

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

МЕХАНІКО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до проведення практичних занять

з освітнього компонента

«ОСНОВИ ТЕОРІЇ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ»

для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня

спеціальності J7 «Залізничний транспорт»

(освітня програма «Електровози та електропоїзди»)

та спеціальності G3 «Електрична інженерія» (освітня програма

«Електропостачання та ресурсозберігаючі технології»)

всіх форм здобуття освіти

Харків 2026

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки 25 травня 2026 р. протокол №15.

Рекомендуються для здобувачів спеціальностей G3 «Електрична інженерія» освітньої програми «Електропостачання та ресурсозберігаючі технології» та J7 «Залізничний транспорт» освітньої програми «Електровози та електропоїзди» денної та заочної форм здобуття вищої освіти при виконанні практичних робіт з освітнього компонента «Основи теорії мехатронних систем».

Укладач

доц. А. С. Маслій

Рецензент

доц. О. М. Обозний

Зміст

Вступ	4
1 Загальні положення	5
2 Аналіз вихідних даних та формування структури мехатронної системи	7
2.1 Короткі теоретичні відомості	7
2.2 Порядок виконання роботи	8
3 Вибір основних компонентів мехатронної системи	11
3.1 Основні положення щодо вибору компонентів	11
3.2 Порядок виконання завдання	17
4 Основні положення щодо оформлення звіту	21
5 Контрольні питання	22
Список використаних джерел	24
Додаток А Варіанти завдань та вихідні дані мехатронних систем	25
Додаток Б Технічні характеристики електричних двигунів	27
Додаток В Технічні характеристики механічних передач та елементів передачі руху	29
Додаток Г Технічні характеристики силових перетворювачів	31
Додаток Д Технічні характеристики датчиків та засобів вимірювання	33
Додаток Е Технічні характеристики засобів керування	35

Вступ

Сучасні електромеханічні системи характеризуються тісною взаємодією механічних, електричних, електронних та інформаційно-керуючих складових. Поєднання зазначених складових у межах єдиної системи є основою побудови мехатронних систем, які широко застосовуються у промисловому обладнанні, транспортних засобах, робототехнічних комплексах, автоматизованих технологічних установках та інших технічних об'єктах.

Ефективність функціонування мехатронної системи значною мірою визначається правильністю вибору та узгодження її складових: електричного двигуна, механічної передачі, силового перетворювача, датчиків і засобів керування. При цьому окремі компоненти повинні розглядатися не ізольовано, а як взаємопов'язані елементи єдиної системи, параметри та характеристики яких визначаються призначенням об'єкта, умовами його роботи та вимогами до керування.

Практичні роботи побудовано за принципом наскрізного виконання індивідуального завдання. Відповідно до отриманого варіанта здобувач послідовно здійснює аналіз вихідних даних та вимог до об'єкта, формує структуру мехатронної системи, обирає електричний двигун і механічну передачу, силовий перетворювач, датчики та засіб керування. На завершальному етапі обрані компоненти об'єднуються у завершену структуру мехатронної системи та здійснюється аналіз відповідності сформованого технічного рішення заданим вимогам.

Вихідні дані для виконання індивідуальних завдань та технічні характеристики компонентів наведено у додатках до методичних вказівок. Вибір компонентів здійснюється шляхом аналізу та порівняння їх технічних характеристик з параметрами і функціональними вимогами відповідного варіанта. Такий підхід дає змогу сформулювати навички обґрунтованого прийняття технічних рішень та розуміння взаємозв'язків між основними складовими мехатронної системи.

1 Загальні положення

Практичні роботи з освітнього компонента «Основи теорії мехатронних систем» призначені для послідовного формування у здобувачів практичних навичок аналізу, побудови та обґрунтування структури мехатронних систем різного функціонального призначення.

Виконання практичних робіт базується на індивідуальних варіантах завдань, наведених у додатку А. Кожний варіант містить характеристику об'єкта мехатронної системи, основні вихідні дані та вимоги до його роботи. Отриманий варіант є спільним для всіх практичних робіт і використовується здобувачем на всіх етапах формування мехатронної системи.

Під час виконання практичних робіт здобувач послідовно переходить від аналізу заданого об'єкта до формування завершеної структури мехатронної системи. Основними етапами виконання є:

- аналіз вихідних даних, режимів роботи та функціональних вимог до мехатронної системи;
- визначення основних функціональних складових та формування структури системи;
- вибір електричного двигуна та механічної передачі;
- вибір силового перетворювача;
- визначення контрольованих величин та вибір відповідних датчиків і засобів вимірювання;
- вибір засобу керування та визначення основних інформаційних і керуючих зв'язків;
- формування завершеної структури мехатронної системи та перевірка відповідності прийнятих технічних рішень вихідним вимогам.

Технічні характеристики обладнання, необхідного для виконання практичних робіт, наведено в додатках Б – Е. Вибір компонентів здійснюється на основі зіставлення їх параметрів із вихідними даними відповідного

варіанта. У разі наявності декількох можливих технічних рішень перевага надається компоненту, характеристики якого забезпечують виконання заданих вимог без необґрунтованого завищення основних параметрів.

Результати кожного етапу завдання є вихідними даними для виконання наступної роботи. Прийняті на попередніх етапах технічні рішення повинні зберігатися, якщо в процесі подальшого аналізу не встановлено їх невідповідність заданим вимогам.

Метою практичних робіт є закріплення теоретичних знань та набуття практичних навичок щодо принципів побудови мехатронних систем, визначення взаємозв'язків між їх основними складовими, вибору та узгодження компонентів, а також формування систем керування відповідно до заданих умов функціонування.

Номер індивідуального варіанта визначається викладачем. Вихідні дані відповідного варіанта приймаються згідно з додатком А та використовуються без зміни протягом виконання всього циклу практичних робіт.

Вибір компонентів мехатронної системи виконується з переліків, наведених у додатках Б – Е. Кожне прийняте рішення повинно бути обґрунтоване шляхом зіставлення необхідних параметрів із технічними характеристиками обраного компонента. За необхідності виконуються нескладні розрахунки, достатні для визначення або перевірки основних параметрів системи.

За результатами кожної практичної роботи здобувач оформлює звіт, який повинен містити тему і мету роботи, вихідні дані індивідуального варіанта, результати виконання завдання, необхідні розрахунки, таблиці та структурні схеми, обґрунтування прийнятих рішень і висновки.

До виконання наступної практичної роботи здобувач переходить із використанням результатів, отриманих на попередньому етапі. У результаті виконання всього комплексу практичних робіт повинна бути сформована завершена структура мехатронної системи, що відповідає вихідним даним і вимогам індивідуального завдання.

2 Аналіз вихідних даних та формування структури мехатронної системи

2.1 Короткі теоретичні відомості

Мехатронна система являє собою сукупність взаємопов'язаних механічних, електромеханічних, електронних та інформаційно-керуючих компонентів, спільна робота яких забезпечує виконання заданого технологічного або транспортного процесу [1, 5, 6].

Інформація про фактичний стан системи надходить від датчиків до системи керування та використовується для формування керуючих впливів [1, 3, 5].

До основних керованих величин мехатронної системи можуть належати швидкість руху, частота обертання, момент, положення, тиск, продуктивність та інші величини, які необхідно змінювати або підтримувати відповідно до заданого режиму роботи.

До контрольованих величин належать параметри, інформація про які необхідна для керування, контролю стану або захисту системи. До них можуть належати швидкість, положення, струм, температура, тиск, кінцеві положення рухомих елементів тощо.

Склад конкретної мехатронної системи визначається її призначенням та вимогами до роботи. Наприклад, система з регульованою швидкістю повинна забезпечувати можливість зміни швидкості виконавчого механізму та отримання інформації про її фактичне значення. Для позиційної системи необхідним є визначення фактичного положення робочого органу, а для систем автоматичного підтримання технологічного параметра — вимірювання відповідної фізичної величини.

На першому етапі конкретні типи та позначення компонентів не визначаються. Необхідно встановити функціональний склад системи, після

чого на наступному етапі виконання завдання здійснюється вибір конкретних компонентів із додатків Б – Е.

2.2 Порядок виконання роботи

1 Відповідно до номера індивідуального варіанта з Додатка А визначити об'єкт мехатронної системи.

2 Виписати основні вихідні дані заданого об'єкта: необхідну потужність або момент, швидкість чи частоту обертання, параметри переміщення, напругу живлення та інші параметри, передбачені відповідним варіантом.

3 Проаналізувати вимоги до роботи системи та визначити основні функції, які вона повинна виконувати: регулювання швидкості, позиціонування, реверс, підтримання заданого технологічного параметра, контроль стану, захист тощо.

4 Визначити керовані та контрольовані величини мехатронної системи.

5 Результати аналізу подати у вигляді таблиці.

Таблиця 2.1 – Основні параметри та функції мехатронної системи

Параметр	Результат аналізу
Об'єкт мехатронної системи	...
Основний вид руху	...
Основна керована величина	...
Додаткові керовані величини	...
Контрольовані величини	...
Необхідність реверсу	...
Необхідність позиціонування	...
Основні вимоги до роботи	...

6 Визначити основні функціональні складові, необхідні для реалізації заданої мехатронної системи. Для більшості розглянутих систем узагальнений вигляд мехатронної системи представлений на рисунку 2.1

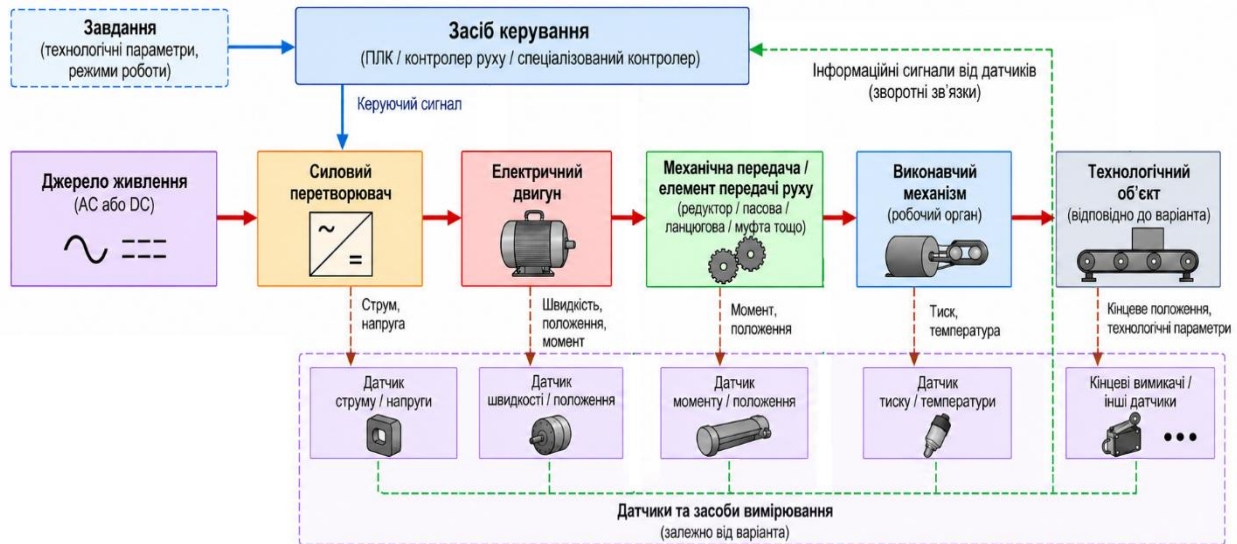


Рисунок 2.1 – Узагальнена функціональна схема мехатронної системи

7 Побудувати узагальнену структурну схему мехатронної системи свого варіанта. На схемі показати:

- джерело живлення;
- силовий перетворювач;
- електричний двигун;
- механічну передачу або елемент передачі руху;
- виконавчий механізм;
- датчики;
- систему керування;
- основні напрямки передавання енергії та інформаційних сигналів.

На цьому етапі замість конкретних позначень обладнання зазначаються лише його функціональні назви. Приклад такої схеми конвеєрної установки показаний на рисунку 2.2



Рисунок 2.2 – Функціональна схема мехатронної системи конвеєрної установки

8 Сформулювати висновок щодо необхідного складу мехатронної системи та основних функцій її системи керування.

Звіт з практичної роботи повинен містити мету роботи; вихідні дані індивідуального варіанта; результати аналізу вимог до системи; заповнену таблицю 2.1; структурну схему мехатронної системи; коротке пояснення призначення її основних складових; висновки.

3 Вибір основних компонентів мехатронної системи

3.1 Основні положення щодо вибору компонентів

Компоненти мехатронної системи повинні утворювати взаємопов'язану систему та забезпечувати виконання всіх вимог, установлених вихідними даними відповідного варіанта. Вибір здійснюється з переліків обладнання, наведених у додатках Б – Е. Наявність компонента у відповідному додатку не означає його автоматичної придатності для конкретного варіанта. Необхідно перевірити відповідність його основних технічних характеристик заданим умовам роботи.

Вибір електричного двигуна. Електричний двигун вибирають за необхідною механічною потужністю або моментом, напругою живлення, частотою обертання, режимом роботи та функціональними вимогами [2, 3]. Для систем, у яких задана необхідна механічна потужність, повинна виконуватися умова

$$P_N \geq P_{\text{необх}},$$

де P_N – номінальна потужність двигуна, кВт;

$P_{\text{необх}}$ – необхідна механічна потужність, кВт.

Для систем, вихідними даними яких є необхідний момент,

$$M_N \geq M_{\text{необх}},$$

де M_N – номінальний момент двигуна, Н·м;

$M_{\text{необх}}$ – необхідний момент, Н·м.

Для оцінювання ступеня використання номінальної потужності обраного двигуна може бути визначений коефіцієнт завантаження

$$k_P = \frac{P_{\text{необх.}}}{P_N};$$

$$k_P = \frac{P_{\text{необх.}}}{P_N}.$$

Завантаження двигуна у відсотках становить

$$K_P = k_P 100\%$$

Крім цього, необхідно перевірити відповідність напруги живлення, допустимої частоти обертання та можливість реалізації необхідних режимів роботи – регулювання швидкості, реверсу, позиціонування тощо. Якщо вимогам відповідає декілька двигунів, перевагу слід надавати варіанту, параметри якого забезпечують необхідний режим роботи без необґрунтованого завищення потужності.

Вибір механічної передачі. Механічна передача повинна забезпечувати узгодження параметрів руху електричного двигуна і виконавчого механізму.

Для механізмів із поступальним рухом, що створюється обертанням барабана або колеса, необхідну частоту обертання можна визначити за формулою

$$n_{\text{вих}} = \frac{60v}{\pi D}$$

v – лінійна швидкість, м/с;

D – діаметр барабана або колеса, м.

Необхідне передаточне число визначається як

$$i_{\text{необх}} = \frac{n_{\text{дв}}}{n_{\text{вих}}},$$

де $n_{\text{дв}}$ – частота обертання двигуна, об/хв.

За отриманим значенням із Додатка В обирають механічну передачу з найбільш відповідним передаточним числом. Оскільки передаточне число обраної передачі може відрізнятися від розрахункового, після її вибору необхідно визначити фактичну частоту обертання вихідної ланки:

$$n_{\text{вих,ф}} = \frac{n_{\text{дв}}}{i},$$

де i – передаточне число обраної механічної передачі.

Для барабана або колеса відповідна фактична лінійна швидкість становить

$$v_{\text{ф}} = \frac{60Dn_{\text{вих,ф}}}{\pi}.$$

Якщо використовується регульований електропривод, необхідну частоту обертання двигуна для забезпечення заданої лінійної швидкості після вибору передачі можна визначити як

$$n_{\text{дв,необх}} = n_{\text{вих}} i.$$

При цьому необхідно перевірити умову

$$n_{\text{дв,необх}} \leq n_{\text{тах}},$$

де n_{max} – максимальна допустима частота обертання обраного двигуна.

Для механізмів, у вихідних даних яких задані механічна потужність і лінійна швидкість, необхідне зусилля може бути визначене за залежністю

$$F = \frac{P_{\text{необх}}}{v}$$

Якщо зусилля передається через барабан або колесо діаметром D , необхідний момент на його валу становить

$$M_{\text{необх}} = F \frac{D}{2}$$

Для обраної механічної передачі повинна виконуватися умова

$$M_{\text{необх}} \leq M_{\text{max}}$$

де M_{max} – допустимий момент механічної передачі, Н·м.

За необхідності вихідний момент передачі також може бути оцінений за параметрами двигуна:

$$M_{\text{вих}} = M_{\text{дв}} i \eta$$

де $M_{\text{дв}}$ – момент двигуна, Н·м;

η – ККД механічної передачі.

Для систем, у яких зміна частоти обертання механічною передачею не потрібна, вибирають відповідний елемент безпосередньої передачі руху – муфту або інший елемент, наведений у Додатку В. У цьому випадку

перевіряють допустимий момент, частоту обертання та інші параметри, визначальні для відповідного механізму. Наведені розрахунки виконуються лише в тому обсязі, який необхідний для обґрунтування вибору механічної частини конкретного варіанта.

Вибір силового перетворювача. Силовий перетворювач повинен відповідати типу обраного двигуна, напрузі джерела живлення, номінальній потужності та струму двигуна. Основними умовами вибору є

$$P_{\text{пер}} \geq P_N;$$

$$I_{\text{пер}} \geq I_N,$$

де $P_{\text{пер}}$ та $I_{\text{пер}}$ – номінальна потужність і струм силового перетворювача;

P_N та I_N – номінальна потужність і струм обраного двигуна.

Крім цього, необхідно перевірити:

- відповідність типу перетворювача типу електричного двигуна;
- відповідність вхідної напруги перетворювача параметрам джерела живлення;
- відповідність вихідних електричних параметрів характеристикам двигуна;
- можливість регулювання необхідної координати — швидкості, моменту або положення;
- можливість реверсу, якщо він передбачений завданням;
- можливість роботи із необхідними засобами зворотного зв'язку;
- наявність необхідних функцій захисту.

Таким чином, вибір силового перетворювача не повинен обмежуватися лише порівнянням номінальної потужності.

Вибір датчиків. Тип датчика визначається величиною, яку необхідно контролювати відповідно до вимог індивідуального варіанта. Робочий

діапазон вимірюваної величини повинен знаходитися в межах діапазону датчика:

$$X_{min}^{дат} \leq X_{min}^{роб};$$

$$X_{max}^{дат} \geq X_{max}^{роб},$$

де $X_{min}^{дат}$, $X_{max}^{дат}$ – межі діапазону датчика;

$X_{min}^{роб}$, $X_{max}^{роб}$ – межі робочого діапазону контрольованої величини.

Під час вибору датчика також необхідно враховувати його точність або роздільну здатність та тип вихідного сигналу. У деяких мехатронних системах контрольована технологічна величина може визначатися розрахунковим шляхом за сигналом іншої, безпосередньо вимірюваної величини.

Наприклад, якщо датчик вимірює частоту обертання двигуна, який з'єднаний із барабаном або колесом через механічну передачу, лінійна швидкість може бути визначена за залежністю

$$v = \frac{\pi D n_{вих}}{60i}.$$

Таким чином, необхідно обґрунтувати не тільки вибір датчика, але й можливість отримання за його сигналом інформації про контрольовану величину [1, 4, 5]. Остаточна перевірка сумісності вихідних сигналів обраних датчиків із засобом керування здійснюється на наступному етапі виконання завдання.

Вибір засобу керування. Засіб керування є центральним елементом інформаційно-керуючої частини мехатронної системи. Він отримує сигнали від датчиків, обробляє їх та формує команди для силового перетворювача відповідно до заданого режиму роботи. Під час вибору засобу керування необхідно враховувати:

- типи сигналів від обраних датчиків;
- необхідність обробки сигналів енкодерів;
- необхідність аналогових або дискретних входів;
- необхідність аналогових, дискретних або імпульсних виходів;
- можливість реалізації необхідних функцій керування;
- наявність необхідних інтерфейсів зв'язку [1, 3, 5, 6].

Для виконання завдання не потрібно визначати точну кількість усіх входів і виходів. Достатньо встановити, чи підтримує обраний засіб керування необхідні типи сигналів і функції.

3.2 Порядок виконання завдання

1 За Додатком Б проаналізувати характеристики електричних двигунів та обрати двигун, який відповідає заданим умовам.

2 Обґрунтувати вибір двигуна шляхом перевірки:

- потужності або моменту;
- напруги живлення;
- необхідної частоти обертання;
- режиму роботи;
- можливості реалізації необхідних функцій керування.

Результат необхідно подати у вигляді таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Перевірка відповідності електричного двигуна

Параметр	Необхідне значення	Характеристика обраного двигуна	Відповідність
Потужність / момент	...	...	...
Напруга	...	...	...
Частота обертання	...	...	...
Режим роботи	...	...	...
Необхідні функції	...	...	...

3 Визначити параметри механічної частини, необхідні для заданого варіанта. За необхідності розрахувати частоту обертання виконавчого механізму, передаточне число, зусилля та момент.

4 За Додатком В обрати механічну передачу або елемент передачі руху.

5 Для механічної передачі з передаточним числом перевірити фактичну частоту обертання та, за необхідності, фактичну лінійну швидкість виконавчого механізму.

6 Якщо точне значення заданої швидкості забезпечується регулюванням двигуна, визначити необхідну частоту його обертання та перевірити її відповідність допустимому діапазону.

7 Перевірити обрану механічну передачу за допустимим моментом або іншими параметрами, що є визначальними для відповідного варіанта. Результати необхідно подати у вигляді таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Вибір механічної передачі

Параметр	Необхідне значення	Характеристика обраного елемента	Відповідність
Передаточне число	...	...	...
Допустимий момент	...	...	...
ККД	...	...	...
Додаткові вимоги	...	...	...

Якщо для заданого варіанта передаточне число не визначається, у таблиці зазначають параметри, які є визначальними для вибору відповідного елемента передачі руху.

8 За Додатком Г обрати силовий перетворювач, сумісний із вибраним електричним двигуном.

9 Перевірити силовий перетворювач за типом двигуна, напругою, потужністю, струмом та необхідними функціями керування. Результат занести до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Перевірка відповідності силового перетворювача

Параметр	Необхідний параметр/тип	Обраний перетворювач	Відповідність
Тип двигуна	...	...	...
Напруга живлення	...	...	...
Потужність	...	...	...
Струм	...	...	...
Необхідні функції керування	...	...	...

10 На основі вимог індивідуального варіанта визначити величини, які необхідно вимірювати або контролювати.

11 За Додатком Д обрати необхідні датчики та засоби вимірювання.

12 Перевірити відповідність їх діапазону, точності або роздільної здатності та визначити тип вихідного сигналу, заповнивши таблицю 3.4

Таблиця 3.4 – Вибір датчиків та засобів вимірювання

Контрольована величина	Необхідний діапазон / вимога	Обраний датчик	Вихідний сигнал	Відповідність
...	...	...	...	...

13 Визначити, які основні функції повинна виконувати система керування відповідно до вимог індивідуального варіанта. Наприклад, регулювання швидкості; позиціонування; реверс; підтримання технологічного параметра; контроль кінцевого положення; контроль перевантаження.

14 Визначити типи сигналів від обраних датчиків.

15 Визначити, який тип керування необхідно забезпечити силовому перетворювачу.

16 За додатком Е обрати засіб керування, який забезпечує необхідні функції.

17 Перевірити відповідність обраного засобу керування за таблицею 3.5, заповнивши попередньо її.

Таблиця 3.5 – Перевірка відповідності засобу керування

Параметр	Необхідно	Обраний засіб керування	Відповідність
Тип сигналів датчиків			
Обробка сигналів енкодера			
Керування силовим перетворювачем			
Необхідні функції			
Інтерфейс зв'язку			

18 Коротко описати принцип роботи системи керування та зробити висновок щодо відповідності обраного засобу керування вимогам мехатронної системи.

19 Нанести позначення вибраних компонентів на структурну схему, сформовану під час виконання першого завдання.

20 Скласти підсумкову таблицю 3.6 обраних компонентів.

Таблиця 3.6 – Основні компоненти мехатронної системи

Складова системи	Позначення	Основні характеристики	Обґрунтування вибору
Електричний двигун	Б...		
Механічна передача / елемент передачі руху	В...		
Силовий перетворювач	Г...		
Датчик / засіб вимірювання	Д...		
Засіб керування	Е...		

21 Зробити висновок щодо відповідності та взаємної сумісності обраних компонентів.

4 Основні положення щодо оформлення звіту

За результатами виконання індивідуального завдання здобувач оформлює звіт, у якому послідовно відображаються основні етапи формування мехатронної системи відповідно до структури цих методичних вказівок. Звіт повинен містити:

- титульний аркуш;
- номер варіанта та вихідні дані індивідуального завдання;
- результати аналізу призначення, умов роботи та функціональних вимог до мехатронної системи;
- структурну схему мехатронної системи із зазначенням основних енергетичних, керуючих та інформаційних зв'язків;
- результати вибору електричного двигуна, механічної передачі або елемента передачі руху, силового перетворювача, датчиків і засобу керування з відповідними розрахунками та обґрунтуванням;
- результати перевірки відповідності та взаємної сумісності обраних компонентів;
- завершену структурну схему мехатронної системи із зазначенням позначень обраних компонентів;
- підсумкову таблицю основних компонентів мехатронної системи;
- висновки за результатами виконання завдання.

Розрахунки у звіті повинні супроводжуватися короткими поясненнями, а отримані числові результати – відповідними одиницями вимірювання.

Структурні схеми повинні бути виконані чітко та містити назви основних складових мехатронної системи, напрямки передавання енергії, керуючих впливів та інформаційних сигналів. На завершеній структурній схемі необхідно зазначити позначення фактично обраних компонентів.

Висновки повинні містити стислу оцінку отриманих результатів, обґрунтованості вибору компонентів та їх взаємної сумісності, а також підтвердження можливості реалізації заданих функцій мехатронної системи.

5 Контрольні питання

- 1 Що розуміють під мехатронною системою?
- 2 Які основні складові входять до структури мехатронної системи?
- 3 У чому полягає призначення силового перетворювача?
- 4 Яку функцію виконують датчики у мехатронній системі?
- 5 Чим відрізняються керовані та контрольовані величини?
- 6 Для чого в мехатронних системах використовують зворотні зв'язки?
- 7 Від чого залежить склад конкретної мехатронної системи?
- 8 За якими параметрами здійснюється вибір електричного двигуна?
- 9 Що характеризує коефіцієнт завантаження двигуна?
- 10 Для чого здійснюється узгодження параметрів двигуна і виконавчого механізму?
- 11 Як визначається необхідне передаточне число механічної передачі?
- 12 Чому після вибору стандартного передаточного числа необхідно перевірити фактичну швидкість виконавчого механізму?
- 13 Як визначити необхідний момент на валу барабана або колеса за відомими потужністю та лінійною швидкістю?
- 14 За якими параметрами перевіряється механічна передача?
- 15 Які умови повинні виконуватися під час вибору силового перетворювача за потужністю та струмом?
- 16 Чому тип силового перетворювача повинен бути узгоджений із типом електричного двигуна?
- 17 За якими параметрами здійснюється вибір датчиків та засобів вимірювання?
- 18 Чи може контрольована величина визначатися непрямим методом за сигналом іншого датчика?
- 19 Як перевіряється сумісність датчиків із засобом керування?
- 20 Яке призначення засобу керування у мехатронній системі?

- 21 Які сигнали можуть надходити від датчиків до засобу керування?
- 22 Для чого необхідно враховувати тип вихідного сигналу датчика?
- 23 Які функції може виконувати засіб керування?
- 24 Чому засіб керування повинен бути сумісним із силовим перетворювачем?
- 25 Яку роль виконують інтерфейси зв'язку в мехатронній системі?

Список використаних джерел

1 Ловейкін В. С., Ромасевич Ю. О., Човнюк Ю. В. Мехатроніка: навч. посібник. Київ, 2012. 357 с.

2 Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: навч. посібник / М. Г. Попович, О. Ю. Лозинський, В. Б. Клепиков та ін. за ред. М. Г. Поповича, О. Ю. Лозинського. Київ: Либідь, 2005. 680 с. ISBN 966-06-0362-2.

3 Синявський О. Ю., Савченко В. В., Бунько В. Я., Рамш В. Ю., Потапенко М. В. Системи керування електроприводами: навч. посібник. Київ: Компрінт, 2025. 219 с. ISBN 978-617-8718-38-1.

4 Новоселов С. П., Сичова О. В., Кривопляс-Володіна Л. О. Пневматичні пристрої та засоби автоматизації мехатронних систем: навч. посібник. Харків: ХНУРЕ, 2024. ISBN 978-617-7859-58-0.

5 Bolton W. Mechatronics: Electronic Control Systems in Mechanical and Electrical Engineering. 7th ed. Pearson, 2018.

6 Shetty D., Kolk R. A. Mechatronics System Design. 2nd ed. Cengage Learning, 2010.

Додаток А

№	Об'єкт мехатронної системи	Основні вихідні дані	Основні вимоги до роботи
1	2	3	4
1	Конвеєрна установка	Необхідна механічна потужність 4,2 кВт; швидкість стрічки 0,25–0,8 м/с; номінальна швидкість 0,8 м/с; живлення 3×400 В, 50 Гц; діаметр приводного барабана 0,25 м.	Плавне регулювання швидкості; тривалий режим роботи; контроль фактичної швидкості; захист від перевантаження
2	Підйомний механізм	Необхідна механічна потужність 6,3 кВт; максимальна швидкість піднімання 0,4 м/с; висота переміщення 8 м; живлення 3×400 В, 50 Гц; діаметр приводного барабана 0,4 м.	Регулювання швидкості; реверсивний режим; контроль положення вантажу; точність зупинки ± 20 мм; контроль перевантаження
3	Вентиляційна установка	Необхідна механічна потужність 2,8 кВт; діапазон частоти обертання робочого колеса 600–1450 об/хв; живлення 3×400 В, 50 Гц.	Плавне регулювання продуктивності; тривалий режим; контроль частоти обертання; контроль температури приводу
4	Насосна установка	Необхідна механічна потужність 5,0 кВт; номінальна продуктивність 18 м³/год; діапазон робочого тиску 0,25–0,5 МПа; номінальна частота обертання насоса 2900 об/хв; живлення 3×400 В, 50 Гц.	Автоматичне підтримання заданого тиску; плавна зміна продуктивності; контроль тиску; захист від перевантаження
5	Позиційний привод верстата	Необхідний момент на валу 12 Н·м; максимальна частота обертання 2500 об/хв; діапазон кутового переміщення $\pm 180^\circ$; живлення 3×400 В, 50 Гц.	Регулювання швидкості та положення; реверс; точність позиціонування не гірше $\pm 0,10^\circ$; швидке відпрацювання команди

Продовження додатка А

1	2	3	4
6	Привод ланки роботизованого маніпулятора	Необхідний момент на валу 7 Н·м; максимальна частота обертання 3000 об/хв; робочий кут переміщення 270°; живлення 3×400 В, 50 Гц; максимальна допустима швидкість обертання вихідної ланки – 60 об/хв.	Позиційне керування; реверс; точність позиціонування не гірше $\pm 0,05^\circ$; контроль швидкості та положення
7	Автоматичні двері	Необхідна механічна потужність 0,45 кВт; швидкість переміщення стулки 0,15–0,6 м/с; хід 1,5 м; живлення 230 В, 50 Гц.	Плавний пуск і гальмування; реверс; контроль кінцевих положень; виявлення перешкоди; точність зупинки ± 10 мм
8	Мобільна роботизована платформа	Необхідна механічна потужність приводу 0,75 кВт; максимальна швидкість руху 1,5 м/с; діапазон регулювання 0–1,5 м/с; джерело живлення 48 В постійного струму; діаметр ведучого колеса 0,2 м.	Регулювання швидкості; реверсивний рух; контроль фактичної швидкості; контроль струму приводу
9	Поворотний позиційний механізм	Необхідний момент 4 Н·м; діапазон переміщення 0–360°; максимальна швидкість обертання 120 об/хв; живлення 48 В постійного струму.	Точне позиціонування; можливість багаторазового повторення заданого положення; точність не гірше $\pm 0,20^\circ$; контроль положення
10	Тяговий привод транспортного засобу	Необхідна механічна потужність 18 кВт; максимальна частота обертання двигуна 4500 об/хв; максимальна швидкість руху транспортного засобу 20 м/с; діаметр ведучого колеса 0,34 м; живлення від джерела постійного струму 300 В.	Широкий діапазон регулювання швидкості; керування моментом; реверсивний режим; контроль частоти обертання і струму; робота зі змінним навантаженням.

Додаток Б

№	Тип двигуна	P_N , кВт	U_N , В	n_N , об/хв	n_{max} , об/хв	M_N , Н·м	I_N , А	Особливості
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Б1	Синхронний серводвигун з постійними магнітами	2,5	400 АС	3000	4500	8,0	6,2	Реверсивна робота, точне регулювання швидкості та положення
Б2	Асинхронний двигун з короткозамкненим ротором	4,0	400 АС	1450	1740	26,3	8,5	Тривалий режим S1, частотне регулювання
Б3	Двигун постійного струму з постійними магнітами	1	48 DC	3000	3500	3,2	23	Реверсивна робота, ШІМ-регулювання швидкості
Б4	Асинхронний двигун з короткозамкненим ротором і електромагнітним гальмом	7,5	400 АС	960	1150	74,6	16	Повторно-короткочасний режим, реверсивна робота
Б5	Кроковий двигун	—	48 DC	—	600	4,5*	6	Крок 0,9°, можливість мікрокрокового керування
Б6	Асинхронний двигун з короткозамкненим ротором	5,5	400 АС	1450	1740	36,2	11	Тривалий режим S1, частотне регулювання

Продовження додатка Б

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Б7	Синхронний серводвигун з постійними магнітами	4	400 AC	3000	5000	12,7	9,5	Високоточне позиційне керування, реверс
Б8	Двигун постійного струму з постійними магнітами	0,55	48 DC	1800	2500	2,9	13,5	ШІМ-регулювання, реверс, придатний для циклічної роботи
Б9	Вентильно-індукторний двигун	20,0	300 DC**	3000	4500	63,7	80***	Широкий діапазон регулювання, керування моментом і струмом
Б10	Асинхронний двигун з короткозамкненим ротором	5,5	400 AC	2900	3480	18,1	11	Тривалий режим S1, частотне регулювання
Б11	Асинхронний двигун з короткозамкненим ротором	3	400 AC	1420	1700	20,2	6,5	Тривалий режим S1
Б12	Синхронний серводвигун з постійними магнітами	1,5	400 AC	3000	5000	4,8	4	Позиційне керування, реверсивна робота
Б13	Асинхронний двигун з короткозамкненим ротором	7,5	400 AC	1450	1740	49,4	15	Тривалий режим S1, частотне регулювання
Б14	Двигун постійного струму з постійними магнітами	0,37	48 DC	1800	2200	2	9	ШІМ-регулювання, реверс
Б15	Безщітковий двигун постійного струму (BLDC)	1,5	48 DC	3000	4000	4,8	35	Електронна комутація, регулювання швидкості

Додаток В

Таблиця В.1 – Технічні характеристики механічних передач

№	Тип механічної передачі	Передаточне число	Допустимий вихідний момент, Н·м	ККД	Особливості
В1	Планетарний редуктор	20	100	0,94	Компактне виконання, малий люфт
В2	Циліндричний редуктор	10	500	0,95	Загальнопромислове виконання
В3	Гармонічний редуктор	50	250	0,8	Висока точність, малий люфт, придатний для роботизованих систем
В4	Циліндричний редуктор	24	800	0,94	Тривалий режим роботи, високий допустимий вихідний момент
В5	Планетарний редуктор	5	40	0,92	Малий люфт, придатний для позиційних механізмів
В6	Черв'ячний редуктор	30	350	0,72	Велике передаточне число, знижений ККД
В7	Циліндричний редуктор	50	3000	0,92	Високий вихідний момент, робота зі значними навантаженнями
В8	Планетарний редуктор	12	180	0,93	Компактне виконання
В9	Гармонічний редуктор	80	300	0,78	Висока точність позиціонування
В10	Циліндричний одноступінчастий редуктор	4	400	0,96	Передача моменту від тягового двигуна до ведучого колеса, реверсивний режим роботи
В11	Планетарний редуктор	30	150	0,93	Компактне виконання, малий люфт
В12	Циліндричний редуктор	60	2500	0,91	Значне зниження частоти обертання

Таблиця В.2 – Технічні характеристики елементів передачі руху

№	Елемент	Основні характеристики	Особливості
В13	Безлюфтова муфта	$M_{max} = 30 \text{ Н}\cdot\text{м};$ $n_{max} = 6000 \text{ об/хв}$	Пряме з'єднання валів, висока точність, придатна для позиційних приводів
В14	Зубчасто-пасова передача	Передаточне число 1:1; допустима сила 1000 Н	Перетворення обертального руху в лінійне переміщення
В15	Еластична муфта	$M_{max} = 80 \text{ Н}\cdot\text{м};$ $n_{max} = 4000 \text{ об/хв}$	Компенсація невеликої неспіввісності валів, демпфування ударних навантажень
В16	Жорстка муфта	$M_{max} = 100 \text{ Н}\cdot\text{м};$ $n_{max} = 5000 \text{ об/хв}$	Безпосередня передача обертального руху, висока крутильна жорсткість
В17	Зубчасто-рейкова передача	Передаточне відношення визначається діаметром шестерні; допустима сила 1500 Н	Перетворення обертального руху в поступальний

Додаток Г

№	Тип силового перетворювача	Вхідна напруга	Вихідна напруга/ параметри	Номінальна потужність, кВт	Номінальний струм, А	Основні функції
1	2	3	4	5	6	7
Г1	Сервоперетворювач для синхронного двигуна з постійними магнітами	3×400 В АС	3-фазна регульована АС	3	8	Регулювання швидкості, моменту і положення; робота з енкодером; реверс
Г2	Частотний перетворювач для асинхронного двигуна	3×400 В АС	3×0–400 В АС, 0–400 Гц	7,5	16	Скалярне та векторне керування; реверс; захист від перевантаження
Г3	Реверсивний ШІМ-перетворювач для двигуна постійного струму	48 В DC	0–48 В DC	1,5	35	Двонапрямне регулювання швидкості та моменту; реверс; обмеження струму
Г4	Частотний перетворювач для асинхронного двигуна	3×400 В АС	3×0–400 В АС, 0–400 Гц	4	10	Регулювання швидкості; векторне керування; захист двигуна
Г5	Мікрокроковий драйвер крокового двигуна	24–48 В DC	Фазний струм до 8 А	—	8	Pulse/Direction; мікрокрокове керування; регулювання фазного струму
Г6	Сервоперетворювач для синхронного двигуна з постійними магнітами	3×400 В АС	3-фазна регульована АС	5,0	12	Конттури струму, швидкості та положення; підтримка абсолютного енкодера; EtherCAT
Г7	Частотний перетворювач для асинхронного двигуна	3×400 В АС	3×0–400 В АС, 0–400 Гц	11	24	Векторне керування; реверс; гальмівний модуль; робота з енкодером

Продовження додатка Г

1	2	3	4	5	6	7
Г8	ШИМ-перетворювач для двигуна постійного струму	230 В АС	0–48 В DC	0,75	18	Регулювання швидкості; реверс; плавний пуск і гальмування
Г9	Частотний перетворювач для асинхронного двигуна	3×400 В АС	3×0–400 В АС, 0–400 Гц	5,5	13	Регулювання швидкості; вбудований PID-регулятор
Г10	Перетворювач для вентильно-індукторного двигуна	300 В DC	Керовані фазні імпульси	22	100	Асиметричний напівмостовий перетворювач; регулювання фазного струму, моменту і швидкості
Г11	Сервоперетворювач для синхронного двигуна з постійними магнітами	3×400 В АС	3-фазна регульована АС	1,5	4,5	Позиційне керування; реверс; робота з енкодером
Г12	Частотний перетворювач для асинхронного двигуна	3×400 В АС	3×0–400 В АС, 0–200 Гц	2,2	7	Скалярне керування; плавний пуск
Г13	Реверсивний DC/DC ШИМ-перетворювач	48 В DC	0–48 В DC	1,0	25	Реверс; регулювання швидкості; контроль струму
Г14	Частотний перетворювач для асинхронного двигуна	3×400 В АС	3×0–400 В АС, 0–400 Гц	15	30	Векторне керування; реверс; робота з енкодером
Г15	Драйвер BLDC-двигуна	48 В DC	Трифазна ШИМ-напруга	1,5	40	Електронна комутація; регулювання швидкості та моменту

Додаток Д

№	Тип датчика	Контрольована величина	Діапазон / роздільна здатність	Вихідний сигнал	Особливості
1	2	3	4	5	6
Д1	Інкrementальний енкодер	Кутове положення, швидкість	1024 імп/об	A/B, 24 В	Визначення напрямку та частоти обертання
Д2	Датчик тиску	Тиск	0–1 МПа	4–20 мА	Промислове виконання
Д3	Абсолютний енкодер	Кутове положення	20 bit	Цифровий, SSI	Висока точність позиціонування
Д4	Датчик струму	Постійний/змінний струм	0–50 А	0–10 В	Гальванічна розв'язка
Д5	Індуктивний датчик наближення	Кінцеве положення	0–8 мм	Дискретний, 24 В	Безконтактне визначення положення
Д6	Інкrementальний енкодер	Кутове положення, швидкість	2048 імп/об	A/B/Z, 24 В	Висока роздільна здатність
Д7	Датчик температури з перетворювачем	Температура	–20...+150 °С	4–20 мА	Чутливий елемент Pt100
Д8	Лінійний датчик положення	Лінійне переміщення	0–10 м	4–20 мА	Контроль положення та висоти переміщення
Д9	Фотоелектричний датчик	Наявність перешкоди	0–2 м	Дискретний, 24 В	Безконтактне виявлення об'єкта
Д10	Абсолютний енкодер	Кутове положення	23 bit	Цифровий, EtherCAT	Високоточне позиціонування
Д11	Датчик тиску	Тиск	0–0,6 МПа	4–20 мА	Вимірювання тиску рідин і газів

Продовження додатка Д

1	2	3	4	5	6
Д12	Інкrementальний енкодер	Швидкість, положення	1000 імп/об	A/B, 5–24 В	Контроль частоти та напрямку обертання
Д13	Датчик струму	Струм	0–100 А	0–10 В	Гальванічна розв'язка
Д14	Датчик частоти обертання	Частота обертання	0–2000 об/хв	Імпульсний, 24 В	Безконтактний контроль швидкості
Д15	Кінцевий вимикач	Кінцеве положення	2 положення	Дискретний, 24 В	Механічне спрацювання
Д16	Датчик струму	Струм	0–20 А	4–20 мА	Контроль навантаження електропривода
Д17	Датчик положення ротора	Кутове положення ротора	0–360°	Цифрові сигнали положення	Визначення положення ротора для комутації фаз
Д18	Абсолютний енкодер	Кутове положення	12 bit	Цифровий, SSI	Контроль кутового положення
Д19	Інкrementальний енкодер	Швидкість	500 імп/об	A/B, 24 В	Контроль частоти та напрямку обертання
Д20	Датчик струму	Струм	0–200 А	0–10 В	Контроль струму потужних електроприводів
Д21	Лінійний датчик положення	Лінійне переміщення	0–2 м	0–10 В	Контроль лінійного переміщення
Д22	Датчик температури	Температура	0...+100 °С	Pt100	Резистивний вихід, потребує відповідного вимірювального входу
Д23	Фотоелектричний датчик	Наявність об'єкта	0–0,3 м	Дискретний, 24 В	Малий робочий діапазон

Додаток Е

№	Тип засобу керування	Входи	Виходи	Інтерфейси / спеціальні функції	Особливості
1	2	3	4	5	6
Е1	Програмований логічний контролер	8 DI; 4 AI 0–10 В / 4–20 мА	6 DO; 2 AO 0–10 В	PID, Modbus RTU	Керування технологічними параметрами
Е2	Контролер руху	8 DI; 4 AI; входи енкодерів	8 DO; керування сервоприводами	EtherCAT, SSI	Багатоконтурне керування положенням, швидкістю та моментом
Е3	Програмований логічний контролер	12 DI; 2 AI 0–10 В	8 DO; 2 AO 0–10 В	Високошвидкісний лічильник, Modbus RTU	Обробка сигналів інкрементального енкодера
Е4	Вбудований цифровий контролер	8 DI; 4 AI 0–10 В	6 PWM; 4 DO	CAN, PWM, входи енкодера	Керування приводами постійного струму
Е5	Контролер позиціонування	8 DI; входи енкодера	6 DO; Pulse/Direction	SSI, високошвидкісний лічильник	Керування кроковими та позиційними приводами
Е6	Програмований логічний контролер	16 DI; 4 AI 4–20 мА	12 DO; 2 AO	PID, високошвидкісний лічильник, Modbus RTU	Керування технологічними електроприводами
Е7	Спеціалізований контролер автоматичних механізмів	8 DI; 2 AI 0–10 В	6 DO; 2 PWM	Контроль кінцевих положень та захисних датчиків	Реверсивне керування, плавний пуск і гальмування

Продовження додатка Е

1	2	3	4	5	6
E8	Цифровий контролер електропривода	6 DI; 6 AI 0–10 В	8 PWM; 4 DO	CAN, швидкодіючі контури струму та моменту	Керування багатофазними електричними машинами
E9	Компактний програмований логічний контролер	8 DI; 2 AI 4–20 мА	6 DO; 1 AO 0–10 В	PID, Modbus RTU	Автоматизація нескладних технологічних установок
E10	Контролер руху	12 DI; 2 AI; входи енкодерів	8 DO; керування сервоприводом	EtherCAT, SSI, абсолютні енкодери	Високоточне позиційне керування
E11	Програмований логічний контролер	8 DI	6 DO	Modbus RTU	Логічне керування без аналогового регулювання
E12	Вбудований контролер мобільних систем	6 DI; 4 AI 0–10 В	4 DO; 4 PWM	CAN, входи А/В енкодера	Робота від джерела постійного струму, керування рухом
E13	Контролер позиціонування	6 DI; вхід SSI	6 DO; 2 AO	SSI, Modbus RTU	Обробка сигналу абсолютного енкодера
E14	Програмований логічний контролер	12 DI; 4 AI 0–10 В / 4–20 мА	8 DO; 2 AO 0–10 В	PID, HSC, Modbus RTU	Універсальне керування електромеханічними системами
E15	Мікроконтролерний модуль	6 DI; 2 AI	4 DO; 2 PWM	UART, PWM	Керування простими малопотужними приводами

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до проведення практичних занять
з освітнього компонента

«ОСНОВИ ТЕОРІЇ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ»

для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня
спеціальності J7 «Залізничний транспорт»
(освітня програма «Електровози та електропоїзди»)
та спеціальності G3 «Електрична інженерія» (освітня програма
«Електропостачання та ресурсозберігаючі технології»)
всіх форм здобуття освіти

Відповідальний за випуск Маслій А.С.

Редактор Ібрагімова Н. В.

Підписано до друку 17.08.2026 р.

Умовн. друк. арк. 2,0. Тираж . Замовлення № .

Видавець та виготовлювач Український державний університет
залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.