

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна

Кафедра _____ АМтаЕТ _____

До захисту допущено
Завідувач кафедри


 (підпис)

_____ д.т.н., професор Канюк Г.І.
 (науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

« ____ » _____ 20 ____ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

рівень вищої освіти _____ магістр _____

спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
 робототехніка

освітньо-професійна програма _____

тема **«Удосконалення системи керування виконавчим механізмом
 аерокосмічного випробувального стенду»**

Виконав (ла)

студент (ка) групи ДЕА-23мг _____
 (шифр групи)

_____ **Безпала Поліна Романівна**
 (ім'я, прізвище)

Керівник роботи

_____ к.т.н., Мезеря А.Ю.
 (науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

Рецензент роботи

_____ к.т.н., Буданов П.Ф.
 (науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

Консультант _____
 (назва розділу)

_____ (науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

 (підпис)

 (підпис)

 (підпис)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цій роботі
 немає цитат та вилучень з
 праць інших авторів без відповідних
 посилань
 студент(ка) 
 (підпис)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна**

Кафедра АМтаЕТ
Спеціальність 174
Освітньо-професійна програма магістр

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис)

д.т.н., професор Канюк Г.І. _____
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

« » 20 p.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
рівня вищої освіти

студенту (ці) Безпала Поліна Романівна
(ім'я, прізвище)

1. Тема _____ Удосконалення системи керування виконавчим механізмом аерокосмічного випробувального стенду

затверджена наказом по академії № 4801-5/3704 від «21» 11 2024р.

2. Термін здачі закінченої роботи « 28 » 11 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи _____ Існуючі схеми автоматичного керування випробувальними стендами та їх конструкції, методи керування виконавчими механізмами, математичні моделі

4. Зміст роботи (перелік питань, які належить розробити):

Аналіз сучасних елементів випробувальних стендів, аналіз недоліків та переваг існуючих систем керування виконавчих механізмів. Дослідження режимів роботи випробувальних стендів, дослідження перспективних напрямків розвитку, висновки

5.Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал):

Актуальність теми, існуючі виконавчі механізми, типи механізмів, недоліки та переваги існуючих систем керування виконавчими механізмами, порівняльний аналіз систем керування, висновки.

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	

7. Дата видачі завдання « 14 » 09 2024 р.

Керівник


 (підпис)

Мезеря А.Ю.

(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання


 (підпис)

Безпала П. Р.

(ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК виконання кваліфікаційної роботи

№ з/п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Аналіз існуючих систем керування	14.10-28.10	виконано
2	Аналіз характеристик систем керування в різних режимах роботи	28.10-05.11	виконано
3	Порівняльний аналіз	05.11-14.11	виконано
4	Експериментальні дослідження	14.11-28.11	виконано
5	Висновки	28.11	виконано

Студент (ка)


 (підпис)

Нормоконтроль


 (підпис)

Безпала П. Р.

(ім'я, прізвище)

Ключка Є.П.

(ім'я, прізвище)

Зміст

Вступ	6
Розділ 1. Аналітичний огляд систем та методів зневажування	8
1.1. Пасивні системи зневажування	8
1.2. Активні системи зневажування	9
1.3. Огляд існуючих технічних рішень та методів	9
Розділ 2. Опис зневажуваної конструкції та системи зневажування	18
2.1. Зневажувана конструкція, що трансформується	18
2.2 Система зневажування	19
2.3. Вибір кількості лебідок	21
2.4. Вибір обладнання	22
Розділ 3. Математичне моделювання виконавчого механізму	29
3.1. Математична модель вентильного електродвигуна у нерухомій системі координат	29
3.2. Математичний опис вентильного двигуна в системі координат, що обертається	31
3.3. Моделювання виконавчого механізму системи зневажування	34
3.4. Моделювання системи часткового зневажування	42
Розділ 4. Охорона праці та навколишнього середовища	50
4.1. Правові та організаційні питання забезпечення безпеки	50
4.2. Виробнича безпека	51
4.2.1. Електробезпека	51
4.2.2. Мікроклімат	52
4.2.3. Шум	54
4.2.4. Психофізіологічні фактори	55
4.2.5. Розрахунок освітлення	57

4.3. Екологічна безпека	61
4.3.1. Аналіз впливу об'єкта на літосферу	61
4.4. Безпека у надзвичайних ситуаціях	62
4.4.1. Аналіз можливих НС, які можуть ініціювати об'єкт досліджень....	62
Розділ 5. Економічна частина. Ресурсоефективність та ресурсозбереження	64
5.1. Організація та планування ДКР (НДР) робіт.....	64
5.1.2. Визначення тривалості етапів робіт	65
5.2. Розрахунок кошторису витрат за виконання проекту	72
5.2.1. Розрахунок витрат на матеріали	72
5.2.2. Розрахунок заробітної плати	72
5.2.3. Розрахунок витрат за соціальний податок.....	73
5.2.4. Розрахунок витрат за електроенергію	73
5.2.5. Розрахунок амортизаційних витрат	74
5.2.6. Розрахунок витрат, що враховуються безпосередньо на основі платіжних (розрахункових) документів (крім добових).....	75
5.2.7. Інші витрати	75
5.2.8. Розрахунок загальної собівартості розробки.....	75
5.2.9. Розрахунок прибутку.....	76
5.2.10. Ціна розробки ПДВ	77
5.2.11. Ціна розробки ДКР	77
5.3. Оцінка економічної ефективності проекту	77
Висновок.....	80
Список літератури	Error! Bookmark not defined.

Вступ

В останнє десятиліття у всьому світі спостерігається значний розвиток аерокосмічних технологій. Це підтверджують космічні апарати, що активно розробляються, різних типів і розмірів.

Випробування дослідних зразків є однією з найважливіших стадій розробки подібних виробів, яка забезпечує надійність, безпеку та дає найповніше уявлення про поведінку рішення, що проектується. Зокрема, таким випробуванням піддаються конструкції космічних апаратів, що трансформуються.

Однією з умов проведення наземних випробувань конструкцій, що трансформуються, є імітація середовища, близького за характеристиками до космічного. В першу чергу необхідна компенсація ваги елементів трансформованої конструкції для того, щоб уникнути її деформації або руйнування під дією сили тяжіння при наземних випробуваннях - експериментальної перевірки параметрів, отриманих при проектуванні виробу на землі.

Актуальність даної роботи визначається потребами в системах і методах, що дозволяють створювати умови, близькі до умов невагомості з метою проведення наземних випробувань конструкцій, що трансформуються. Дані системи та методи прийнято називати системами та методами зневажування.

Мета роботи є удосконалення системи автоматизації виконавчого механізму, що входить до складу системи часткового зневажування, який використовується в аерокосмічних стендах.

Досягнення цієї мети під час дослідження вирішуються такими **задачами**:

1. літературний огляд джерел з тематики системи часткового зневажування;
2. аналіз існуючих рішень щодо керування систем часткового зневажування;
3. побудова математичної моделі виконавчого механізму у програмному пакеті Matlab;
4. дослідження роботи виконавчих механізмів на основі розроблених моделей.

Також у роботі наведено розділи із ресурсоефективності та охорони праці, характерні для моделі, що розглядається.

Об'єктом роботи є процес роботи виконавчого механізму дослідницького стенду.

Предметом роботи є способи здійснення математичного моделювання з використанням програмного пакета MATLAB.

Практична значимість роботи полягає у підвищенні показників якості регулювання систем часткового зневажування.

Розділ 1. Аналітичний огляд систем та методів зневажування

Основна мета наземних систем зневажування – створення умов, близьких до невагомості.

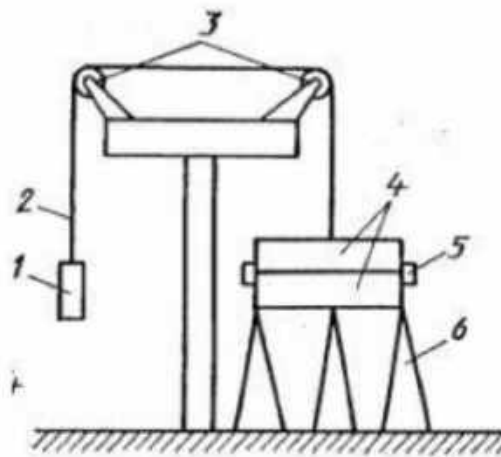
Загальний принцип усіх систем зневажування полягає в тому, що до тіла прикладаються вертикальні сили, що рівні ваги цих тіл. Як точка застосування цих сил використовується центр мас цих тіл, що дозволяє уникнути впливу додаткових моментів сил до зневажуваних елементів і конструкцій.

є безліч запатентованих методів та систем зневажування, які прийнято розділяти за способом створення зневажувальних сил, а саме на пасивні та активні.

1.1. Пасивні системи зневажування

В пасивній системі сили зневажування створюються механічним способом (розтягнутою пружиною, противагою і т.д.), а переміщення елементів системи здійснюється за рахунок переміщення самого зневажуваного тіла.

Схема однієї з можливих виконань такої системи наведено рис. 1.



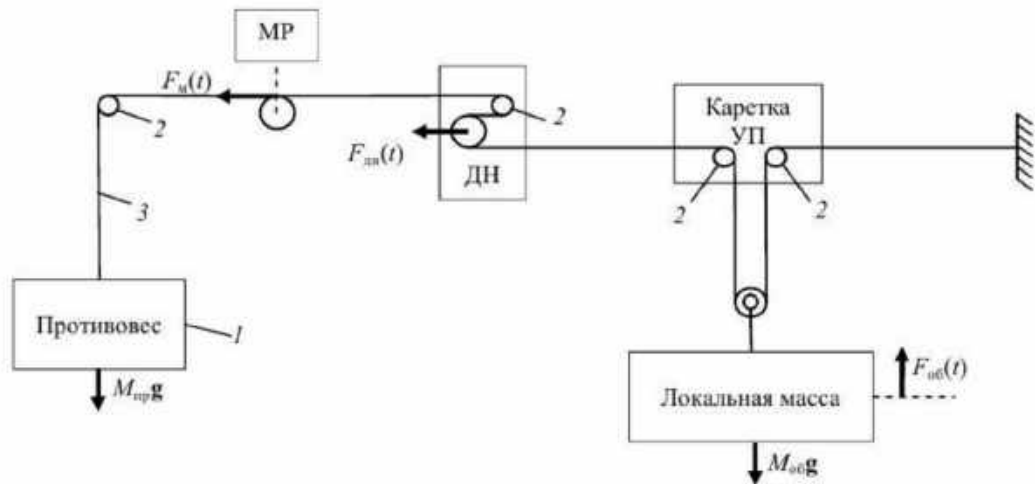
1 - противага; 2 - трос; 3 - блок; 4 - платформа; 5 - замок; 6 - підставка

Рисунок 1 – Схема пасивного зневажування

1.2. Активні системи зневажування

Активні системи є складними механічними системами. Для ліквідації впливу сили тяжіння даний вид систем використовує власні приводи, що працюють на основі сигналів зворотного зв'язку.

Поширеними є системи зневажування з рухомими каретками. Приклад такої системи наведено на рис. 2.



ДН – датчик натягу троса; МР - привід натягу троса (мотор - редуктор); $F_m(t)$ - сила натягу троса, що розвивається приводом МР; $F_{об}(t)$ - невідома сила взаємодії локальної маси вузла об'єкта зневажування з іншими елементами; $F_{дн}(t)$ - сила натягу, що вимірюється датчиком натягу троса; $M_{пр}$ - маса вантажу-протизваги; $M_{об}$ - маса зневажуваного вузла об'єкта.

Рисунок 2 – Система зневажування з рухомими каретками

1.3. Огляд існуючих технічних рішень та методів

Так як у цій роботі здійснюється комплекс заходів для автоматизації виконавчого механізму, що входить до складу системи часткового зневажування, інтерес при літературному та патентному огляді представляли активні системи та методи.

Активна система зневажування великогабаритних конструкцій, що трансформуються, розробка та результати дослідження якої наведені в [1], призначена для проведення випробувань системи розкриття рефлекторів, що

трансформуються антен космічних апаратів діаметром до 48 м. Запропонована авторами система дозволяє домагатися досить низької залишкової ваги менше 0,2 % при швидкості переміщення елементів, що зневажують, до 4 м/хв.

Дане дослідження знайшло відображення у розробках КТІ НП СО

Зовнішній вигляд активної системи зневажування великогабаритних систем наведено на рис 3-4.



Рисунок 3 - Система зневажування трансформованих систем космічних апаратів «Кемчуг»

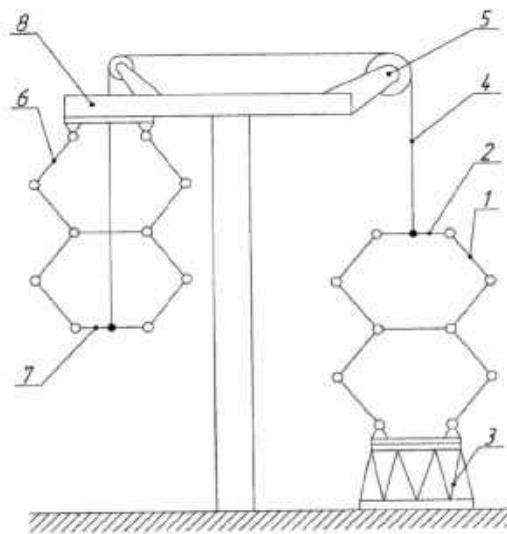


Рисунок 4 - Стійка системи зневажування «АСО МІ»

Дослідження роботи системи зневажування, призначеної для відпрацювання процесу розкриття сітчастого рефлектора антени космічних апаратів діаметром 12 м наведено у [4].

Спосіб зневажування трансформованих систем космічних апаратів, описаний в [5] полягає в тому, що система, що трансформується торцевими шпангоутами встановлюють на підставці та з'єднують за допомогою троса з противагою через систему блоків. Особливість винаходу полягає в противагу, виконаному у вигляді механізму, симетрично розташованого відносно горизонтальної площини до зневажуваної системи, що трансформується, і виконаному за кінематичною схемою трансформованої системи.

Маси ланок противаги при цьому рівні відповідним масам ланок трансформованої системи.

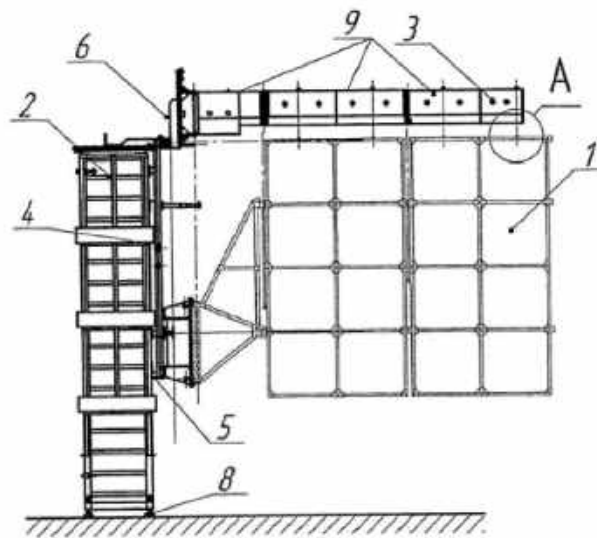


1, 6 – стрижні, 2, 7 – торцевий шпангоут, 3 – технологічна підставка, 4 - трос, 5 - система блоків, 8 - опорна стійка

Рисунок 5 - Схема зневажування систем космічних апаратів, що трансформуються.

В стенді розкриття панелей сонячної батареї [6], пристрій, що зневажує, представлено у вигляді окремих ланок, які за допомогою шарнірів з'єднані між собою. Ланки розташовані таким чином, що їх стулки розташовуються над відповідними стулками сонячної батареї.

Кріплення ланок сонячної батареї до ланок зневажувального пристрою проводиться через демпфуючі пристрої. Схема стенду представлена на рис 6.



1 – сонячна батарея, 2 – опора, 3 – зневажуючий пристрій, 4 – перехідна рама, 5 – космічний апарат, 6 – кронштейн, 7 – напрямні, 8 – регульовані стійки, 9 – ланки зневажувального пристрою

Рисунок 6 – Стенд розкриття сонячних батарей

Система гравітаційного розвантаження з активним відгуком (The Active Response Gravity Offload System – AGROS) [10] призначена для імітування середовища зі зниженою гравітацією для людей та техніки.

Конструкція системи є металевою рамою розміром 12,5х7,3х7,6 м, зовнішній вигляд якої наведено на рис. 7. Така конструкція дозволяє проводити переміщення в трьох напрямках зі швидкістю до 3м/с забезпечує вантажопідйомність до 340 кг. Переміщення у всіх напрямках забезпечують електроприводи. Підвіс з'єднується з тілом, що зневажується, сталевим тросом, навантаження на який вимірюється за допомогою вбудованого тензодатчика. Система управління дає команду приводу підніматися чи опускатися під час руху об'єкта, щоб підтримувати постійну зневажуючу силу. Зовнішній вигляд системи показано на рис. 7.



Рисунок 7 - Система зневажування AGROS

Певний інтерес представляє система зневажування [7], заснована на застосуванні мобільних роботів для підтримки конструкцій, що трансформуються. Структура такої системи представлена на рис. 8.

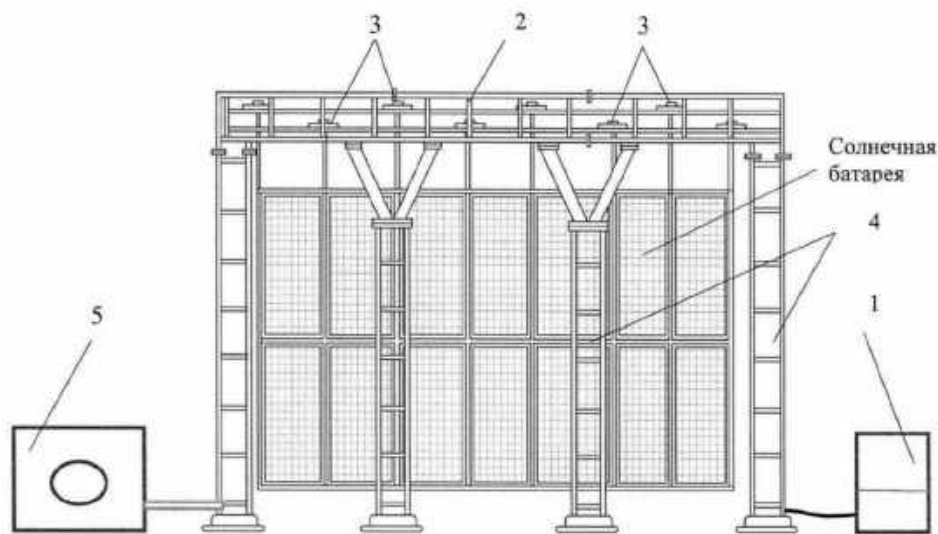


Рисунок 8 - Структура системи зневажування з мобільними роботами

При використанні способу імітації зниженої гравітації об'єкта, що рухається [8] розвантажувальні сили створюються за допомогою рухомого майданчика, який кінематично розв'язаний з об'єктом. Майданчик має слідкувальну приводну систему,

яка впливає на об'єкт повітряною подушкою з надлишковим тиском або магнітним полем.

Відомий стенд випробування сонячної батареї [12], схематичне зображення якого наведено на рис. 9. Даний пристрій містить блок управління, металевий каркас з візками, що переміщуються в горизонтальній площині, який встановлений на нерухомих опорах. Відмінною особливістю стенду є аеростатичні опори та компресор, причому аеростатичні опори розміщені на візках та з'єднані з компресором шлангами.



1 – пульт управління, 2 – каркас, 3 – аеростатичні опори, 4 – стійки, 5 – компресор

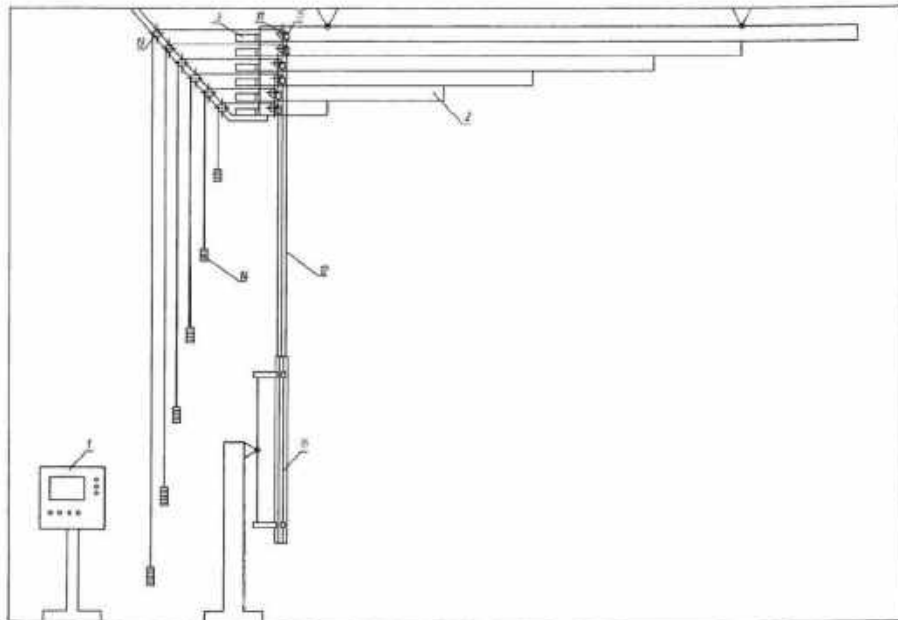
Рисунок 9 – Стенд випробування сонячної батареї

Конструкція системи імітації невагомості [9] складається із системи управління та необхідної кількості модулів, встановлених один над одним. Система містить каретку і візок, що переміщається по горизонтальній осі і рухається по вертикалі. Переміщення здійснюється двома сервоприводами, які знаходяться у кожному модулі. Зневажуване тіло за допомогою гнучкого зв'язку через шків на візку з'єднане з противагою.

Ефект зневажування досягається додатком до зневажуваного тіла сил, вертикальність яких забезпечується переміщенням каретки та візка. За їхнє переміщення відповідає система управління, завдання якої засноване на

показаннях інклінометра, встановленого на візку. Склад системи показаний рис.

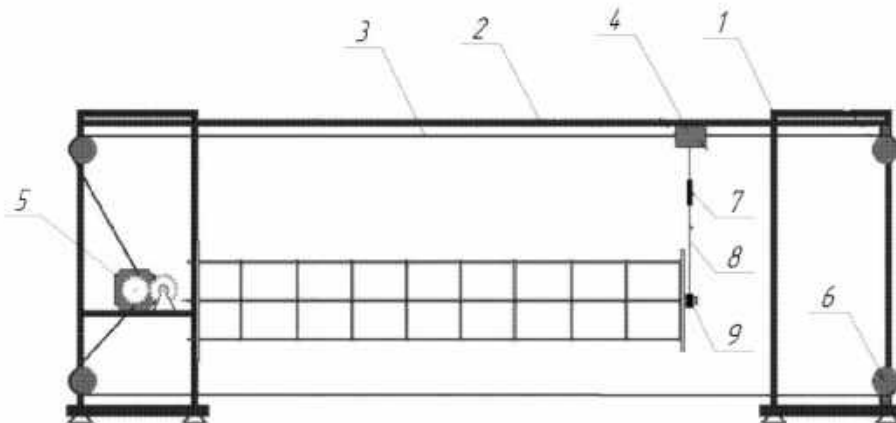
10.



1 – блок управління, 2 – модулі, 3 – сервоприводи, 4 – робочі шків, 5 – зубчастий ремінь, 6 – пасивні шків, 7 – каретка, 8, 10 – напрямні, 9 – візок, 11 – шків, 12 – гнучкий зв'язок, 13 – блок, 14 – компенсуючий вантаж, 15 – датчик-інклінометр, 16 – об'єкт зневажування

Рисунок 10 - Система імітації невагомості

Запатентований у КНР стенд [11] призначений для відпрацювання наземного розкриття сонячних батарей. Його відмінною особливістю є використання зубчасто-пасової передачі для переміщення підвісу. Схема такого стенду наведено на рис. 11.



1 - каркас, 2 - напрямна, 3 - трос, 4 - каретка, 5 - двигун, 6 - шків, 7 - витяг, 8 - підвіс, 9 - датчик прикладеного зусилля

Рисунок 11 - Стенд зневажування

Після проведення літературного огляду та патентних пошуків були виявлені проблеми, властиві активним системам зневажування. Більшість відомих систем зневажування мають обмежені експлуатаційні можливості. До них можна віднести переміщення елементів, що зневажують, в одній площині (наприклад, розкриття сонячних батарей на стенді з пристроями підвісу на каретках). Це не дозволяє забезпечити максимальне наближення до штатних умов невагомості при наземному відпрацюванні.

Також недоліком вищеописаних систем і методів є те, що точка кріплення пристрою зневажування відповідає положенню центру мас тіла, що зневажується, визначеному теоретичним шляхом. Це наводить до виникнення крутного моменту навколо точки кріплення пристрою зневажування.

Розділ 2. Опис зневажуваної конструкції та системи зневажування

2.1. Зневажувана конструкція, що трансформується

Розглянута в даній дисертації багатоланкова конструкція, що трансформується, що піддається зневаженню, складається з чотирьох ланок, що складаються W-подібним чином. Подібну конструкцію мають сонячні батареї космічних апаратів.

Етапи розкриття конструкції наведено рис. 12.

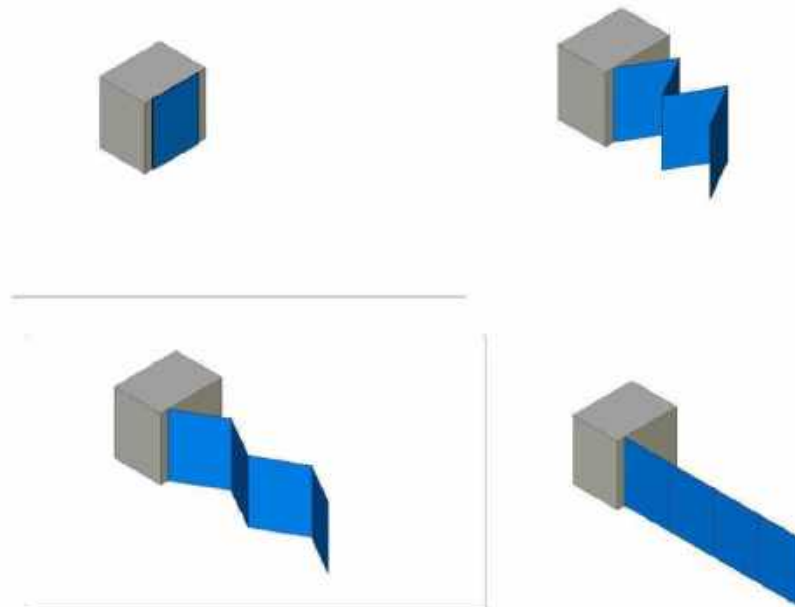


Рисунок 12 – Схема розкриття багатоланкової конструкції, що трансформується.

Ланка трансформованої конструкції (панель сонячної батареї) має форму прямокутника зі сторонами 3000 та 4000 мм і має масу 40 кг.

Процес розкриття системи ($t_{\text{розк}}$) відбувається за 30 с.

Момент інерції кожної ланки щодо вертикальної осі:

$$J = \frac{1}{12} m_n l_n^2 = \frac{1}{12} \cdot 40 \cdot 3^2 \approx 30 \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad (2.1)$$

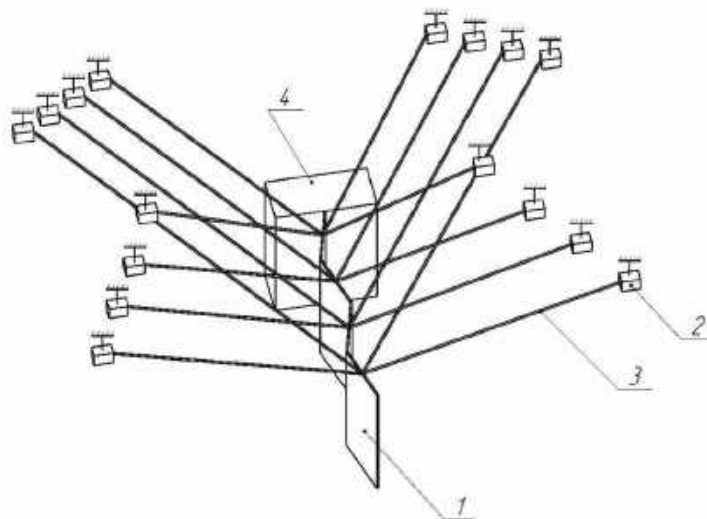
де m_n - маса панелі, кг;

l_n - довжина панелі, м. с.

2.2 Система зневажування

Система часткового зневажування, що розглядається в даній роботі, передбачає створення ефекту зневажування кожної ланки трансформованої конструкції шляхом докладання до центру мас кожного з них зусиль нерухомо закріплених електроприводних лебідок. Відстеження переміщення панелей здійснюється системою датчиків натягу тросів та інклінометрів, на основі сигналів яких система управління регулює момент та швидкість обертання двигунів лебідки.

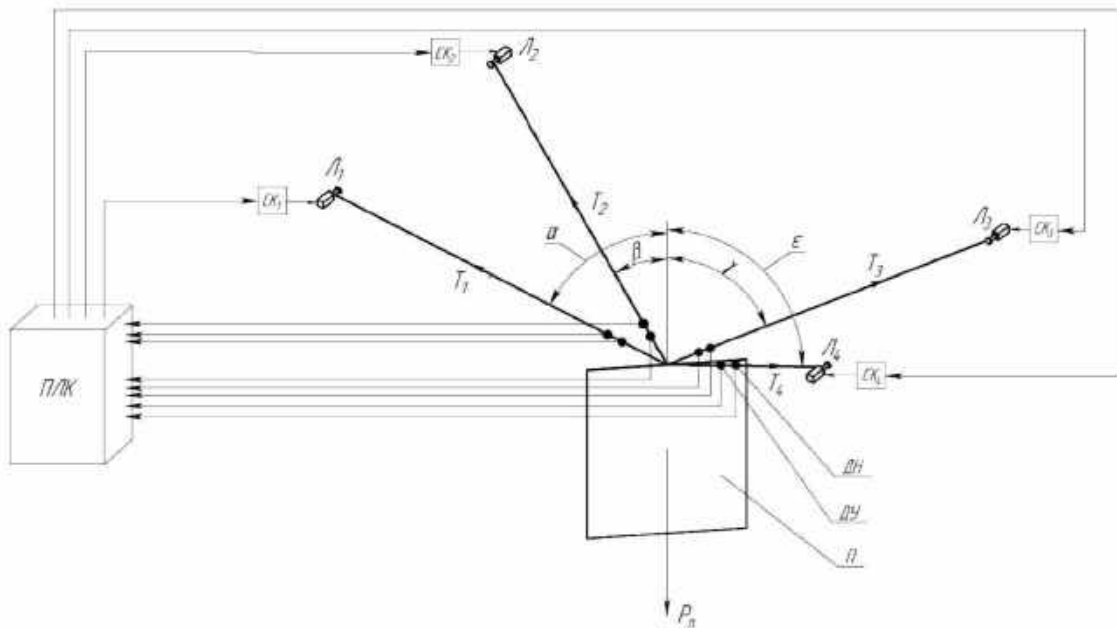
Схематичне зображення конструкції системи зневажування наведено на рис. 13.



1 - конструкція, що трансформується, 2 - лебідка з електроприводом, 3 - трос, 4 - імітація космічного апарату

Рисунок 13 – Система зневажування

На рис 14 представлена функціональна схема системи зневажування для однієї з панелей багатоланкової системи, що трансформується.



$\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon$ – кути відхилення тросів лебідок від вертикалі; T_1, T_2, T_3, T_4 – сили натягу тросів; П – панель механічної системи; P_n – вага панелі; ДН – датчики натягу троса; ДУ – датчики кутів відхилення тросів лебідок від вертикалі; СК1, СК2, СК3, СК4 – сервоконтролери; Л1, Л2, Л3, Л4 – лебідки; ПЛК – програмований логічний контролер

Рисунок 14 – Система зневажування

Умова рівноваги системи, наведеної на рис. 14:

$$T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + P_n = 0 \quad (2.2)$$

Спроектувавши вектори сил натягу тросів на вертикальну вісь, вираз (2.2) можна перетворити на:

$$T_1 \cos \alpha + T_2 \cos \beta + T_3 \cos \gamma + T_4 \cos \varepsilon - P_n = 0 \quad (2.3)$$

$$T_1 \cos \alpha + T_2 \cos \beta + T_3 \cos \gamma + T_4 \cos \varepsilon = P_n = m_n g \quad (2.4)$$

Алгоритм системи, представленої на рис. 14, можна описати наступним чином: ПЛК отримує значення вимірних величин кутів відхилення тросів від вертикалі та натягу тросів з відповідних датчиків; з урахуванням значень цих значень перевіряється вірність умови рівноваги системи (2.4); формується сигнал керування для сервоконтролерів, які у свою чергу керують у моментному режимі вентильними електродвигунами лебідок.

2.3. Вибір кількості лебідок

При нерухомому кріпленні лебідок, які за допомогою тросів підтримують конструкцію, що трансформується, необхідне правильне визначення їх кількості, що припадає на кожну панель.

Очевидним буде твердження, що однієї або двох лебідок буде недостатньо для переміщення ланок трансформованої конструкції в різних напрямках.

При кількості лебідок, рівним трьом, створюється складність симетричного розподілу навантаження між ними.

Відповідно до нормативної документації, що стосується проектування та експлуатації вантажних стропів [13], зважаючи на найбільш рівномірно розподіляється навантаження, найбільш застосовуваними є чотиригілкові стропи. Ці дані можна спроектувати на реальну роботу. Таким чином, на кожну панель трансформованої конструкції буде припадати чотири електролебідки системи зневажування.

Для перевірки правильності розташування лебідок було побудовано траєкторії руху тросів (рисунок 15). Аналіз траєкторій показав, що троси лебідок не перетинаються під час руху системи, що трансформується.

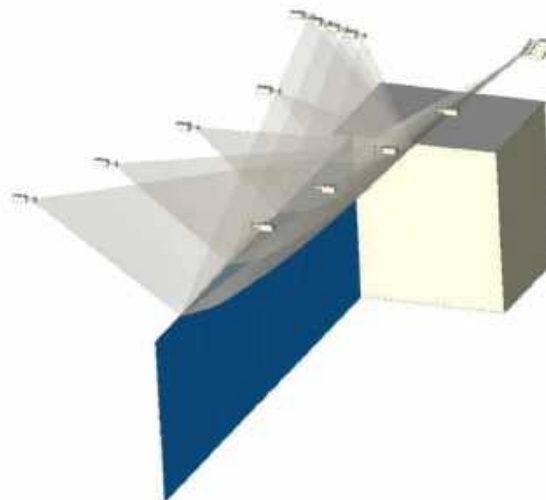


Рисунок 15 – Траєкторії руху тросів

2.4. Вибір обладнання

Необхідно попередньо вибрати обладнання, яке буде використане для збирання системи часткового зневажування. До нього відносяться: барабан лебідки, електродвигун, передавальний механізм передачі моменту електродвигуна барабану, перетворювальний пристрій для електродвигуна, програмований логічний контролер.

Барабан лебідки представлений на рис. 16-17. Він є пустотілою сталеву бочкою із зовнішнім діаметром 60 мм, на яку укладається трос.

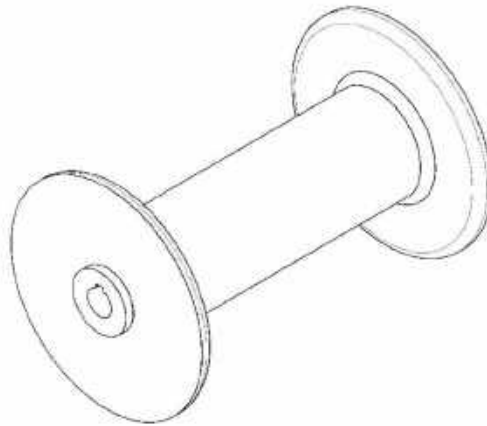


Рисунок 16 – Барабан лебідки

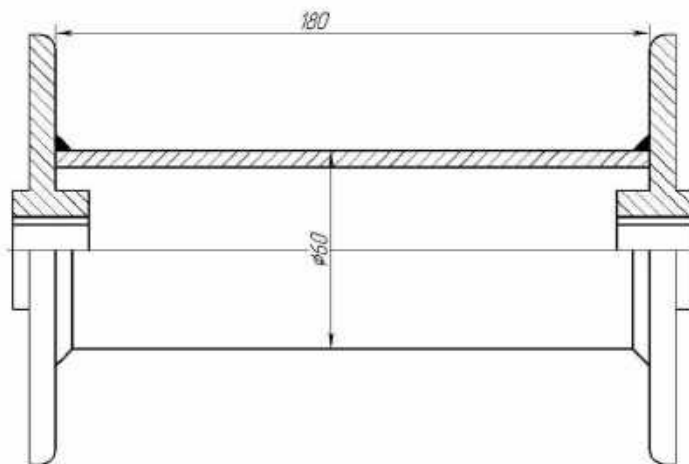


Рисунок 17 – Барабан лебідки

Для попереднього вибору електродвигуна та редуктора розрахуємо максимально можливий момент, що припадає на вал, на який посаджений барабан лебідки:

$$M_{\max} = r_b \cdot P_n = \frac{d_b}{2} \cdot m_n \cdot g, \quad (2.5)$$

де r_b - радіус барабана лебідки;

d_b - діаметр барабана лебідки;

m_n - маса однієї панелі.

$$M_{\max} = \frac{0,06}{2} \cdot 40 \cdot 9,8 = 11,76 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (2.6)$$

На даний момент ринок пропонує безліч компактних електродвигунів.

Технічні характеристики вибраного електродвигуна наведені у таблиці 1, зовнішній вигляд малюнку 18, механічна характеристика рис. 19.



Рисунок 18 – Двигуни Festo EMMT-AS-80-M-LS-R

Таблиця 1 – Технічні характеристики двигуна Festo EMMT-AS-80-M-LS-R

Параметр	Значення
Номінальна напруга живлення,	325
Номінальний струм, А	4,1
Максимальний струм, А	17,1
Номінальний момент, Н·м	2,2
Максимальний момент, Н·м	6,4
Номінальна потужність, кВт	0,69
Кількість пар полюсів	5

Номинальна частота обертання, об/хв	3000
Максимальна частота обертання, об/хв	6150

Продовження таблиці 1

Опір обмоток, Ом	2,04
Індуктивність обмоток, мГн	8,9
Магнітний потік магнітів ротора, Вб	0,09
Момент інерції ротора, $\text{м} \cdot \text{кг}^2$	$1,77 \cdot 10^{-4}$
Маса, кг	2,64

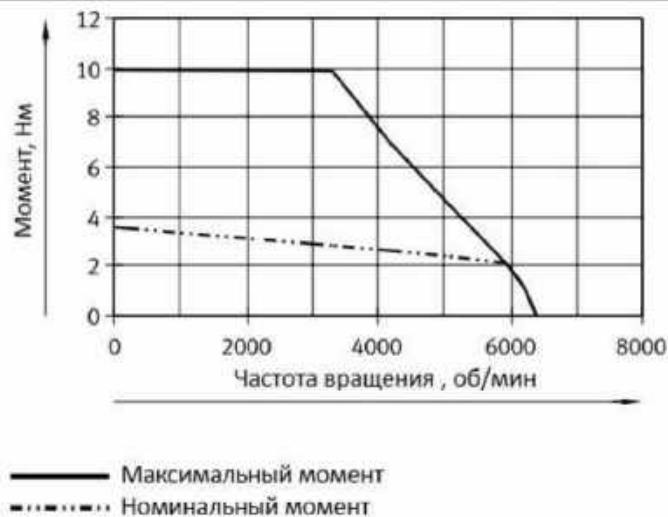


Рисунок 19 – Механічна характеристика двигуна Festo EMMT-AS-80-M-LS-R

Варто зазначити, що обраний електродвигун має електромагнітне гальмо, яке дає можливість швидко зупиняти інерційне навантаження, яке може виникнути при неполадках у роботі системи керування або відключення живлення двигунів. Технічні характеристики електромагнітного гальма наведені у таблиці 2.

Таблиця 2 – Технічні характеристики електромагнітного гальма двигуна Festo EMMT-AS-80-M-LS-R

Параметр	Значення
Номинальна напруга живлення,	24
Номинальний струм, А	0,46

Момент утримання, Н·м	2,5
Потужність, Вт	11
Час спрацювання, мс	10

Для забезпечення роботи електродвигуна використовується сервоконтролер Festo CMMT-AS-C4-3A-EC-S1. Зовнішній вигляд пристрою показаний на рис. 20, технічні характеристики наведені у таблиці 3.



Рисунок 20 – Сервоконтролер Festo CMMT-AS-C4-3A-EC-S1

Таблиця 3 – Технічні характеристики сервоконтролера Festo CMMT-AS-C4-3A-EC-S1

Параметр	Значення
Номінальна потужність, кВт	0,7
Максимальна потужність, кВт	2
Частота, Гц	0 – 599
Номінальний струм, А	4
Максимальний струм, А	12
Постійні часу входу, виходу, мс	1

В якості передавального механізму обраний планетарний редуктор APEX AE070, який представлений на рис. 21. Технічні характеристики пристрої наведені у таблиці 4.



Рисунок 21 – Редуктор APEX AE070

Таблиця 4 – Технічні характеристики редуктора APEX AE070

Параметр	Значення
Передатне відношення	10
Номінальний момент, Н·м	40
Номінальна частота приводу, об/хв	5000
Момент інерції, м·кг ²	$0,13 \cdot 10^{-4}$
Маса, кг	1,6

Як датчики натягу обрані датчики силовимірювальні СТЗ-500 (рисунок 22). Технічні характеристики показані у таблиці 5.



Рисунок 22 – Датчик силовимірювальний СТЗ-500

Таблиця 5 – Технічні характеристики силовимірювального датчика СТЗ-500

Параметр	Значення
----------	----------

Діапазон виміру, Н	-500 - 500
Клас точності	0,2
Напруга живлення, В	12 – 30
Інтерфейс цифрового виходу	RS485

Для стеження за кутом відхилення тросів використовується високоточний інклінометр HCR726S з протоколом MODBUS RTU (рис. 23). Параметри пристрою вказані у таблиці 6.



Рисунок 23 – Інклінометр HCR726S

Таблиця 6 – Технічні параметри інклінометра HCR726S

Параметр	Значення
Вимірювальний діапазон, °	$\pm 10 \dots \pm 90 / 180$
Діапазон напруг живлення,	9 – 36
Дозвіл, °	0,001
Розміри, мм	54×44×18
Вихідний сигнал	RS485 MODBUS RTU

Як керуючий пристрій обраний програмований логічний контролер ОВЕН ПЛК150, представлений на рис. 24.

Характеристики пристрою наведені у таблиці 7.



Рисунок 24 – ОВЕН ПЛК150

Таблиця 7 – Технічні характеристики ОВЕН ПЛК150

Параметр		Значення		
Дискретні входи		6	Можливо розширення кількості шляхом підключення зовнішніх модулів введення/виводу	
Дискретні виходи		4 є/м реле		
Аналогові входи		4		
Аналогові виходи		2		
Інтерфейси		Ethernet 100 Base-T, RS-232, RS-485		
Напруга живлення		~90 - 264 В		
		47 - 63 Гц		

Розділ 3. Математичне моделювання виконавчого механізму

3.1. Математична модель вентильного електродвигуна у нерухомій системі координат

Вибраний серводвигун Festo EMMT-AS-80-M-LS-R є синхронною машиною з постійними магнітами. У загальному вигляді даний вид електричних машин можна подати як на рис. 25.

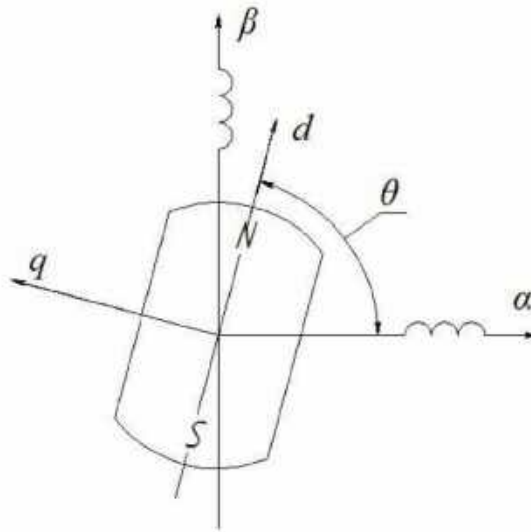


Рисунок 25 – Узагальнений вид синхронної машини із постійними магнітами

Машина, показана на рис 25, містить дві обмотки на статорі (якорі), позначені α , β та ротор (індуктор) з явно вираженими полюсами, який представлений у вигляді постійного магніту. Вісь d вказує напрямок поля постійного магніту.

Рівняння рівноваги ЕРС в обмотках статора та моментів на валу записуються у вигляді:

$$\begin{aligned} U_{\alpha} &= R i_{\alpha} + \frac{d\psi_{\alpha}}{dt}, \\ U_{\beta} &= R i_{\beta} + \frac{d\psi_{\beta}}{dt}, \\ J \frac{d\omega_m}{dt} &= M - M_H, \end{aligned} \tag{3.1}$$

де ψ_α, ψ_β – потокозчеплення по нерухомих осях α, β :

$$\begin{aligned}\psi_\alpha &= L_\alpha i_\alpha + L_{\alpha\beta} i_\beta + \psi_{0\alpha} = L_\alpha i_\alpha + L_{\alpha\beta} i_\beta + \Phi_0 \cos \theta, \\ \psi_\beta &= L_{\alpha\beta} i_\alpha + L_\beta i_\beta + \psi_{0\beta} = L_{\alpha\beta} i_\alpha + L_\beta i_\beta + \Phi_0 \sin \theta,\end{aligned}\quad (3.2)$$

де Φ_0 – потік, створений постійним магнітом ротора на пару полюсів. Вирази для власних індуктивностей та взаємної індуктивності мають вигляд:

$$\begin{aligned}L_\alpha &= \frac{L_d + L_q}{2} + \frac{L_d - L_q}{2} \cos 2\theta, \\ L_\beta &= \frac{L_d + L_q}{2} - \frac{L_d - L_q}{2} \cos 2\theta, \\ L_{\alpha\beta} &= \frac{L_d - L_q}{2} \sin 2\theta.\end{aligned}\quad (3.3)$$

де L_d, L_q – індуктивність обмотки статора по поздовжній та поперечній осі.

Враховуючи рівняння (3.1), (3.2), (3.3) повний опис синхронної машини з постійними магнітами в нерухомій системі координат запишеться у вигляді:

$$\begin{aligned}U_\alpha &= R i_\alpha - (L_d - L_q) \omega \cdot \sin 2\theta \cdot i_\alpha + \left(\frac{L_d + L_q}{2} + \frac{L_d - L_q}{2} \cos 2\theta \right) \frac{di_\alpha}{dt} + \\ &+ (L_d - L_q) \omega \cdot \cos 2\theta \cdot i_\beta + \frac{1}{2} (L_d - L_q) \sin 2\theta \cdot \frac{di_\beta}{dt} - \Phi_0 \omega \sin \theta, \\ U_\beta &= R i_\beta + (L_d - L_q) \omega \cdot \cos 2\theta \cdot i_\alpha + \frac{1}{2} (L_d - L_q) \sin 2\theta \cdot \frac{di_\alpha}{dt} + \\ &+ (L_d - L_q) \omega \cdot \sin 2\theta \cdot i_\beta + \left(\frac{L_d + L_q}{2} - \frac{L_d - L_q}{2} \cos 2\theta \right) \frac{di_\beta}{dt} + \Phi_0 \omega \cos \theta, \\ M &= p \frac{m}{2} \left[\frac{L_d - L_q}{2} \sin 2\theta \cdot (i_\beta^2 - i_\alpha^2) + (L_d - L_q) \cos 2\theta \cdot i_\alpha i_\beta + \Phi_0 \cos \theta i_\beta - \Phi_0 \sin \theta i_\alpha \right].\end{aligned}\quad (3.4)$$

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = M - M_H,$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega_m, \quad \omega = p\omega_m, \quad \theta = p\theta_m$$

де p – число пар полюсів, m – число фаз у машині.

Щоб з рівнянь (3.4) отримати рівняння вентильного двигуна необхідно зв'язати напруги на статорі з кутом повороту ротора, який визначається сигналом датчика положення ротора (у випадку Festo EMMT-AS-80-M-LS-R – резольвера). У цьому випадку напруження U_α , U_β повинні залежати від початкової установки датчика положення ротора та від кута повороту ротора та визначатися виразами:

$$U_\alpha = U_1 \cos(\theta + \theta_0), \quad U_\beta = U_1 \sin(\theta + \theta_0), \quad (3.5)$$

де U_1 - амплітуда першої гармоніки напруги на виході інвертора.

3.2. Математичний опис вентильного двигуна в системі координат, що обертається

Для спрощення математичного опису ВД використовується система координат dq , жорстко пов'язана з ротором, при цьому вісь d поєднується з напрямком магнітного поля ротора.

В цьому випадку операторні рівняння, якими описуються електромагнітні та електромеханічні процеси у вентильному двигуні мають вигляд:

$$\begin{aligned} U_d &= R(T_d s + 1)i_d - \omega L_q i_q, \\ U_q &= R(T_q s + 1)i_q + \omega L_d i_d + \Phi_0 \omega, \\ M &= p \frac{m}{2} (\Psi_0 i_q + (L_d - L_q) i_d i_q), \\ s\omega_m &= \frac{1}{J} (M - M_H), \\ s\theta_m &= \omega_m, \quad \omega = p\omega_m. \end{aligned} \quad (3.6)$$

У рівняннях (3.6) U_d , U_q , i_d , i_q - проекції напруги та струму статора на осі, Ψ_0 - проекція потокозчеплення ротора на вісь d ; $T_d = \frac{L_d}{R}$, $T_q = \frac{L_q}{R}$, L_d, L_q - постійні часу і індуктивність статора обмотки по поздовжній і поперечній осях, R - опір статорної обмотки, ω_m , M , M_H , θ_m - механічна кутова швидкість, електромагнітний момент, момент навантаження та механічний кут повороту валу, J - Момент інерції ротора.

використовувати у складі виконавчого механізму часткового зневажування системи.

3.3. Моделювання виконавчого механізму системи зневажування

Структурна схема механізму з підлеглим регулюванням швидкості вентильного електроприводу показано на рис. 29.

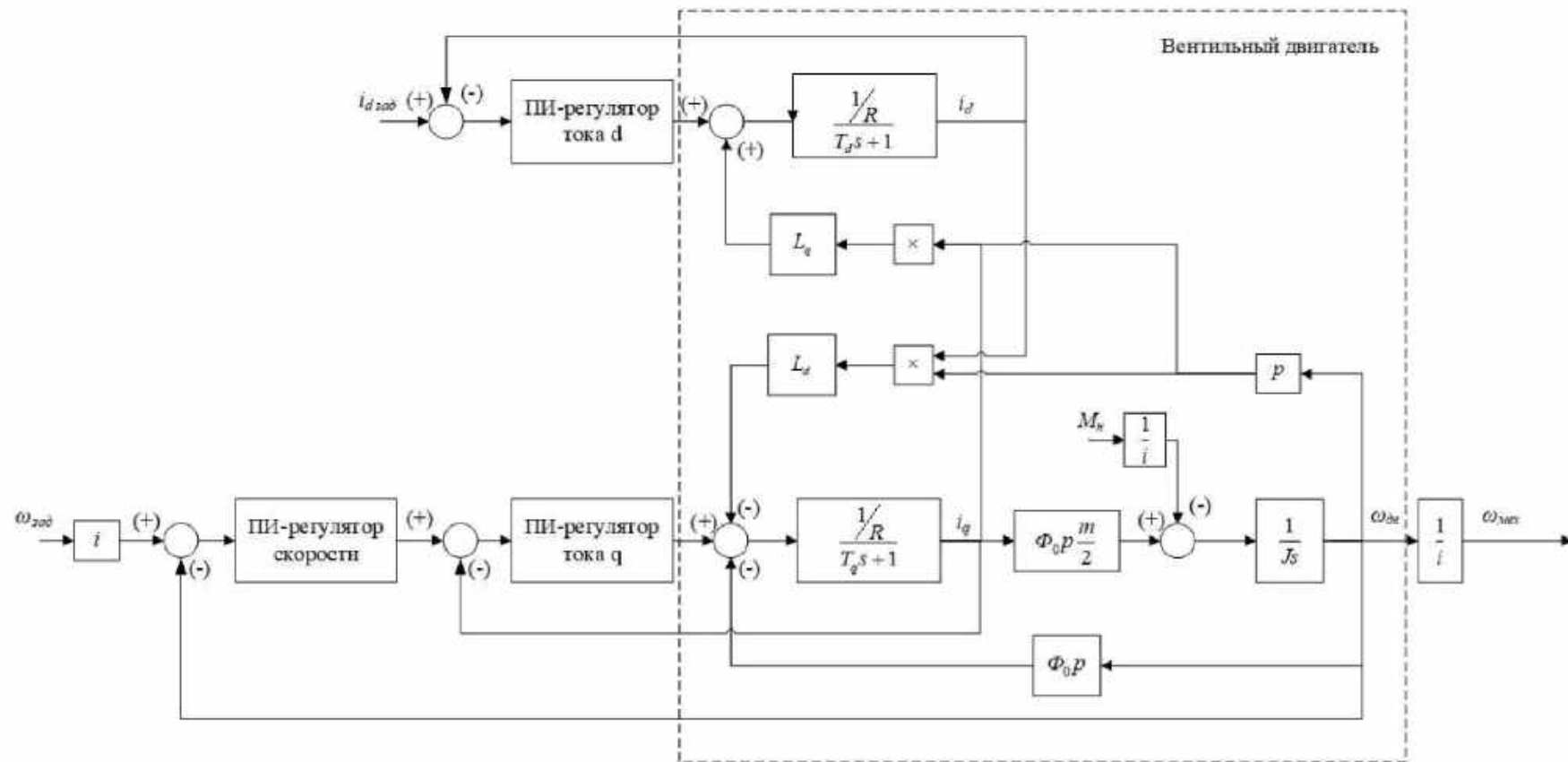


Рисунок 29 - Структурная схема исполнительного механизма с вентильным приводом i – передатное число редуктора.

Для налаштування ПІ-регулятора струму i_q необхідно виділити контур струму (рисунки 30-31).



Рисунок 30 – Структурна схема контуру струму в режимі загальмованого двигуна

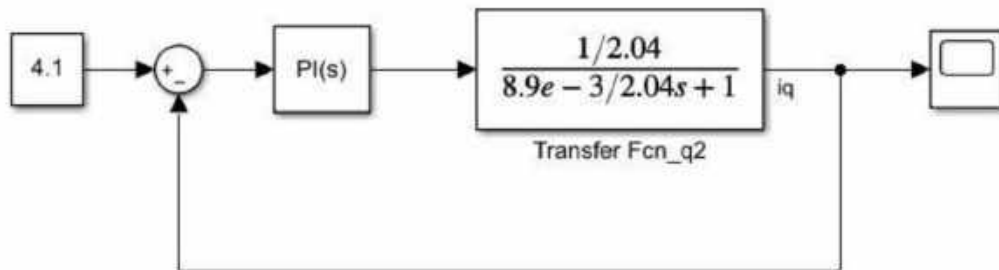


Рисунок 31 – Модель контуру струму Simulink

Для налаштування ПІ-регулятора був використаний інструмент PID Tuner, доступний у Simulink.

Параметри ПІ-регулятора i_q струму:

$$K_p = 12,03;$$

$$T_i = 0,00036.$$

Вибір регулятора струму i_d проводиться аналогічно.

Наступним кроком необхідно провести налаштування регулятора швидкості.

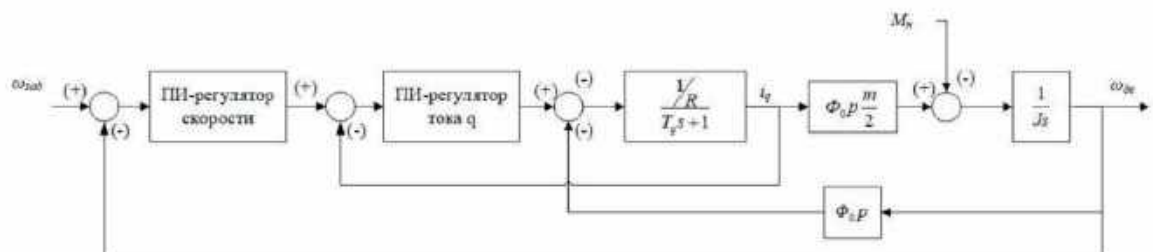


Рисунок 32 – Структурна схема ВД для налаштування регулятора швидкості за допомогою PID Tuner було налаштовано ПІ-регулятор швидкості:

$$K_p = 0,403; T_i = 0,118.$$

Момент інерції механізму дорівнює сумі моментів інерції ротора двигуна та передавального механізму:

$$\begin{aligned} J_{\text{мех}} &= J_{\text{дв}} + J_{\text{ред}} \\ J_{\text{мех}} &= 1,77 \cdot 10^{-4} + 0,13 \cdot 10^{-4} = 1,9 \cdot 10^{-4} \quad \text{кг} \cdot \text{м}^2 \end{aligned} \quad (3.9)$$

де $J_{\text{мех}}$ - момент інерції механізму,

$J_{\text{дв}}$ - момент інерції ротора двигуна,

$J_{\text{ред}}$ - момент інерції редуктора,

Зібрана Simulink модель виконавчого механізму з вентильним приводом наведена на рис 33.

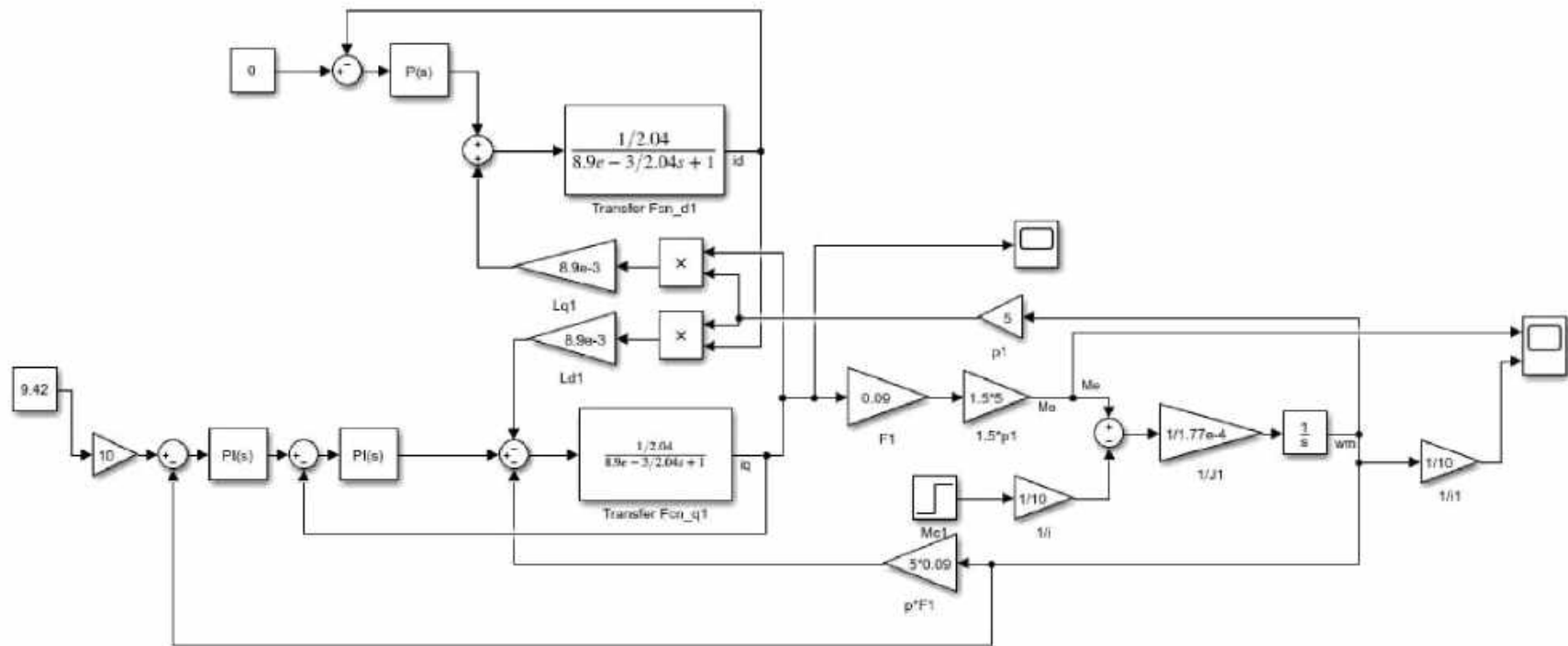


Рисунок 33 – Модель виконавчого механізму з вентиляним приводом Simulink

Результати моделювання при заданому значенні кутової швидкості 9,42 рад/с та моменті навантаження 10 Н·м, що виникає в момент часу 0,08 с наведено на рис. 34.

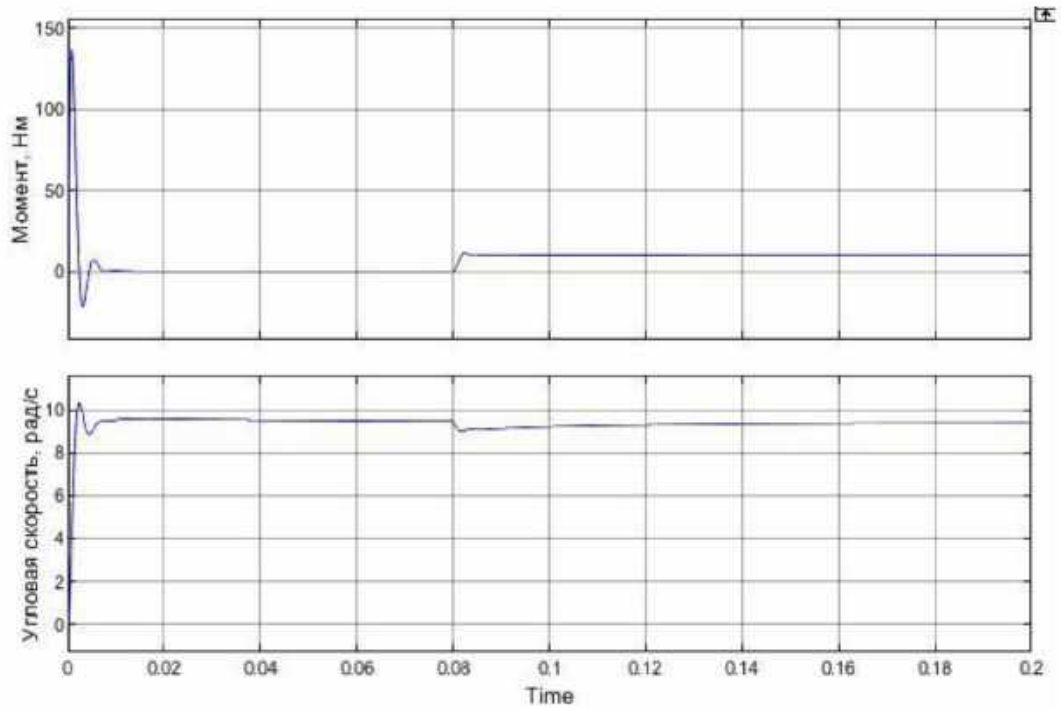


Рисунок 34 – Перехідний процес швидкості та моменту виконавчого механізму з вентильним електроприводом

При постановці завдання активного зневажування необхідно реалізувати керування моментом (струмом) вентильного двигуна. Перетворена структурна схема зазначена на рис. 35.

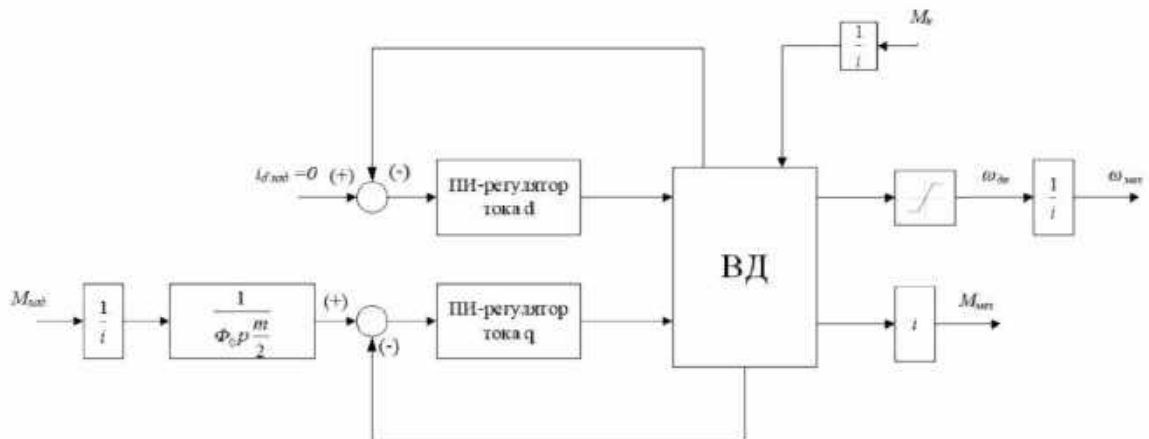


Рисунок 35 – Структурна схема виконавчого механізму з вентильним приводом, керованим на момент

Варто звернути увагу, що при моментному керуванні вентильним двигуном необхідно обмежувати частоту обертання.

Модель Simulink виконавчого механізму з вентильним приводом, керованим на момент представлена на рис. 36.

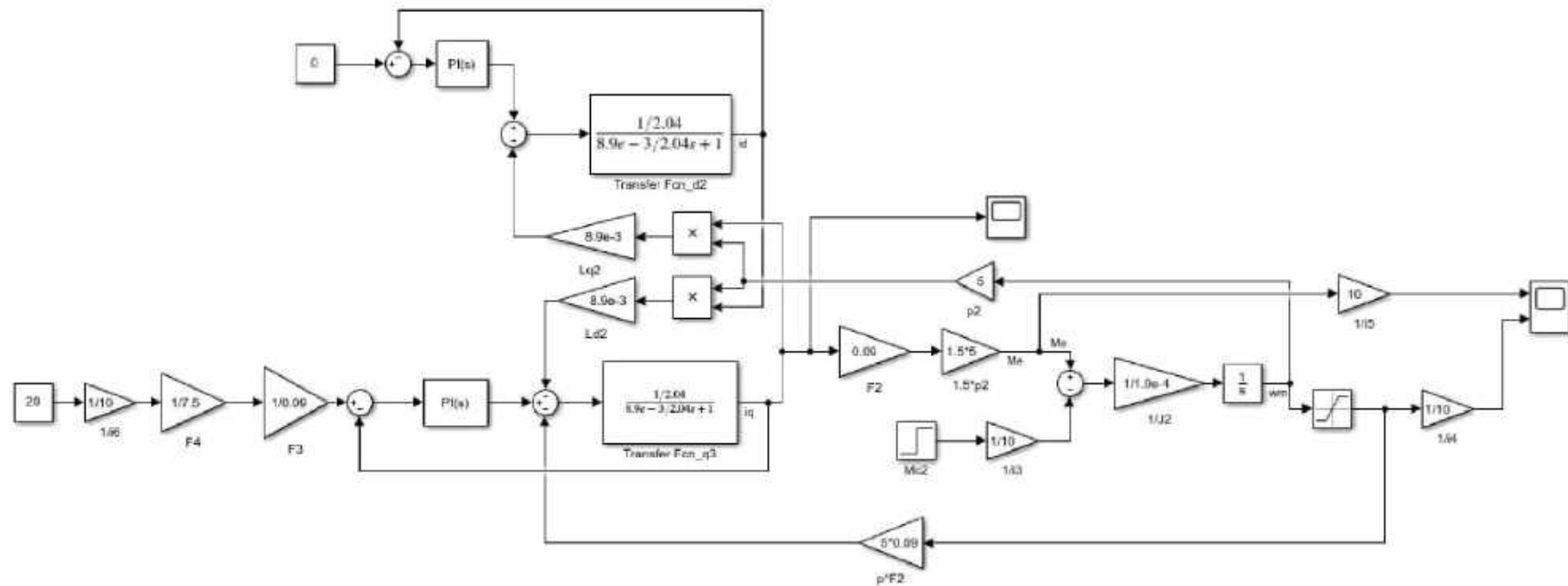


Рисунок 36 – Модель виконавчого механізму з вентильним приводом, керуванням на момент

На рис. 38 показані результати моделювання при значенні, що задає моменту 5 Н·м, моменті навантаження 12 Н·м, що виникає в момент часу 0,11 с. Кутова швидкість обертання валу механізму обмежена від мінус 10 до 10 рад/с.

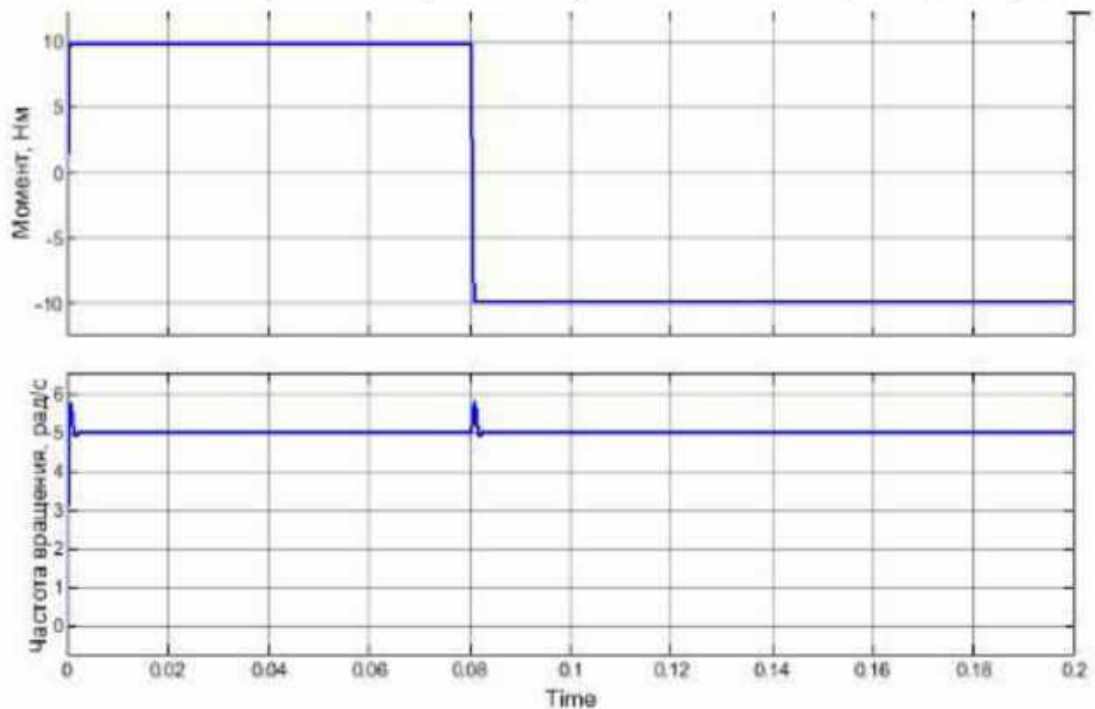


Рисунок 37 – Перехідні процеси виконавчого механізму під час керування моментом

Таким чином, результати моделювання, представлені в розділі 3.3, свідчать про можливість застосування обраного електродвигуна у складі виконавчого механізму системи часткового зневажування як у режимі завдання швидкості, так і в режимі завдання моменту.

3.4. Моделювання системи часткового зневажування

Так як у системі зневажування об'єднано безліч електроприводів, що працюють на різне навантаження, потрібна реалізація багатовимірної системи управління.

Загалом структурна схема багатовимірних систем управління має вигляд, представлений на рис. 38.

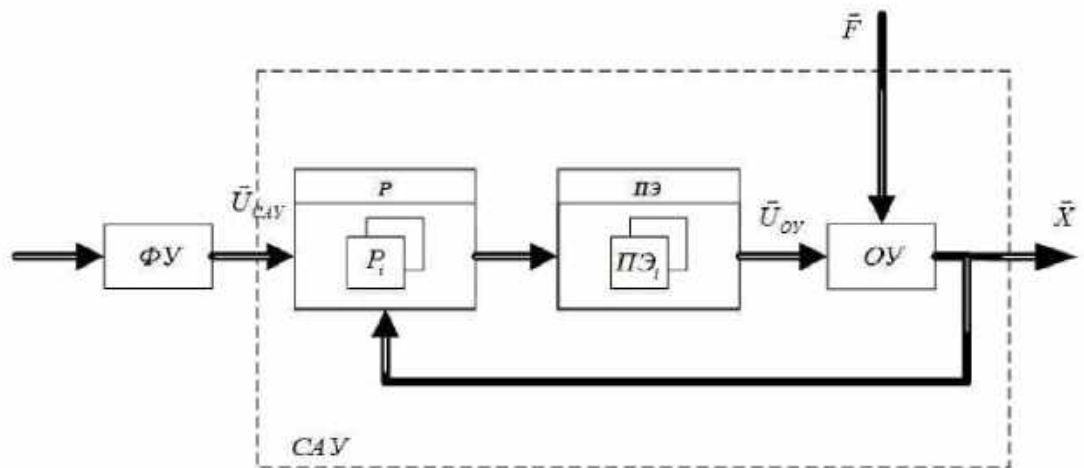


Рисунок 38 – Структурна схема багатовимірних систем управління

Вектор управління $\bar{U}_{САУ}$ формується пристроєм формування управління ФУ. Блок регуляторів Р, ґрунтуючись на відхиленнях регульованих величин від заданих, управляє перетворювачами енергії ПЕ, які здійснюють керуючі впливи $\bar{U}_{ОУ}$ об'єкт управління ОУ. На об'єкт управління діють впливи, що збурюють $\bar{F}$.

Використовуючи тривимірну модель системи зневажування, були отримані величини кутів відхилення від вертикалі тросів однієї з панелей у різні моменти часу.

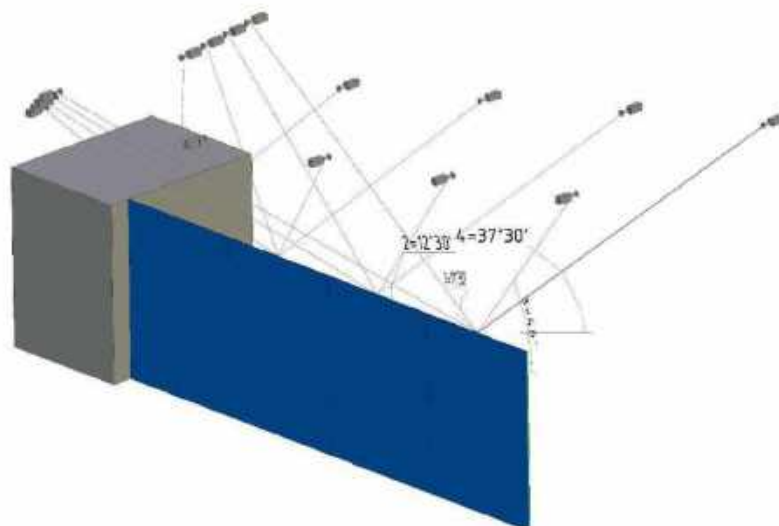


Рисунок 39 – Кути відхилення тросів від вертикалі

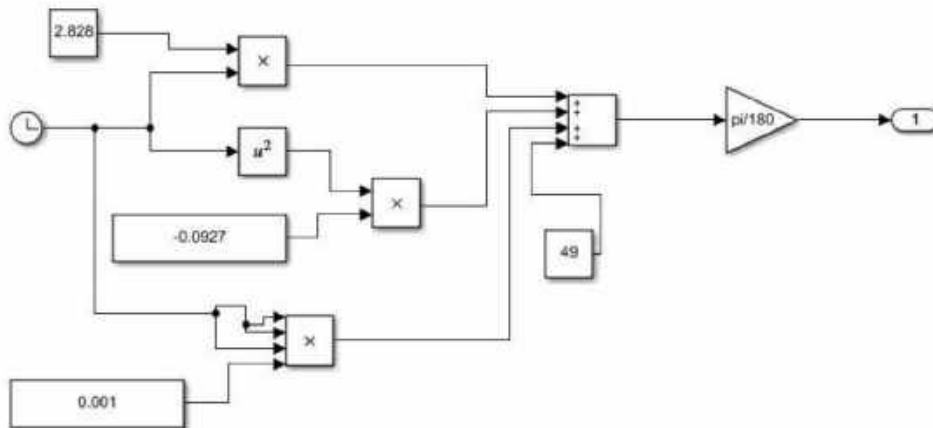
Таблиця 8 - Залежність кутів відхилення тросів від часу

Час, с	$\alpha, ^\circ$	$\beta, ^\circ$	$\gamma, ^\circ$	$\varepsilon, ^\circ$
0	49	49	73	73
5	61	61	69.3	69.3
10	70	69.5	64.5	65
15	74.5	74	59	60
20	76.5	76	52	55
25	78	77.5	46.5	52.5
30	78.5	77.5	44	52.5

На основі даних, наведених у таблиці 8, за допомогою програмних засобів були отримані функції залежності від часу кута відхилення від вертикалі:

$$\begin{aligned}
 \alpha(t) &= 0.001t^3 - 0.0927t^2 + 2.828t + 49 \\
 \beta(t) &= 0.001t^3 - 0.0931t^2 + 2.8646t + 49 \\
 \gamma(t) &= 0.0004t^3 - 0.0066t^2 - 0.8974t + 73 \\
 \varepsilon(t) &= 0.001t^3 - 0.0447t^2 - 0.5398t + 73
 \end{aligned}
 \tag{3.10}$$

Модель Simulink, що реалізує функцію залежності кута α , заснована на вираженні (3.10), наведено на рис. 40.

Рисунок 40 – Функція залежності кута α від часу в Simulink

Моделі Simulink функції інших трьох кутів були побудовані аналогічно.

Грунтуючись на виразі (2.4) та рис. 14, можна обчислити значення величин проекцій векторів сил натягу тросів на вертикальну вісь:

$$\begin{aligned}
 T_1 &= \frac{m_n \cdot g}{\frac{\operatorname{ctg}(\alpha) + \operatorname{ctg}(\beta) + \operatorname{ctg}(\gamma) + \operatorname{ctg}(\varepsilon)}{\operatorname{ctg}(\alpha)} \cdot \cos(\alpha)} \\
 T_2 &= \frac{m_n \cdot g}{\frac{\operatorname{ctg}(\alpha) + \operatorname{ctg}(\beta) + \operatorname{ctg}(\gamma) + \operatorname{ctg}(\varepsilon)}{\operatorname{ctg}(\beta)} \cdot \cos(\beta)} \\
 T_3 &= \frac{m_n \cdot g}{\frac{\operatorname{ctg}(\alpha) + \operatorname{ctg}(\beta) + \operatorname{ctg}(\gamma) + \operatorname{ctg}(\varepsilon)}{\operatorname{ctg}(\gamma)} \cdot \cos(\gamma)} \\
 T_4 &= \frac{m_n \cdot g}{\frac{\operatorname{ctg}(\alpha) + \operatorname{ctg}(\beta) + \operatorname{ctg}(\gamma) + \operatorname{ctg}(\varepsilon)}{\operatorname{ctg}(\varepsilon)} \cdot \cos(\varepsilon)}
 \end{aligned} \tag{3.12}$$

На рис. 41 представлена модель системи зневажування однієї з панелей Simulink.

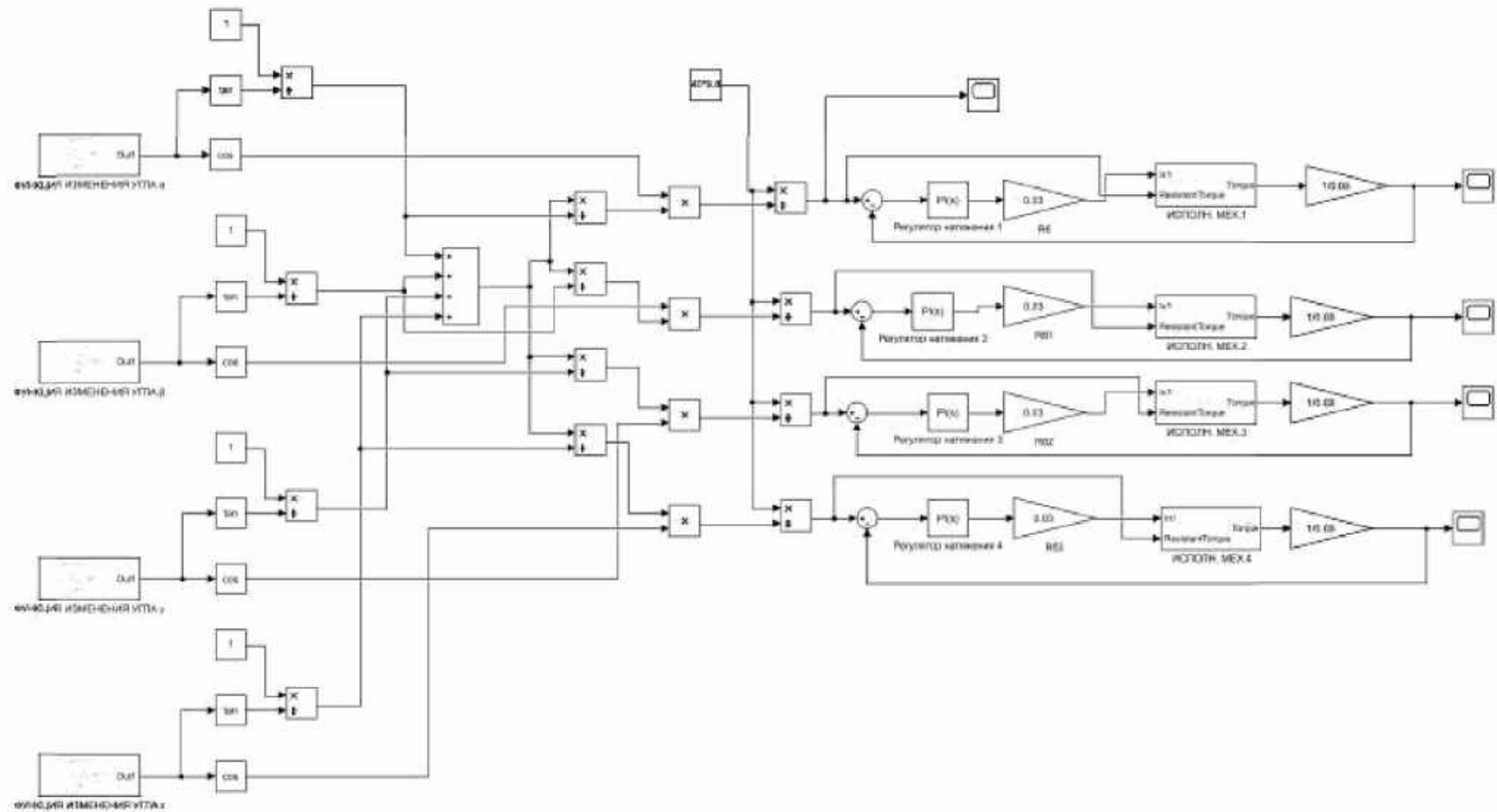


Рисунок 41 – Модель системи зневажування однієї з панелей Simulink

На рисунках 42-44 представлені залежності від часу натягу тросів, отримані в результаті моделювання системи зневажування однієї з панелей конструкції, що трансформується.

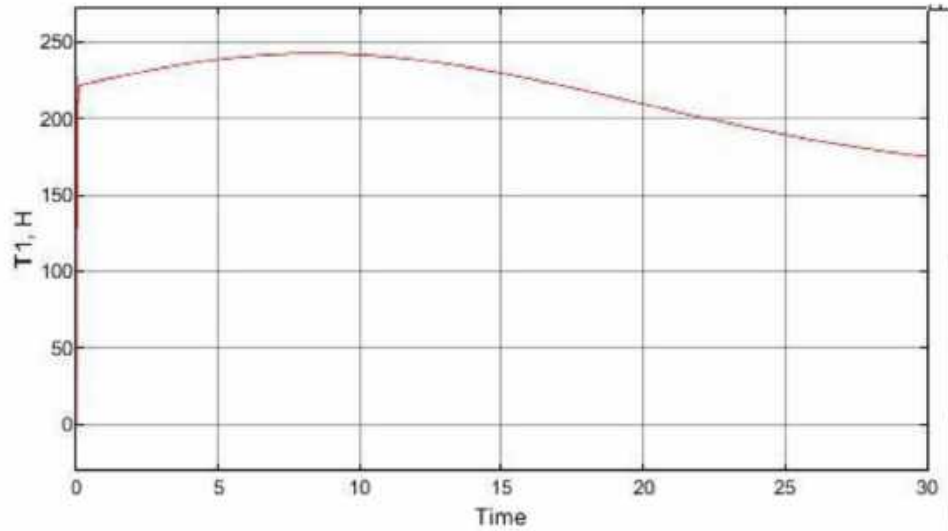


Рисунок 42 – Залежність T_1 від часу

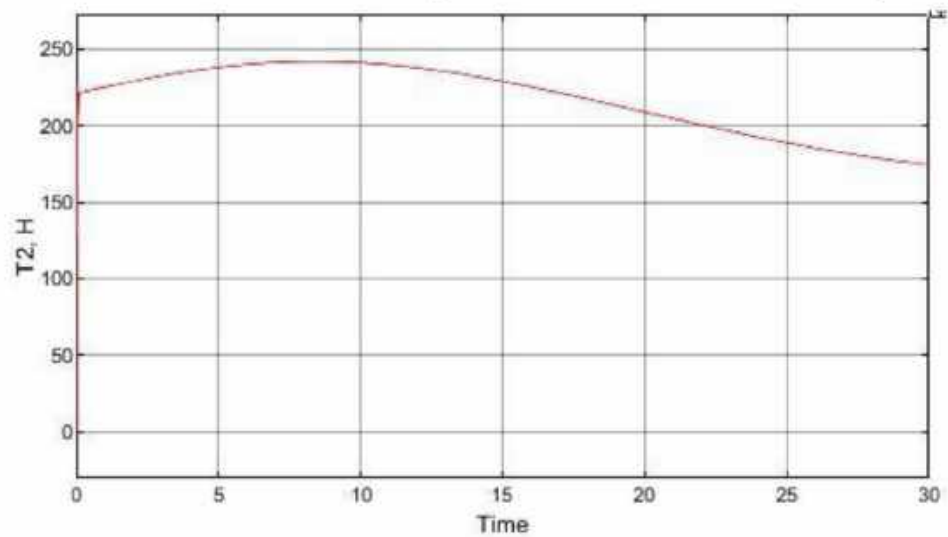
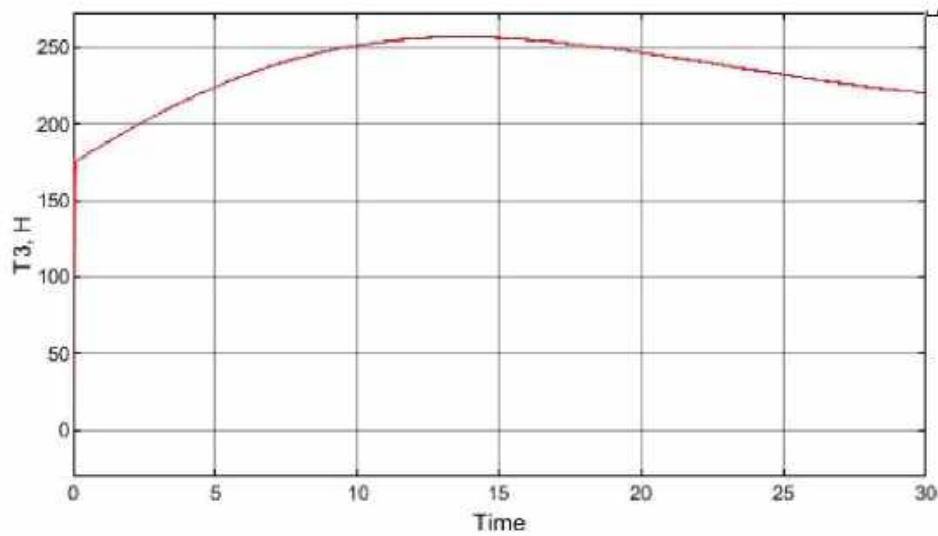
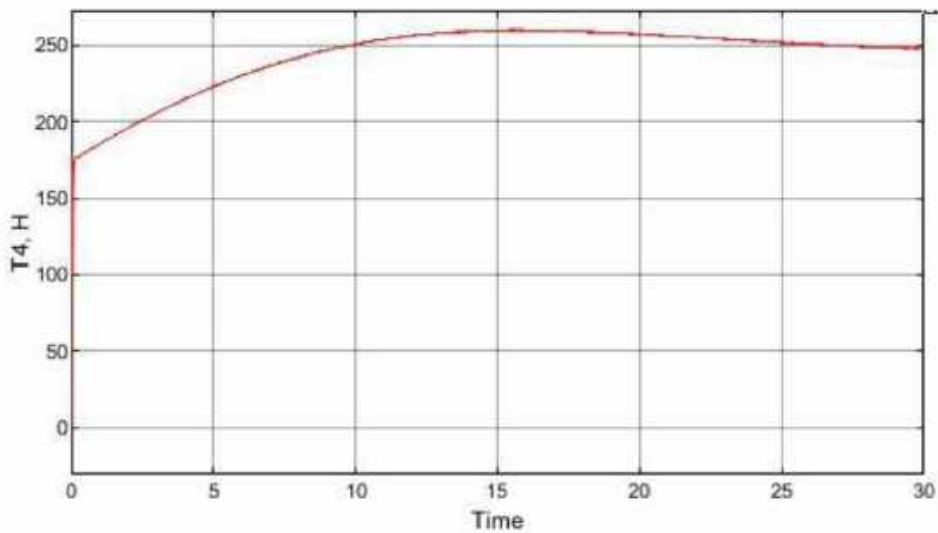


Рисунок 43 – Залежність T_2 від часу

Рисунок 44 - Залежність T_3 від часуРисунок 45 – Залежність T_4 від часу

Для перевірки правильності отриманих результатів моделювання перевіримо виконання умови (2.4) для моменту часу процесу розкриття 15 с. Отримані величини натягу тросів у цей момент часу:

$$T_1 = 229,5 \quad \text{Н} \cdot \text{м};$$

$$T_2 = 229 \quad \text{Н} \cdot \text{м};$$

$$T_3 = 256,3 \quad \text{Н} \cdot \text{м};$$

$$T_4 = 259,4 \quad \text{Н} \cdot \text{м}.$$

Перевіримо виконання умови (2.4):

$$P_n = m_n g = 40 \cdot g = 392,226 \quad \text{Н} \cdot \text{м} \quad (3.13)$$

$$\begin{aligned} T_1 \cos \alpha + T_2 \cos \beta + T_3 \cos \gamma + T_4 \cos \varepsilon = 229,5 \cos(74,5) + \\ + 229 \cos(74) + 256,3 \cos(59) + 259,4 \cos(60) = 392,266 \quad \text{Н} \cdot \text{м} \end{aligned} \quad (3.14)$$

Таким чином, умова (2.4) виконується, і можна стверджувати про правильність моделювання системи зневажування.

Розділ 4. Охорона праці та навколишнього середовища

У розділі розглядаються питання аналізу шкідливих та небезпечних факторів праці, розробляються заходи захисту від шкідливих та небезпечних виробничих факторів для робочого місця відповідно до вимог нормативно-технічної документації, а також надаються рекомендації щодо створення оптимальних умов праці та охорони навколишнього середовища.

У цьому розділі випускної кваліфікаційної роботи порушено питання, що стосуються соціальної відповідальності при розробці системи автоматичного управління та експлуатації виконавчого механізму системи часткового зневажування.

Виконавчий механізм системи часткового зневажування є електроприводом і разом із системою управління є електротехнічним пристроєм.

Розробка системи автоматичного управління та виконавчого механізму системи часткового зневажування ведеться на автоматизованому робочому місці з персональним комп'ютером.

4.1. Правові та організаційні питання забезпечення безпеки

Регламентований час тривалості робочого часу не повинен перевищувати 40 годин на тиждень, протягом робочого дня роботодавець зобов'язаний надати працівникові перерву для відпочинку та харчування. Час, що надається працівникові для відпочинку та харчування, розташовується в тимчасовому проміжку від 30 хвилин до 2 годин, залежно від роботодавця.

Роботодавець зобов'язаний забезпечувати безпеку працівника та відповідність умов праці всім необхідним вимогам.

Вимоги до організації робочих місць висувуються таке. Робоче місце має бути організоване з урахуванням ергономічних вимог.

Залежно від виду та часу здійсненої роботи інструкція встановлює поділ шляхом класифікації за групами:

- А – читання інформації з монітора за зробленим запитом;
- Б - друкування на клавіатурі з метою введення інформації;
- В – творча робота.

Крім цього, передбачено поділ на категорії складності робіт: – для групи А (не понад 60000 зчитуваних знаків за зміну) перерва становить 15 хвилин, надається двічі – через дві години після початку роботи та перерви на обід; 108 – для групи Б (не понад 40000 надрукованих знаків за зміну) перерва становить 10 хвилин через кожну трудову годину; – для групи В (не понад шість 6 годин за зміну) перерва становить 15 хвилин через кожну трудову годину. Якщо зміна триває дванадцять годин, час регламентованих перерв при роботі на комп'ютері за вісім годин роботи надається у вищевказаному порядку, а за чотири години, що залишилися.

4.2. Виробнича безпека

У процесі розробки та експлуатації даного пристрою на людину можуть впливати шкідливі та небезпечні фактори. До шкідливих виробничих факторів слід зарахувати:

- Шум
- Мікроклімат
- Освітлення
- Психофізіологічні фактори: фіксована робоча поза, розумова перенапруга.

Небезпечні виробничі фактори:

- Електричний струм (джерелом є ПК)
- Статична електрика
- Коротке замикання

4.2.1. Електробезпека

Під час розробки системи автоматичного управління виконавчого механізму системи часткового зневажування можливе ураження електричним струмом, що проходить від мережі до ПК.

Залежно від умов у приміщенні небезпека ураження людини електричним струмом збільшується чи зменшується. Не слід працювати з електрообладнанням в умовах підвищеної вологості (відносна вологість повітря тривало перевищує 75%), високої температури (понад 35°C), наявності струмопровідного пилу,

струмопровідних підлог і можливості одночасного дотику до металевих елементів і металевим корпусом електроустаткування, що мають з'єднання із землею. Таким чином, робота з ПК та даним пристроєм може проводитися тільки в приміщеннях без підвищеної небезпеки, і можливість ураження струмом може бути лише при дотику безпосередньо з елементами ПК.

Обов'язкові такі запобіжні заходи:

- перед початком роботи потрібно переконатися, що вимикачі та розетка закріплені та не мають оголених струмопровідних частин;
- при виявленні несправності обладнання та приладів необхідно не роблячи жодних самостійних виправлень повідомити відповідального обладнання;
- забороняється захаращувати робоче місце зайвими предметами. До заходів щодо запобігання можливому ураженню електричним струмом:
- дотримання відповідних відстаней до струмопровідних частин або шляхом закриття, огороження струмопровідних частин;
- застосування блокування апаратів та огорожувальних пристроїв для запобігання помилковим операціям та доступу до струмоведучих частин;
- застосування попереджувальної сигналізації, написів та плакатів;
- застосування пристроїв для зниження напруженості електричних та магнітних полів до допустимих значень;
- використання засобів захисту та пристроїв, у тому числі для захисту від впливу електричного та магнітного полів в електроустановках, яких їхня напруженість перевищує допустимі норми. Підвищення електробезпеки в установках досягається застосуванням систем захисного заземлення, захисного занулення та захисного відключення.

4.2.2. Мікроклімат

Мікроклімат приміщення визначається трьома основними параметрами:

- температура навколишнього повітря, °C;
- відносна вологість повітря, %;
- швидкість руху повітря, м/с;

Комфортність праці та висока продуктивність працюючого залежить від мікроклімату у приміщенні. Мікроклімат визначається діючими на організм людини поєднаннями температури, відносної вологості та швидкості руху повітря. Оптимальні та допустимі значення характеристик мікроклімату, наведені в таблиці 9:

Таблиця 9 – Оптимальні та допустимі значення характеристик мікроклімату

Період року	Категорія робіт з рівнем енерговитрат, Вт	Температура повітря, °C	Температура поверхонь, °C	Відносна вологість повітря, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	Ia (до 139)	22 - 24	21 - 25	60 - 40	0,1
	Iб (140 - 174)	21 - 23	20 - 24	60 - 40	0,1
	IIa (175 - 232)	19 - 21	18 - 22	60 - 40	0,2
	IIб (233 - 290)	17 - 19	16 - 20	60 - 40	0,2
	III (більше 290)	16 - 18	15 - 19	60 - 40	0,3

Теплий	Ia (до 139)	23 - 25	22 - 26	60 - 40	0,1
	Iб (140 - 174)	22 - 24	21 - 25	60 - 40	0,1
	IIa (175 - 232)	20 - 22	19 - 23	60 - 40	0,2
	IIб (233 - 290)	19 - 21	18 - 22	60 - 40	0,2
	III (більше 290)	18 - 20	17 - 21	60 - 40	0,3

Оптимальні умови мікроклімату забезпечують комфортну роботу трудящого, не викликають відхилень у стані здоров'я, підтримують високий рівень працездатності. Робота персоналу у разі належить до категорії робіт Ia, з інтенсивністю енерговитрат до 139 ккал/год. Роботи проводяться сидячи і супроводжуються незначною фізичною напругою. Нормальні значення параметрів мікроклімату в приміщенні, де знаходиться робоче місце протягом усього року, підтримуються завдяки встановленому кондиціонеру та центральному опаленню.

4.2.3. Шум

Під час виконання робіт пристроєм працівник може піддаватися рівням шуму від працюючого персонального комп'ютера. Крім того, джерелами шуму на робочому місці можуть бути кондиціонери. Говорячи про дію шуму на організм, слід мати на увазі, що він має як місцеву, так і загальну дію. При цьому частішає пульс, дихання, підвищується артеріальний тиск, змінюються рухова та секреторна функції шлунка та інших органів. Несприятливо відбивається шум на нервовій системі, викликаючи головний біль, безсоння, ослаблення уваги, уповільнення психічних реакцій, що зрештою призводить до зниження працездатності. Гранично допустимі рівні шуму дБ представлені в таблиці 10.

Таблиця 10 - Гранично допустимі рівні шуму, дБ

Категорія напруженості трудового процесу	Категорія тяжкості трудового процесу				
	Легке фізичне навантаження	Середнє фізичне навантаження	Важка праця 1 ступеня	Важка праця 2 ступеня	Важка праця 3 ступеня
Напруженість легкого ступеня	80	80	75	75	75
Напруженість середнього ступеня	70	70	65	65	65
Напружена праця 1 ступеня	60	60	-	-	-
Напружена праця 2 ступеня	50	50	-	-	-

Робота персоналу у разі відноситься до легкого ступеня напруженості і максимальний рівень шуму становить 80 дБ. Цим вимогам задовольняє місце роботи із сучасною малOSHумною комп'ютерною технікою.

4.2.4. Психофізіологічні фактори

При проектуванні робочого місця слід враховувати, що фіксована робоча поза фізіологічно не виправдана, так як вона викликає порушення кровообігу в нижніх кінцівках і органах тазової області, що призводять до професійних захворювань. При вимушеному сидячому положенні можуть виникнути сколіози та кіфози.

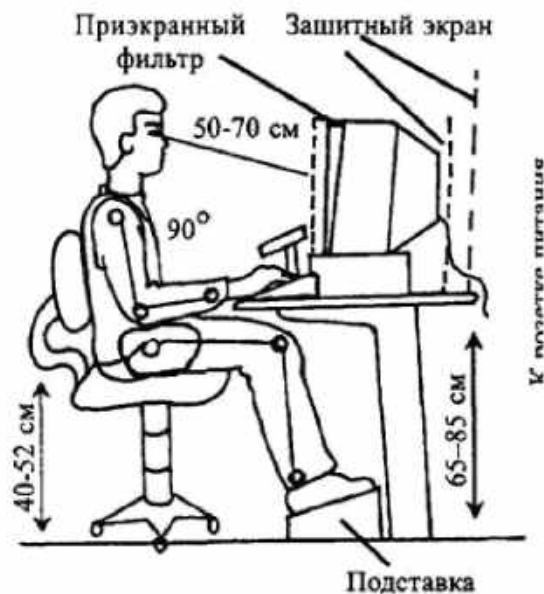


Рисунок 46 - Організація робочого столу користувача ПК

При проектуванні робочих місць потрібно прагнути до того, щоб робоча поза була якомога ближче до природної пози людини. Тому доцільно передбачати можливість роботи як стоячи, і сидячи. На особливу увагу заслуговує проектування крісел для осіб, які постійно виконують роботу сидячи за ПК. Конструкція крісла повинна бути такою, щоб рівномірніше розподілити тиск тіла на площу опори. Це можливо тоді, коли крісло найбільше відповідає анатомічній будові людини.

Наслідком фіксованої робочої пози є гіподинамія, що негативно позначається на стан здоров'я працюючих-порушення функцій організму (опорно-рухового апарату, кровообігу, дихання, травлення та ін) при обмеженій руховій активності, зниженні сил опору м'язів.

В процесі роботи з ПК необхідно дотримуватися правильного режиму праці та відпочинку. В іншому випадку у персоналу відзначаються значна напруга зорового апарату з проявом скарг на незадоволеність роботою, головний біль, дратівливість, порушення сну, втома та хворобливі відчуття в очах, у попереку, в області ший та руках.

Робоче місце розробника електромеханічного виробу, за дотримання правил роботи за ПК, повністю відповідає вимогам для нормального психічного та фізіологічного функціонування людини.

4.2.5. Розрахунок освітлення

Збільшення освітленості сприяє покращенню працездатності навіть у тих випадках, коли процес праці практично не залежить від зорового сприйняття.

При поганому освітленні людина швидко втомлюється, працює менш продуктивно, зростає потенційна небезпека помилкових дій та нещасних випадків. Зрештою, погане освітлення може призвести до професійних захворювань (наприклад, короткозорість, спазм акомодатції) та ін).

Велике гігієнічне значення має природне висвітлення. Дифузне освітлення приміщень, що утворюється в результаті взаємодії прямого і відбитого світла, створює сприятливий розподіл яскравості, що надає позитивну дію на зір.

Гігієнічні вимоги до виробничого висвітлення, засновані на психофізичних особливостях сприйняття світла та його впливу на організм людини, можуть бути зведені до таких:

- спектральний склад світла, створюваного штучними джерелами, повинен наближатися до сонячного;
- рівень освітленості повинен бути достатнім та відповідати гігієнічним нормам, які враховують умови зорової роботи;
- повинна бути забезпечена рівномірність та стійкість рівня освітленості в приміщенні, щоб уникнути частоті переадаптації та втоми зору. У той же час, за наявними даними, при тривалій роботі в рівномірно освітленому просторі може порушуватися сприйняття форми об'єктів, що реалізується, зрештою, у зорових галюцинаціях.

У всіх приміщеннях будівель, в яких ведеться розробка системи автоматичного управління виконавчим механізмом системи часткового зневажування, дотримані всі вимоги до освітлення, є природне та штучне джерела світла.

Правильно спроектоване та раціонально виконане освітлення виробничих приміщень надає позитивний вплив на працюючих, сприяє підвищенню ефективності та безпеки праці, знижує втому та травматизм, зберігає високу працездатність.

При виборі типу світильників слід зважати на світлотехнічні вимоги, економічні показники, умови середовища.

Розміщення світильників у приміщенні визначається наступними параметрами (рисунок 47):

H - висота приміщення;

h_c - відстань світильників від перекриття (звис);

$h_n = H - h_c$ - висота світильника над підлогою, висота підвісу;

h_{pn} - висота робочої поверхні над підлогою;

$= h_n - h_{pn}$ - розрахункова висота, висота світильника над робочою поверхнею;

L - відстань між сусідніми світильниками або рядами (якщо по довжині (А) та ширині (В) приміщення відстані різні, то вони позначаються L_A та L_B),

l - Відстань від крайніх світильників або рядів до стіни. 6 Оптимальна відстань l від крайнього ряду світильників до стіни рекомендується приймати рівним $L/3$.

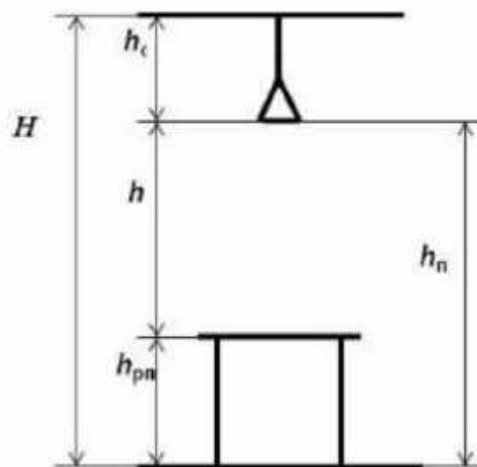


Рисунок 47 - Основні розрахункові параметри

Інтегральним критерієм оптимальності розташування світильників є величина $\lambda = L/h$, зменшення якої дорожчає пристрій та обслуговування освітлення, а надмірне збільшення веде до різкої нерівномірності освітленості.

Розміри приміщення (аудиторія 13 навчального корпусу №1 УІПА), у якому ведеться робота:

- довжина $A = 10$ м;
- ширина = 6 м;
- висота = 3,5 м.
- висота робочої поверхні $h_{pn} = 0,8$ м.

Необхідно створити освітленість не нижче 300 лк, відповідно до характеристики зорової роботи.

Коефіцієнт відбиття стін $R_c = 50\%$, стелі $R_n = 70\%$. Необхідно провести розрахунок системи загального люмінесцентного освітлення відповідно до [22].

Як освітлювальний прилад був обраний світильник з люмінесцентними лампами типу ОД, $\lambda = 1,4$.

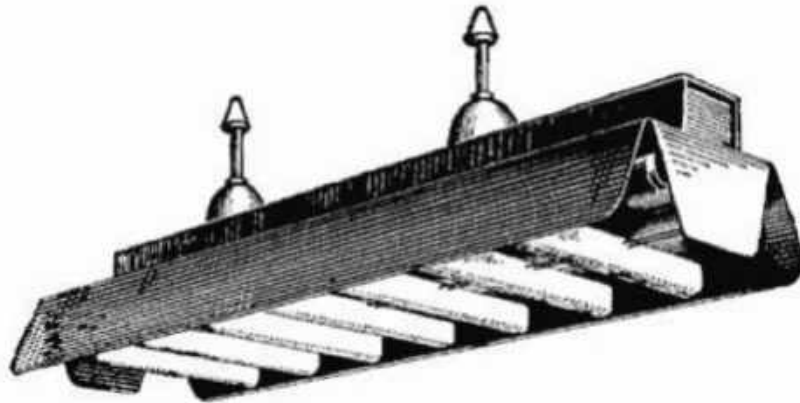


Рисунок 48 - Світильник підвісний з люмінесцентними лампами

Відстань світильників від перекриття $h_s = 0,5$ м

$$h = H - h_s - h_{pn} = 3,5 - 0,5 - 0,8 = 2,2 \text{ м} \quad (4.1)$$

$$L = 1,4 \cdot 2,2 = 3,08 \quad (4.2)$$

$$\frac{L}{2} = \frac{3,08}{2} \approx 1,54 \text{ м.} \quad (4.3)$$

Розміщуємо світильники у два ряди. У кожному ряду можна встановити 6 світильників типу ОД потужністю 30 Вт (з довжиною 0,933 м), при цьому розриви між світильниками в ряду становитимуть 48 см. Зображаємо в масштабі план приміщення та розміщення на ньому світильників (рис. 49). Враховуючи, що у

кожному світильнику встановлено дві лампи, загальна кількість ламп у приміщенні $N = 24$.

План приміщення та розміщення на ньому світильників наведено на рис 49.

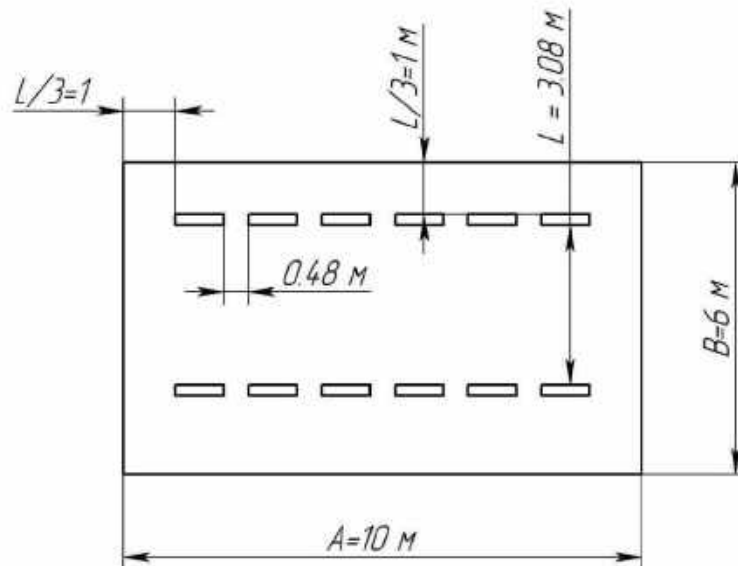


Рисунок 49 - План приміщення та розміщення світильників з люмінесцентними
Індекс приміщення:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{AB}{h \cdot (A + B)} = \frac{6 \cdot 10}{2,2 \cdot (10 + 6)} = 1,7 \quad (4.4)$$

Необхідний світловий потік:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{N \cdot \eta} \quad (4.5)$$

де E_n - нормована мінімальна освітленість, лк;

S – площа освітлюваного приміщення, m^2 ;

K_z - коефіцієнт запасу, що враховує забруднення світильника (джерела світла, світлотехнічної арматури, стін та ін, тобто відбивають поверхонь), наявність в атмосфері цеху диму, пилу. Для приміщень із малим виділенням пилу дорівнює 1,5.

Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення, відношення E_{cp}/E_{min} . Для люмінесцентних ламп під час розрахунків береться рівним 1,1; N - Число ламп у приміщенні; η – коефіцієнт використання світлового потоку.

Коефіцієнт використання світлового потоку = 0,58.

$$\Phi = \frac{300 \cdot 60 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{24 \cdot 0,58} = 2133 \text{ лм.} \quad (4.6)$$

В таблиці 1 [22] виберемо найближчу стандартну лампу ЛТБ 30 Вт із потоком 2020 лм. Проведемо перевірку правильності вибраного освітлення:

$$\begin{aligned} -10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд.}} - \Phi_{\text{л.расч.}}}{\Phi_{\text{л.станд.}}} \cdot 100\% \leq 20\% \\ -10\% \leq -5,6\% \leq 20\% \end{aligned} \quad (4.7)$$

Електрична потужність освітлювальної установки:

$$P = 24 \cdot 30 = 720 \text{ Вт.} \quad (4.8)$$

Отже, можна сказати, що обране висвітлення відповідає вимогам нормативної документації.

4.3. Екологічна безпека

Сьогодні проблема забруднення навколишнього середовища набуває глобального характеру. І атмосфера, і гідросфера забруднені токсичними речовинами, створеними людиною. Людство має розробляти та вдосконалювати інженерно-технічні засоби захисту навколишнього середовища, розвивати основи створення замкнутих, безвідходних та маловідходних виробництв. Сучасна техніка та технології дозволяють скоротити викиди шкідливих та токсичних речовин у навколишнє середовище, проте для забезпечення екології на довгостроковий період часу потрібно постійно вдосконалювати технології видобутку, споживання, переробки сировини, використання та утилізації обладнання.

4.3.1. Аналіз впливу об'єкта на літосферу

В офісному середовищі необхідно використовувати системи електронного документообігу. Це допоможе уникнути зайвого споживання паперу, чорнила і, відповідно, їх утилізації.

Важливим є продумана утилізація несправного та застарілого обладнання або деталей установки для унеможливлення шкоди навколишньому середовищу.

Утилізація електроустаткування проводиться у спеціалізованих компаніях. Також необхідно проводити періодичний огляд електромеханічного устаткування. Крім турботи про навколишнє середовище, тим самим можна досягти більш тривалої та безпечної роботи обладнання.

4.4. Безпека у надзвичайних ситуаціях

4.4.1. Аналіз можливих НС, які можуть ініціювати об'єкт досліджень

Однією з найбільш ймовірних надзвичайних ситуацій, які можуть виникнути при експлуатації виконавчого механізму системи зневажування є руйнування конструкції, що зневажується, і конструкції самої системи зневажування внаслідок неправильного руху.

Для уникнення таких ситуацій необхідна реалізація обмежувачів, які не дозволять виконавчим механізмам переміщати конструкцію, що зневажується, за зону обмеження.

Іншою характерною надзвичайною ситуацією при експлуатації виконавчих механізмів систем зневажування є спалах обмоток електродвигуна внаслідок його перевантаження.

Для запобігання спалаху обмоток необхідно застосування струмообмежуючого захисту.

4.4.2 Аналіз можливих НС, які можуть виникнути на робочому місці під час проведення досліджень

Найбільш ймовірною надзвичайною ситуацією під час експлуатації системи є пожежа робочому місці. При неправильному функціонуванні системи на обмотках двигуна можуть виникнути високі струми, що призводить до займання. Як протипожежні заходи повинні бути застосовані такі заходи:

- у приміщенні мають бути засоби гасіння пожежі, засоби зв'язку; електричне проведення електроустаткування та освітлювальних приладів має бути справним;

всі співробітники повинні знати місце знаходження засобів пожежогасіння та вміти ними скористатися, засобів зв'язку та номери екстрених служб.

У зв'язку з можливістю виникнення пожежі розроблено наступний план дій:

- у разі виникнення пожежі повідомити про неї керівника, постаратися усунути вогнище займання наявними силами за допомогою первинних засобів пожежогасіння (вогнегасник порошковий, вуглекислотний О-1П0(з)-АВСЕ);
- привести в дію ручний пожежний сповіщувач, якщо осередок спалаху загасити не вдається;
- повідомити про спалах у службу пожежної охорони, повідомити адресу, місце та причину виникнення пожежі;
- вжити заходів щодо евакуації людей та матеріальних цінностей;
- зустріти пожежну охорону, у разі потреби повідомити всю необхідну інформацію та надати допомогу при виборі найкращого підходу до осередку займання.

В будівлі місця роботи над системою управління виконавчого механізму системи часткового зневажування дотримано вимог пожежобезпеки, є засоби пожежогасіння.

Висновки у розділі «Охорона праці»

У ході виконання роботи над розділом «Охорона праці» було виявлено небезпечні та шкідливі фактори, вплив яких може зазнати людина, яка працює над автоматизацією виконавчого механізму. Серед цих факторів є шум, рівень освітленості, показники мікроклімату, психофізіологічні фактори та електричний струм, але їх показники не перевищують допустимих значень. Було проведено аналіз нормативної документації.

Грунтуючись на результатах виконаної роботи, було запропоновано низку заходів, для виключення чи зменшення впливу небезпечних та шкідливих факторів на людину та навколишнє середовище. Таким чином, робоче місце розробника виробу відповідає вимогам безпеки, що висуваються.

Розділ 5. Економічна частина. Ресурсоефективність та ресурсозбереження

Мета розділу – комплексний опис та аналіз фінансово-економічних аспектів виконаної роботи.

У кваліфікаційної роботи здійснюється комплекс заходів для автоматизації виконавчого механізму, що входить до складу системи часткового зневажування.

Потенційними споживачами є лабораторії випробувань космічних апаратів та учбово-дослідні лабораторії вищих навчальних закладів.

5.1. Організація та планування ДКР (НДР) робіт

Трудомісткість виконання проекту оцінюється в людино-годинах і залежить від багатьох факторів, які складно врахувати при розробці. Для реалізації проекту необхідно 2 виконавці – науковий керівник (НР), інженер (І). Етапи роботи проекту представлені у таблиці 11. Таблиця 11 - Перелік етапів, робіт та розподіл виконавців

Зміст робіт	Виконавці	Завантаження (зайнятість) виконавців
Складання і затвердження технічного завдання	НР, І	НР – 50% І – 50%
Підбір та вивчення матеріалів на тему	І	І – 100%
Проведення патентних досліджень	І	І – 100%
Опис об'єкта автоматизації	І	І – 100%
Календарне планування робіт на тему Проведення теоретичних розрахунків та обґрунтувань	НР І	НР - 100% І – 100%
Побудова моделей та проведення експериментів	І	І – 100%

Зіставлення результатів експериментів з теоретичними дослідженнями	I	I – 100%
Коригування моделі, розрахунків	HP, I	HP – 50% I – 50%
Твердження моделі і теоретичних обґрунтувань	HP	I – 100%
Оцінка ефективності отриманих результатів	HP	HP - 100%
Розробка блок-схеми, принципової схеми	I	I – 100%
Техніко-економічні розрахунки	I	I – 100%
Питання безпеки та екології	I	I – 100%
Складання пояснювальної записки (експлуатаційно-технічної документації)	I	I – 100%

5.1.2. Визначення тривалості етапів робіт

Розрахунок очікуваних значень тривалості етапів робіт здійснюється експертним методом за формулою:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (5.1)$$

де t_{min} - мінімальна тривалість роботи, дн.; t_{max} - максимальна тривалість роботи, дн.;

Для побудови лінійного графіка необхідно розрахувати тривалість етапів у робочих днях, та був перевести їх у календарні дні Розрахунок тривалості виконання кожного етапу у робочих днях ($T_{рд}$) ведеться за формулою:

$$T_{рд} = t_{ож} \cdot K_{вн} \cdot K_{д} \quad (5.2)$$

$K_{вн}$ - коефіцієнт виконання робіт, що враховує можливий вплив зовнішніх факторів на дотримання попередньо визначених тривалостей, зокрема, можливо:

$K_{вн} = 1$ – вплив відсутній;

$K_{\text{ви}} < 1$ – прискорювальний вплив;

$K_{\text{ви}} > 1$ – сповільнює вплив.

$K_{\text{д}}$ – коефіцієнт, що враховує додатковий час компенсацію непередбачених затримок, викликаних внутрішніми причинами. $K_{\text{д}} = 0.8 \div 1.2$, $K_{\text{ви}} = 1.0 \div 1.2$, у цих межах конкретного значення набуває сам виконавець.

Розрахунок тривалості етапу у календарних днях ($T_{\text{кд}}$) ведеться за формулою:

$$T_{\text{кд}} = T_{\text{рд}} \cdot T_{\text{к}} \quad (5.3)$$

де $T_{\text{к}}$ – коефіцієнт календарності, що дозволяє перейти від тривалості робіт у робочих днях до їх аналогів у календарних днях, та розраховується за формулою:

$$T_{\text{к}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вд}} - T_{\text{пд}}} \quad (5.4)$$

де $T_{\text{кал}}$ – календарні дні ($T_{\text{кал}} = 365$);

$T_{\text{вд}}$ – вихідні дні ($T_{\text{вд}} = 52$);

$T_{\text{пд}}$ – святкові дні ($T_{\text{пд}} = 10$).

$$T_{\text{к}} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1.205 \quad (5.5)$$

Це значення $T_{\text{к}}$ справедливо для 6-денного робочого тижня, характерного для більшості керівників ВКР-співробітників ТПУ, воно буде використане при визначенні календарної тривалості періоду виконання ВКР та побудові відповідного графіка.

У таблиці 12 наведено трудовитрати виконання ВКР, таблиці 13 показаний лінійний графік робіт.

Таблиця 12 - Трудовитрати виконання проекту

Етап	Виконавці	Тривалість робіт, дні						Трудомісткість робіт з виконавцям чол.- дн.			
		T_{min}		T_{max}		$T_{ож}$		$T_{рд}$		$T_{кд}$	
		НР	I	НР	I	НР	I	НР	I	НР	I
Складання та затвердження технічного завдання	НР	3	3	7	7	4,6	4,6	5,52	5,52	6,6516	6,6516
Підбір та вивчення матеріалів на тему	I		7		9		7,8		9,36		11,2788
Проведення патентних досліджень	I		3		5		3,8		4,56		5,4948
Опис об'єкту розробки	I		3		5		3,8		4,56		5,4948
Календарне планування робіт на тему	НР		3		5		3,8		4,56		5,4948
Проведення теоретичних розрахунків та обґрунтувань	I		7		10		8,2		9,84		11,8572

Продовження таблиці 12

Побудова моделей та проведення експериментів	I		7		9		7,8		9,36		11,2788
Зіставлення результатів експериментів з теоретичними дослідженнями	I		4		6		4,8		5,76		6,9408
Коригування моделі, розрахунків	HP, I	2	2	4	4	2,8	2,8	3,36	3,36	4,0488	4,0488
Затвердження моделі та теоретичних обґрунтувань	HP	2		3		2,4		2,88		3,4704	
Оцінка ефективності отриманих результатів	HP	2		3		2,4		2,88		3,4704	
Розробка блок-схеми, принципової схеми	I		5		9		6,6		7,92		9,5436
Техніко-економічні	I		3		5		3,8		4,56		5,4948

розрахунки											
Питання безпеки та екології	I		3		5		3,8		4,56		5,4948
Складання пояснювальної записки (експлуатаційно-технічної документації)	I		3		5		3,8		4,56		5,4948
Разом		12	50	22	79	16	61,6	19,2	73,92	23,136	89,0736

Таблиця 13 - Лінійний графік робіт

Етап	НР	I	Лютий			Березень			Квітень			Травень	
			10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
1	6,6516	6,6516											
2		11,2788											
3		5,4948											
4		5,4948											
5	5,4948												
6		11,8572											
7		11,2788											
8		6,9408											
9	4,0488	4,0488											
10	3,4704												
11	3,4704												
12		9,5436											
13		5,4948											

[illegible]

HP-



1-



5.2. Розрахунок кошторису витрат за виконання проекту

5.2.1. Розрахунок витрат на матеріали

До цієї статті витрат відноситься вартість матеріалів, покупних виробів, напівфабрикатів та інших матеріальних цінностей, що витрачаються безпосередньо в процесі виконання робіт над об'єктом проектування.

Таблиця 14 – Матеріальні витрати

Найменування	Одиниця вимірювання	Кількість	Ціна, грн
Набір канцелярських товарів	Шт.	1	500
Друкований папір	Упаковка	1	200
Картридж для принтера	Шт.	1	1800
Разом			2500

5.2.2. Розрахунок заробітної плати

Середньоденна тарифна заробітна плата ($ЗП_{\text{дн-т}}$) розраховується за формулами:

$$\text{для 6-денного робочого тижня} \quad ЗП_{\text{дн-т-6}} = MO/25,083 \quad (5.6)$$

$$\text{для 5-денного робочого тижня} \quad ЗП_{\text{дн-т-5}} = MO/20,75 \quad (5.7)$$

Для обліку у її складі премій, додаткової зарплати та районної надбавки використовується наступний ряд коефіцієнтів: $K_{\text{пр}} = 1,1$; $K_{\text{дод.ЗП}} = 1,188$; $K_{\text{р}} = 1,3$. Таким чином, для переходу від тарифної (базової) суми заробітку виконавця, пов'язаної з участю в проекті, до повного заробітку (зарплатної частини кошторису) необхідно першу помножити на інтегральний коефіцієнт $K_{\text{та(6)}} = 1,1 \cdot 1,188 \cdot 1,3 = 1,699$. Вищезазначене значення $K_{\text{дод.ЗП}}$ застосовується при 6-денному робочому тижні, при 5-денному воно дорівнює 1,113, відповідно в цьому випадку $K_{\text{та(5)}} = 1,62$.

Таблиця 15 - Витрати зарплатню

Виконавець	Оклад, грн./міс.	Середньоденн а ставка, грн./Раб. день	Витрати часу, роб. дні	Коефіцієнт	Фонд з/плати, грн.
НР	33 664	1342,09	19,2	1,699	43780,05
I	9489	457,30	73,92	1,62	54761,85
Разом:					98541,90

Примітка – для «I» тут прийнято 5-денний тиждень

5.2.3. Розрахунок витрат за соціальний податок

Витрати єдиний соціальний податок (ЄСП), куди входять у собі відрахування на пенсійний фонд, на соціальне і медичне страхування, становлять 30 % від повної зарплати у проекті, тобто. $Z_{\text{соц.}} = C_{\text{зп}} \cdot 0,3$. Отже, у нашому випадку $C_{\text{соц.}} = 98541,90 \cdot 0,3 = 29562,57$ грн.

5.2.4. Розрахунок витрат за електроенергію

Даний вид витрат включає витрати на електроенергію, витрачену в ході виконання проекту на роботу обладнання, що розраховується за формулою:

$$Z_{\text{ел.об.}} = P_{\text{об.}} \cdot t_{\text{об.}} \cdot C_E \quad (5.8)$$

де $P_{\text{об.}}$ - потужність, що споживається обладнанням, кВт;

C_E – тариф на 1 кВт-год;

$t_{\text{об.}}$ - час роботи обладнання, годину.

Для ТПУ $C_E = 6,59$ грн./кВт-год (з ПДВ).

$$t_{\text{об.}} = T_{\text{рд.}} \cdot K_1, \quad (5.9)$$

де $K_1 \leq 1$ - коефіцієнт використання обладнання за часом, рівний відношенню часу його роботи в процесі виконання проекту до $T_{\text{рд.}}$, Визначається виконавцем самостійно. У ряді випадків можливе визначення $t_{\text{об.}}$ шляхом прямого обліку, особливо в обмеженому використанні відповідного устаткування.

Потужність, що споживається обладнанням, визначається за такою формулою:

$$P_{\text{об.}} = P_{\text{ном.}} \cdot K_3 \quad (5.10)$$

де $P_{ном.}$ - номінальна потужність обладнання, кВт;

$K_3 \leq 1$ - коефіцієнт завантаження, що залежить від середнього ступеня використання номінальної потужності. Для технологічного обладнання малої потужності $K_3 = 1$.

Таблиця 16 - Витрати на електроенергію технологічну

Найменування обладнання	Час роботи обладнання $t_{об}$, година	Споживана потужність $P_{про}$, кВт	Витрати $E_{об}$, грн.
Персональний комп'ютер	591,36-0,6	0,3	701,47
Струменевий принтер	1,5	0,1	0,98
Разом:			702,45

5.2.5. Розрахунок амортизаційних витрат

статті «Амортизаційні відрахування» розраховується амортизація устаткування, що використовується за час виконання проекту.

Використовується формула:

$$C_{ам} = \frac{H_A \cdot Ц_{об} \cdot t_{рф} \cdot n}{F_d}, \quad (5.11)$$

де H_A - Річна норма амортизації одиниці обладнання;

$Ц_{об}$ - балансова вартість одиниці обладнання з урахуванням ТЗР;

F_d - дійсний річний фонд часу роботи відповідного обладнання, що береться зі спеціальних довідників або фактичного режиму його використання у поточному календарному році; $t_{рф}$ - фактичний час роботи обладнання в ході виконання проекту, враховується виконавцем проекту; n - число задіяних однотипних одиниць обладнання. Комп'ютер відноситься до другої групи за термінами

амортизації (майно з терміном корисного використання понад 2 до 3 років включно). Вартість ПК 70000 гре., Час використання 561,36 години.

Дійсний річний фонд часу роботи (298 робочих днів при шестиденному робочому тижні) можна прийняти $F_d = 298 \cdot 8 = 2384$ години.

$$C_{AM}(ПК) = \frac{0,4 \cdot 70000 \cdot 591,36 \cdot 1}{2384} = 6945,5 \text{ грн}$$

Вартість принтера 12000 грн., його $F_d = 500$ год.; $H_A = 0,5$; $t_{pdf} = 1$ год.

$$C_{AM}(Пр) = \frac{0,5 \cdot 10000 \cdot 1,5 \cdot 1}{500} = 15 \text{ грн}$$

5.2.6. Розрахунок витрат, що враховуються безпосередньо на основі платіжних (розрахункових) документів (крім добових)

Сюди відносяться:

- витрати на відрядження, в т.ч. витрати на оплату добових,
- транспортні витрати; компенсація вартості житла;
- орендна плата користування майном;
- оплата послуг зв'язку;
- послуги сторонніх організацій.

Нічого з вищезгаданого під час роботи над ВКР не використовувалося.

5.2.7. Інші витрати

У статті «Інші витрати» відображено витрати на виконання ВКР, які не враховані у попередніх статтях, їх слід прийняти рівними 10% від суми всіх попередніх витрат, тобто.

$$Z_{\text{інш.}} = (Z_{\text{мат}} + Z_{\text{зп}} + Z_{\text{соц}} + Z_{\text{сел.об.}} + Z_{\text{ам}} + Z_{\text{пп}}) \cdot 0,1 \quad (5.14)$$

$$Z_{\text{інш.}} = (2500 + 98541,90 + 29562,57 + 702,45 + 6960,50) \cdot 0,1 = 13826,75 \text{ грн.}$$

5.2.8. Розрахунок загальної собівартості розробки

Проведений розрахунок за всіма статтями кошторису витрат на розробку подано у таблиці 17.

Таблиця 17 - Кошторис витрат за розробку проекту

Стаття витрат	Умовне позначення	Сума, грн.
Матеріали та покупні вироби	Смат	2500
Заробітна плата	Сзп	98541,90
Відрахування до соціальних фондів	Ссоц	29562,57
Витрати електроенергію	Зел.	702,45
Амортизаційні відрахування	Сам	6960,50
Інші витрати	Сін	13826,75
Разом:		152094,17

5.2.9. Розрахунок прибутку

Системи зневажування є специфічними виробами, оскільки застосовуються для імітації невагомості при випробуваннях наземних космічних апаратів. Очікуваними споживачами розробки є лабораторії випробувань космічних апаратів та навчально-дослідні лабораторії вищих навчальних закладів.

Приймемо прибуток у вигляді 20% від витрат за розробку – 30418,83 грн.

5.2.10. Ціна розробки ПДВ

ПДВ складає 20% від суми витрат на розробку та прибутки. У разі це $(152094,17 + 30418,83) \cdot 0,2 = 36502,6$ грн.

5.2.11. Ціна розробки ДКР

Ціна дорівнює сумі повної собівартості, прибутку та ПДВ, у нашому випадку:

$$Ц_{ДКР (НДР)(КР)} = 152094,17 + 30418,83 + 36502,6 = 219015,6 \text{ грн. (5.16)}$$

5.3. Оцінка економічної ефективності проекту

Необхідно визначити термін окупності інвестицій (PP – payback period). Цей показник визначає тривалість того періоду, через який інвестиції будуть повернуті отриманим завдяки їм прибутком. Чим менше, PP тим ефективніший проект. Використання показника передбачає встановлення йому прийнятеного значення як заходи ефективності інвестицій. Використовується формула:

$$PP = \frac{I_0}{PP_{\text{ч}}}, \quad (5.17)$$

де I_0 - величина інвестицій;

$PP_{\text{ч}}$ - річний чистий прибуток.

Ця формула застосовується у випадках, коли величини $PP_{\text{ч}}$ приблизно рівні за роками експлуатаційної стадії проекту. Для цього проекту ці величини різні за роками. Слід застосовувати:

$$PP = n_{\text{ц}} + \frac{\Delta PP_{\text{чj}}}{PP_{\text{чj+1}}}, \quad (5.18)$$

де $n_{\text{ц}}$ - ціле число років, у якому накопичена сума прибутку найбільш близька до величини інвестицій, але не перевищує її;

$\Delta PP_{\text{чj}}$ - Непокрита частина інвестицій після закінчення $n_{\text{ц}}$ років реалізації проекту;

$PP_{\text{чj+1}}$ - прибуток за період, наступний за $n_{\text{ц}}$ -м.

Розрахунки наведено у таблиці 18.

Таблиця 18 - Накопичені грошові надходження за проектом

Рік	Інвестиції, тис. грн.	Прибуток, тис. грн.	Накопичений грошовий потік, тис. грн.
0	-152,09417	0	-152,09417
1		110	-42,09417
2		200	157,90583
3		240	397,90583
4		120	517,90583

Тут другий рік експлуатаційного періоду дає мінімум непокритого залишку (42,09417 тис. грн) інвестованої суми 152,09417 тис. грн., отже $n_{q_j}=1$. Тоді $\frac{\Delta PR_{q_j}}{PR_{q_{j+1}}} = 42,09417/157,90583 = 0,27$;
Тоді термін окупності інвестицій – 1,27 роки.

Недоліком розглянутого показника є його відносний характер – він відбиває масштаб проекту і обсяг отриманого результату. Тому поряд із РР доцільно розрахувати величину накопиченого чистого ефекту за формулою:

$$NPV = \sum_{j=1}^n PR_{q_j} - I_0 \quad (5.19)$$

де n – тривалість у роках періоду оцінки ефекту, наприклад, життєвого циклу проекту чи прогнозованого періоду. Очевидно, що в результаті реалізації проекту ця величина має бути позитивною, інакше проект є збитковим.

Якщо період реалізації проекту більше одного року та величини $PR_{год}$ значно розрізняються за роками реалізаційного періоду, необхідно враховувати зміна цінності грошей у часі. У цьому випадку при розрахунку замість величин PR_{q_j} та $PR_{q_{j+1}}$ слід використовувати їх дисконтовані аналоги, одержувані шляхом поділу

$ПР_{чj}$ та $ПР_{чj+1}$ на $(1 + i)^j$, де i – ставка дисконтування (цільовий рівень річної прибутковості коштів, що інвестуються). У таблиці 19 показано, як визначається значення $РР$ для тих самих вихідних даних, що й у таблиці 18, але з урахуванням зменшення реальної вартості результатів у майбутні періоди (роки) щодо періоду інвестування – чим далі в майбутнє, тим вона менша на одиницю номінального ефекту прийнято, що $i = 0,1$.

Таблиця 19 -Розрахунок дисконтованого терміну окупності

Рік	Інвестиції, тис. грн.	Номінальний прибуток тис. грн.	Коефіцієнт дисконтування $1/(1+0,1)^j$	Дисконтований прибуток тис. грн.	Накопичений грошовий потік, тис. грн.
	-152,09417	0	1	0	-152,09417
		110	0.9091	100	-52,09417
		200	0.8264	165,28	113,18583
		240	0.7513	180,31	293,49583
		120	0,6830	81,96	375,45583

Тут перший рік експлуатаційного періоду дає мінімум непокритого залишку (52,09417 тис. грн.) інвестованої суми 152,09417 тис. грн., то

$$n_{чj}=1. \text{ Тодя } \frac{\Delta ПР_{чj}}{ПР_{чj+1}} = 52,09417/113,18583 = 0,46;$$

Відповідно дисконтований термін окупності – 1,46 роки.

Таким чином, можна сказати, що інвестиції будуть повернуті і виконуваний проект є економічно ефективним.

Висновок

Під час досліджень було досягнуто основної мети, а саме – автоматизації виконавчого механізму системи часткового зневажування.

У першому розділі було проведено аналітичний огляд джерел літератури, присвячених системам та методам зневажування, та наявних технічних рішень.

У другому розділі були описані конструкція, що піддається зневаженню, система зневажування.

Третій розділ проводився математичний опис та моделювання виконавчого механізму. Було побудовано схеми систем автоматичного управління виконавчим механізмом, представлено результати моделювання.

Четвертий розділ присвячений соціальній відповідальності. Було проаналізовано шкідливі та небезпечні фактори праці під час проведення дослідження.

У п'ятому розділі комплексно описано та проаналізовано фінансово-економічні аспекти виконаної роботи.

Література

1. Бідюк П.І. Методи прогнозування/П. Бідюк, О. Меньяйленко, О.Половцев. – Т 2. – Луганськ : Альма-матер, 2008. – 305 с.
2. Sushabhan Choudhury. ZigBee and Bluetooth Network based Sensory Data Acquisition System [Електронний ресурс] / Sushabhan Choudhury, Piyush Kuchhal, Rajesh Singh. – doi.org/10.1016/j.procs.2015.04.195 – P. 367-372.
3. Kyung Sup Kwak. An Overview of IEEE 802.15.6 Standard" [Electronic resource] / Kyung Sup Kwak, Sana Ullah, Niamat Ullah // 2010 3rd International Symposium on Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL 2010), 7-10 Nov., 2010. – Rome, Italy. – DOI: 10.1109/ISABEL.2010.5702867.
4. Sushabhan Choudhury. ZigBee and Bluetooth Network based Sensory Data Acquisition System [Електронний ресурс] / Sushabhan Choudhury, Piyush Kuchhal, Rajesh Singh. – doi.org/10.1016/j.procs.2015.04.195 –P. 367-372.
5. IEEE 802.11 ad: directional 60 GHz communication for multi-Gigabit-per-second Wi-Fi / Nitsche, T., Cordeiro, C., Flores, A. B., Knightly, E. W., Perahia, E., & Widmer, J. C. // IEEE Communications Magazine. – 2014. – 52 (12). – Pp. 132-141.
6. IEEE 802.11 ad: A standard for TV white space spectrum sharing / Flores, A. B., Guerra, R. E., Knightly, E. W., Eccle-sine, P., & Pandey, S. // IEEE Communications Magazine. – 2013. – 51 (10). – Pp. 92-100.
7. Галай В.М. Теорія оптимальних систем автоматичного керування технологічними процесами: монографія/ В.М.Галай, К.Х.Зеленський, А.М. Сільвестров. – Полтава: ПНТУ, 2009. – 153 с.
8. Жлуктенко В. І. Економетрія/В. І. Жлуктенко, Н.К. Водзянова, С. С. Савіна, О. В. Колодінська (під ред. С. І. Наконечного). – Київ: Видавництво Європейського університету, 2005. – 550 с.
9. Зеленський К. Х. Комп'ютерні методи прикладної математики / К. Х. Зеленський, В. М. Ігнатенко, О. П. Коц. — Київ: Академперіодика, 2002. – 480 с.
10. Івахненко О. Г. Довгострокове прогнозування та керування скланими системами/О.Г. Івахненко. – Київ: Техніка, 1975. –250 с.
11. Нестеренко О.В., Ковтунець О.В., Фаловський О.О. Інтелектуальні системи і технології. Ввідний курс/ О.В.Нестеренко, О.В. Ковтунець, О.О. Фаловський. – Київ:Національна академія управління, 2017. – 90 с.

12. Островерхов М.Я. Методи дослідження електротехнічних комплексів і систем/М.Я. Островерхов, А.М. Сільвестров, К.Х. Зеленський/К.: ТАЛКОМ, 2019. - 300 с.
13. Самсонов В. В., Тачиніна О.М. Методологія наукових досліджень та приклади її використання/Київ, НУХТ, 2022. – 385 с.
14. Сільвестров А. М. Багатократно адаптивні системи ідентифікації / А. М. Сільвестров, О. М. Паченко.– К. : Техніка, 1983. – 110 с.
15. Антонюк В. С. Методологія наукових досліджень: Навч. посіб./В.С.Антонюк, Л. Г. Полонський, В. І. Аверченков, Ю. А. Малахов. – Київ: НТУУ „КПІ”, 2015. – 274 с.
16. Бучма І.М. Мікропроцесорні пристрої Навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2005. – 236 с.
17. Важинський С.Е., Щербак Т.І. Методика та організація наукових досліджень: Навч. посіб. /С. Е. Важинський, Т. І. Щербак. – Суми: СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2016. –260 с.
18. Нова енергетична стратегія України до 2035 року: «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». URL: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=244996332>
19. Дубовський С.В. Техніко-економічні оцінки перспективних природоохоронних технологій теплової енергетики України / С.В. Дубовський, В.С. Коберник // Проблеми загальної енергетики. –2013. – No 2(33). –С. 49-56.
20. Залознова Ю.С. Економічні та соціальні проблеми розвитку промисловості: монографія / Ю.С. Залознова; НАН України, Інститут економіки промисловості. –Київ, 2017. –288 с.
21. Іщук С.І., Гладкий О.В. Техніко-економічні основи промислового виробництва: навч. посібник. – К.: Академія, 2011. – 296 с.
22. Артюх С.Ф. Автоматизовані системи керування технологічними процесами в енергетиці / С.Ф.Артюх, М.А.Дуель, І.Г.Шелепов. –Харків, "Знання", –2001 р., –416 с.
23. Дуель М.О. Автоматизовані системи управління технологічними процесами енергоблоків теплових електростанцій (розробка, дослідження, впровадження): автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня д-ра техн. наук: спец. 05.13.07 / М.О. Дуель. –Харків, 1998. –36 с.
24. Савицький В. Технічні засоби автоматизації. - Львівська політехніка, 2018, -292с.
25. Ельперін І.В. Автоматизація виробничих процесів. -Ліра-К, 2017, -378с.

26. Ладанюк А. П.- Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів (мережеві структури, адаптація, діагностика та прогнозування). Ліра-К, 2016, -312с.
27. Автоматизація технологічних процесів. Синєглазов В.М., Сергєєв І. Ю. -Київ, 2015, -444с.
28. Автоматизація виробничих процесів. Підручник. Ельперін І.В., Пупена О.М., Сідлецький В.М. -Ліра К, 2017, -378с.
29. Основи автоматики та автоматизації, Пістун Є.П., Стасюк І.Д. - Львівська політехніка, 2018, -336с.
30. Теоретичні основи автоматики. Корчемний М.О., Клендій П.Б., Потапенко М.В. -Богдан НК, 2012, -304с.
31. Технології проектування комп'ютерних систем. Б.І. Масловський, В.І. Дрововозов, О.В. Коба. -Київ, 2015, -500с.
32. Обладнання автоматизованого виробництва Бочков В. М., Сілін Р. І., - Львівська політехніка. 2015, -404с.
33. Виконавчі пристрої систем автоматизації. Васильківський І. С., Фединець В. О., Юсик Я. П. - Львівська політехніка, 2020, -220с.

ВІДГУК
наукового керівника кваліфікаційної роботи
рівня вищої освіти “магістр”

виконаного на тему: **Удосконалення системи керування виконавчим механізмом аерокосмічного випробувального стенду**

студентом (кою) **Безпала Поліна Романівна**

(прізвище, ім'я)

Студент Безпала П. Р. виконала магістерську роботу на тему “Удосконалення системи керування виконавчим механізмом аерокосмічного випробувального стенду ” повністю відповідно до завдання. Робота присвячена актуальному питанню дослідження характеристик роботи систем керування виконавчими механізмами та дослідженню питання їх ефективності в різних режимах роботи. Студент Безпала П. Р. працювала над роботою систематично, докладно вивчав рекомендовану літературу, і правильно застосовував отримані знання. Графічна частина роботи виконана відповідно до норм і вимогами. Всі елементи схем в записці і кресленнях відповідають вимогам ЕСКД до розмірів умовних графічних позначень в електричних системах.

Робота має практичну значимість та наукову цінність

У цілому робота виконана грамотно, акуратно, основні цілі роботи досягнуті, а поставлені завдання виконані. Робота заслуговує оцінки “відмінно”.

Керівник кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., доцент
(посада, науковий ступінь, вчене звання)



(підпис)

_Мезеря А.Ю.
(ім'я, прізвище)

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу

“__Магістр__” рівня вищої освіти

виконаний(у) на тему: **Удосконалення системи керування виконавчим механізмом аерокосмічного випробувального стенду**студентом (кою) **Безпала Поліна Романівна** _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

Студент Безпала П. Р. виконала магістерську роботу на тему “Удосконалення системи керування виконавчим механізмом аерокосмічного випробувального стенду” повністю відповідно до завдання.

В роботі проведено досить глибоке дослідження характеристик систем керування випробувальними механізмами. Визначені основні фактори, які впливають на поліпшення основних характеристик випробувальних стендів при їх автоматизованому керуванні. Визначені області застосування систем керування випробувальними стендами, а також критерії їх ефективного використання.

Робота присвячена актуальному питанню підвищення ефективності систем керування. Це питання має високу практичну значимість, тому що енергозбереження є на сьогодні основним напрямком розвитку енергетики України. Вирішення цього питання дозволяє не тільки заощаджувати кошти на додатковому виробництві електроенергії, но і поліпшити питання екології.

Робота має практичну значимість та наукову цінність.

Графічна частина роботи виконана відповідно до норм та вимог. Всі елементи схем в записці і кресленнях відповідають вимогам ЕСКД до розмірів умовних графічних позначень в електричних системах.

Робота виконана на актуальну тему і відбиває високу інженерну підготовку автора.

Па роботі є наступні зауваження:

Бажано порівняти системи керування при використанні інших виконавчих механізмів.

У цілому робота виконана акуратно, грамотно та заслуговує оцінки «відмінно».

Рецензент

__К.Т.Н., доцент__

(посада, науковий ступінь, вчене звання)



(підпис)

__Буданов П.Ф. __

(ім'я, прізвище)