012-78 "Вібрація. Загальні вимоги безпеки", СН 9-89 РБ 98 "Вібрація виробнича загальна. Гранично допустимі рівні" і СН 9-90 РБ 98 "Вібрація виробнича локальна. Гранично допустимі рівні".

Нормованими параметрами постійної вібрації є:

- середні квадратичні значення віброприскорення і віброшвидкості, вимірювані в октавних (третьоктавних) смугах частот, або їх логарифмічні рівні;
- кориговані по частоті значення віброприскорення і віброшвидкості або їх логарифмічні рівні.

Нормованими параметрами непостійної вібрації є еквівалентні (по енергії) кориговані по частоті значення віброприскорення і віброшвидкості або їх логарифмічні рівні.

Для контролю рівня вібрацій застосовують віброметр ВМ- 1 з октавним фільтром ФЭ- 2, прилад ВШВ- 003, ШВК-І і інші прилади.

Таким чином у виробничих умовах з метою запобігання шкідливій дії шуму і вібрації на організм людини необхідно завжди домагатися, щоб рівні шуму і вібрації не перевищували допустимих значень [10].

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі праналізовано шляхи поліпшення способів виробництва бетонних виробів. Зокрема пропонується для цього використовувати резонансні режими.

В стандартних вібраційних машинах величину амплітуди коливань встановлюють за рахунок розцентрування дисбалансів, що значно ускладнює та сповільнює процес виробництва, тому в дипломній роботі було застосовано систему керування амплітудою коливань за рахунок зміни обертів приводного двигуна віброагрегату.

Регулювання частоти обертів двигуна було втілено за допомогою векторної системи керування АД. Дана система дозволяє плавно регулювати частоту обертання в широкому діапазоні.

В ході роботи було проведено:

- складання кінематичної схеми вібромашини для ущільнювання бетонних виробів.
- вибір двигуна для забезпечення потрібних технологічних параметрів.
- формування функціональної схеми, структурної схеми та моделі для дослідження системи ПЧ – АД.
- отримання передаточних функцій елементів системи керування
- розрахунок та моделювання всіх необхідних параметрів двигуна та перетворювача частоти.

По результатам аналізу графіків перехідних прцесів було встановлено , що час розгону двигуна становить $t_p = 0.755\text{с}$, перерегулювання відсутнє , номінальна частота обертання відповідає заданій. Час перехідного процесу струму статора $t_{п.п.с.} = 3.0275\text{с}$. Величина пускового струму $I_{п} = 3.5839\text{ А}$, а усталеного

$I_y = 1.383\text{ А}$. Пусковий струм більший за усталений у 2.6 рази, що задовольняє умовам експлуатації двигуна.

Застосування асинхронних двигунів з векторною системою керування може значно покращити зручність у обслуговуванні, та швидкодію промислових вібро-агрегатів, що призведе до підвищення економічної ефективності виробництва.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. <http://stroy-technics.ru/article/vibratory-v-stroitelstve>

2. http://www.vibrocom.ru/device/sieve/prv/prv2_08_18_p.htm

3. Гуров А.П., Шарейко Д.Ю. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу “Основи віротехніки”. – Миколаїв: УДМТУ, 2001 – 56с.

4. Баженов Ю.М. Технология бетона: Учеб. пособие для технол. спец. строит. вузов. 2-е изд., перераб. – М.: Высш. шк., 1987. – 415 ст.: ил.

5. Каталог по вибраторам www.vibrators.ru

6. «Lenze» инструкция по эксплуатации.

7. Терехов В.М. Системы управления электроприводов: учебник для студ. вузов/ В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова. - 3-е изд., стер. - М.: Издательский центр "Академия", 2008. - 304с.

8. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУ ВПО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина". - 2008. - 298с.

9. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник. А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская. – М.: Энергоиздат, 1982 – 504 с., ил.

10. <http://woodroads.ru/zaschita-ot-vozdeistviya-vibratsui.html>.

11. Фоменко А.М. Комплектні електроприводи: У 3ч. Ч. 2: Цифрові комплектні електроприводи: Навчальний посібник **з грфом МОНУ**. [Текст] / Фоменко А.М., Шарейко Д.Ю// – Миколаїв: НУК, 2014. – 143 с.

ДОДАТОК А

Машинні розрахунки

Маса платформи з бетоном $M_1 := 87\text{ т}$

Маса проміжної платформи $M_2 := 20\text{ т}$

Жорсткості пружного зв'язку

$$C_1 := 850 \cdot 199^2 = 3.366 \times 10^7 \quad \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

$$C_2 := 200 \cdot 210^2 = 8.82 \times 10^6 \quad \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

Безрозмірний коефіцієнт демпфірування пружного зв'язку $\xi := 0.1$

$$\omega := 1 \dots 55 \quad i := \sqrt{-1}$$

Парціальні частоти першої та другої платформи

$$\omega_{01} := \sqrt{\frac{C_1}{M_1}} = 196.699 \quad \text{с}^{-1} \quad \omega_{02} := \sqrt{\frac{C_2}{M_2}} = 210 \quad \text{с}^{-1}$$

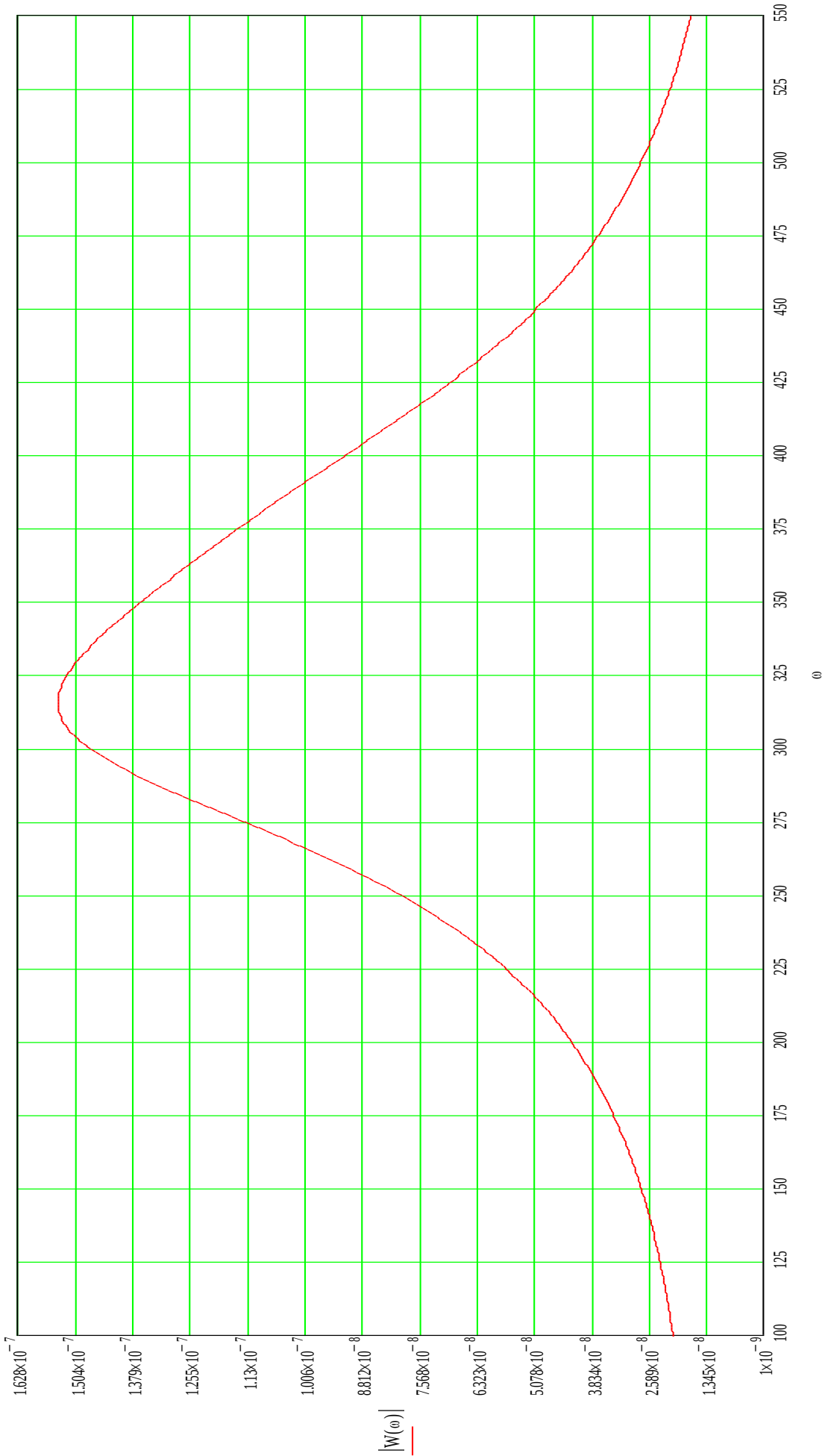
$$B_1 := M_1 \cdot \omega_{01} \cdot 2 \cdot \xi = 3.423 \times 10^4$$

$$B_2 := M_2 \cdot \omega_{02} \cdot 2 \cdot \xi = 8.4 \times 10^3$$

$$B_\Sigma := B_1 + B_2 = 4.263 \times 10^4$$

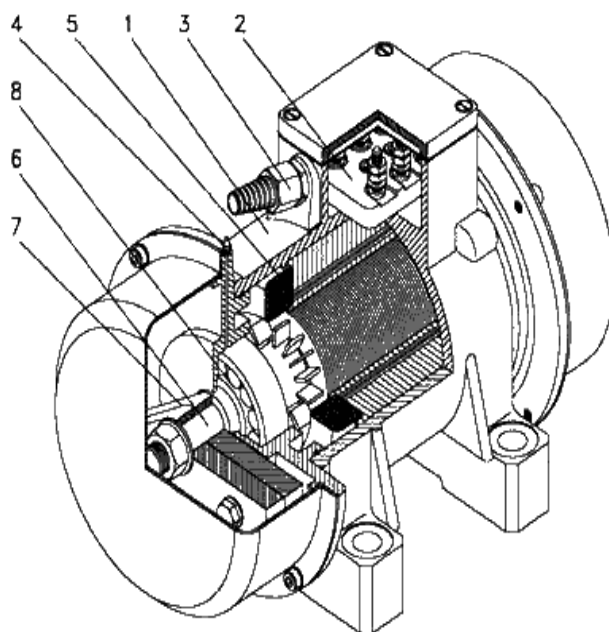
$$C_\Sigma := C_1 + C_2 = 4.248 \times 10^7$$

$$W(\omega) := \frac{-M_2 \cdot (\omega \cdot i)^2 + B_\Sigma \cdot (\omega \cdot i) + C_\Sigma}{\left[B_1 \cdot (\omega \cdot i) + C_1 \right]^2 + \left[M_2 \cdot (\omega \cdot i)^2 + B_\Sigma \cdot (\omega \cdot i) + C_\Sigma \right] \cdot \left[M_1 \cdot (\omega \cdot i)^2 + B_1 \cdot (\omega \cdot i) + C_1 \right]}$$



ДОДАТОК Б

Мультимедійна презентація

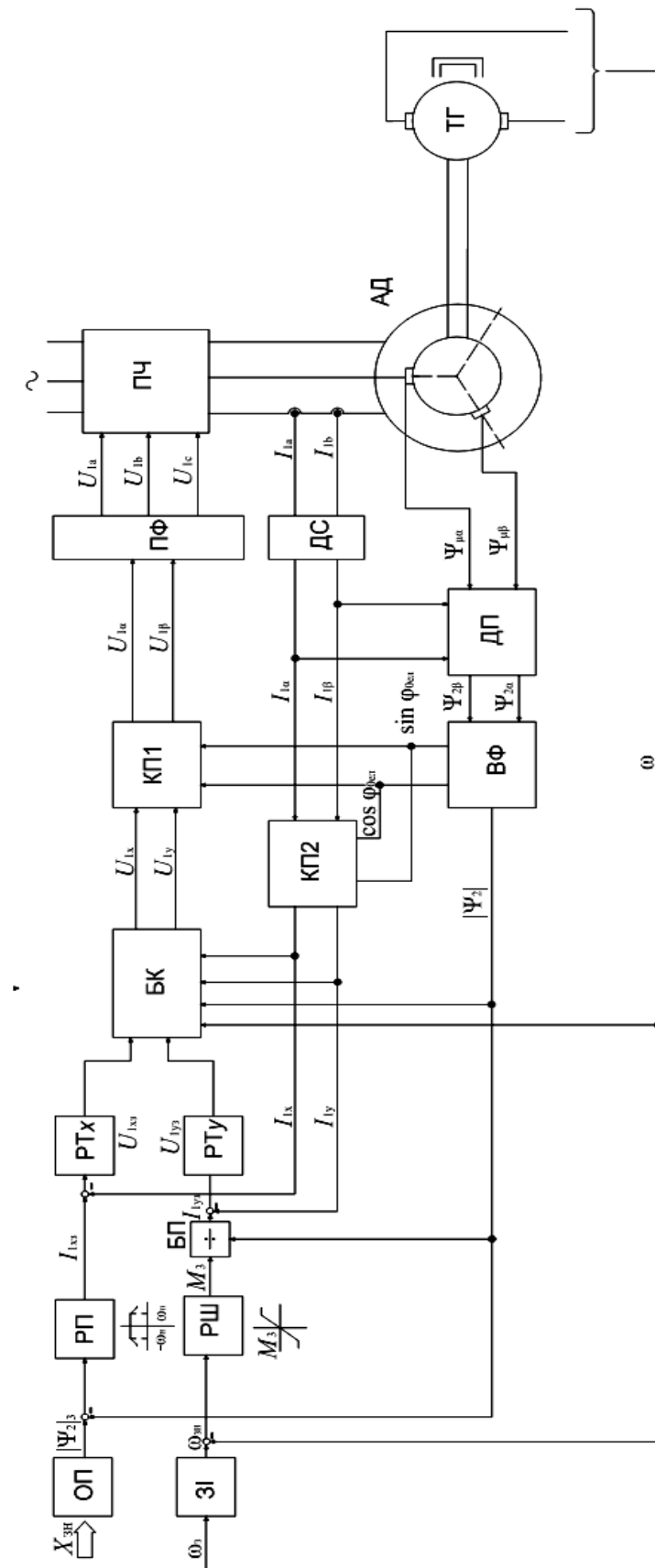


Вигляд вібратора у розрізі



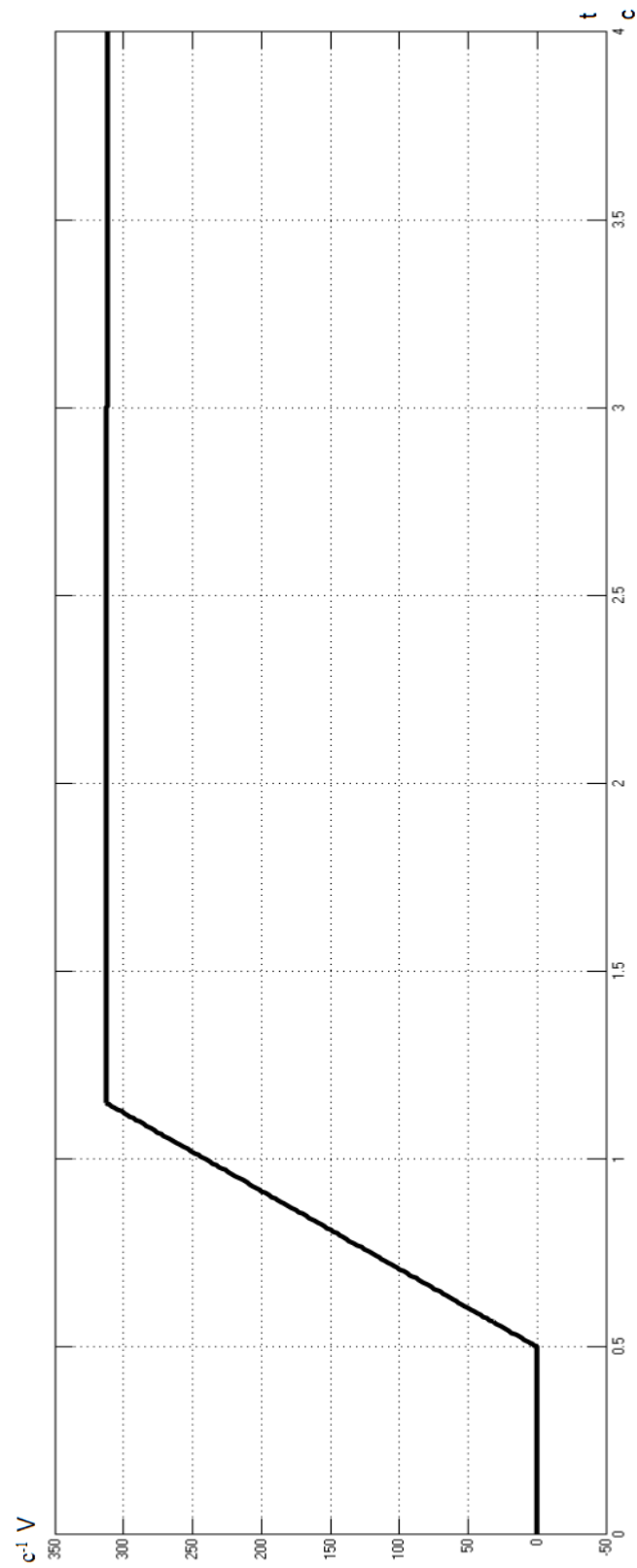
Загальний вигляд вібростола

Рисунок Б.1 – Слайд 1 мультимедійної презентації



Функціональна схема системи регулювання швидкості АД.

Рисунок Б.2 – Слайд 2 мультимедійної презентації



Графіки перехідних процесів

Рисунок Б.4 – Слайд 4 мультимедійної презентації