

Міністерство освіти і науки України

Центральноукраїнський національний технічний університет

Кафедра «Будівельних, дорожніх машин і будівництва»

«Інноваційні технології та спецтехніка інфраструктурного комплексу»

Методичні вказівки

**щодо виконання практичних занять та самостійної роботи
для здобувачів вищої освіти спеціальності G 11 «Машинобудування»**

Ухвалено на засіданні кафедри
«Будівельних, дорожніх машин і
будівництва»
Протокол № 2 від 16.09.2026 р.

**Кропивницький
2026 р**

Методичні вказівки щодо виконання практичних занять та самостійної роботи з дисципліни «Інноваційні технології та спецтехніка інфраструктурного комплексу» для здобувачів вищої освіти спеціальності G 11 «Машинобудування» всіх форм навчання / Укл.: В.В. Яцун, О.В. Горпинченко, В.В. Яцун. – Кропивницький: ЦНТУ, 2026. - с. 73.

Укладачі:

Володимир Володимирович Яцун – доктор техн. наук, доцент,

Ольга Володимирівна Горпинченко - канд. екон. наук, доцент,

Володимир Васильович Яцун – канд. техн. наук, професор.

Рецензент:

Шепеленко І.В. – доктор техн. наук, професор

Вступ

Предметом навчальної дисципліни "Інноваційні технології та сучасна спецтехніка інфраструктурного комплексу" є вивчення основ та практичних аспектів інноваційних технологій та сучасної спецтехніки.

Навчальна дисципліна "Інноваційні технології та сучасна спецтехніка інфраструктурного комплексу" забезпечує ознайомлення здобувачів освіти з організацією та загальною методологією інноваційних технологій.

Метою і завданням дисципліни "Інноваційні технології та сучасна спецтехніка інфраструктурного комплексу" є формування цілісного комплексу загальних та фахових компетентностей магістрів.

Предметом навчальної дисципліни "Інноваційні технології та сучасна спецтехніка інфраструктурного комплексу" є вивчення основ та практичних аспектів використання принципів інноваційних технологій в машинобудуванні відповідно до професійного (наукового) спрямування

Інноваційні технології та сучасна спецтехніка є головними драйверами модернізації інфраструктурного комплексу (дорожнього, залізничного, авіаційного та портового будівництва). Вони дозволяють суттєво прискорити виконання робіт, знизити витрати ресурсів та підвищити екологічність і безпеку об'єктів.

Інноваційні технології в інфраструктурі:

- BIM-технології (Building Information Modeling). Створення цифрових 3D-моделей об'єктів, які супроводжують споруду від проєктування до утилізації. Це мінімізує помилки під час будівництва.

- 3D-нівелювання та автоматичне керування технікою. Інтеграція систем GPS/ГЛОНАСС та лазерних сканерів безпосередньо у бортові комп'ютери бульдозерів, грейдерів та екскаваторів. Ніж або ківш техніки автоматично підлаштовується під цифрову модель проєкту з точністю до міліметра.

- Smart-матеріали (Розумний бетон та асфальт). Використання само відновлюваного бетону (із бактеріями, що заповнюють тріщини кальцитом) та

асфальтобетону з додаванням переробленого пластику або гуми для підвищення зносостійкості.

- Безпілотні технології (дрони та БПЛА). Застосовуються для швидкого лазерного сканування місцевості (LiDAR), моніторингу прогресу будівництва та контролю безпеки на масштабних об'єктах.

Сьогодні на зміну традиційним машинам приходять автоматизовані, гібридні та повністю електричні комплекси.

Екологічні тренди та "Зелена" техніка:

- Електрифікація спецтехніки. Провідні виробники (Caterpillar, Volvo, Komatsu) активно впроваджують компактні електричні екскаватори та навантажувачі для роботи в міських умовах, що не створюють шуму та шкідливих викидів.

- Альтернативне паливо. Використання водневих паливних елементів для важкої кар'єрної та магістральної техніки.

- Телематика та Fleet Management. Системи цифрового управління автопарком, які оптимізують логістику техніки, контролюють витрату палива та прогнозують поломки до їх виникнення (предиктивне обслуговування)

Практична заняття № 1

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СУЧАСНОЇ ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНОЇ ТА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

Мета заняття

Ознайомитися з конструкцією сучасних дорожньо-будівельних і сільськогосподарських машин, навчитися аналізувати їх технічні характеристики, силові установки, трансмісії, робоче обладнання та системи керування.

Набути навичок оцінювання технічного рівня машин, їх продуктивності, енергоефективності та використання сучасних цифрових технологій.

1. Завдання практичного заняття

1. Обрати сучасну дорожньо-будівельну або сільськогосподарську машину.
2. Визначити її призначення та область застосування.
3. Описати основні конструктивні елементи.
4. Навести основні технічні характеристики.
5. Проаналізувати силову установку, трансмісію та робоче обладнання.
6. Визначити сучасні системи автоматизації та цифрові технології.
7. Порівняти обрану машину з двома аналогами.
8. Виконати розрахунок питомої потужності.
9. Запропонувати заходи щодо модернізації.
10. Зробити висновок про технічний рівень машини.

2. Теоретичні відомості

Дорожньо-будівельні та сільськогосподарські машини є важливою складовою сучасного машинобудування. Вони використовуються для виконання великої кількості технологічних операцій, пов'язаних із будівництвом і ремонтом доріг, земляними роботами, обробіткою ґрунту, посівом, збиранням урожаю та транспортуванням матеріалів.

До дорожньо-будівельної техніки належать:

- екскаватори;
- бульдозери;
- автогрейдери;
- навантажувачі;
- дорожні котки;
- асфальтоукладачі;
- дорожні фрези;
- самоскиди;
- машини для ремонту та утримання доріг.

До сільськогосподарської техніки належать:

- трактори;
- зернозбиральні комбайни;
- кормозбиральні машини;
- ґрунтообробні агрегати;
- сівалки;
- обприскувачі;
- машини для внесення добрив;
- причеи та напівпричеи.

Сучасна техніка характеризується використанням електронних систем керування, гідравлічних приводів, автоматизованих трансмісій, супутникової навігації та телематичних систем.

Особливого значення набуває використання технологій точного землеробства у сільськогосподарських машинах. GNSS-навігація дозволяє визначати положення машини на полі, автоматично вести агрегат заданою траєкторією та зменшувати перекриття під час обробітку ґрунту, посіву або внесення добрив.

3. Порядок виконання практичного заняття

3.1. Загальна характеристика машини

Для обраної машини необхідно вказати:

- назву та модель;
- виробника;
- призначення;
- область застосування;
- тип ходової частини;
- тип силової установки;
- основні технологічні операції.

Для сільськогосподарської машини додатково необхідно вказати вид сільськогосподарських робіт, для яких вона призначена.

Наприклад, для трактора необхідно зазначити, які агрегати він може приводити в дію: плуги, культиватори, сівалки, обприскувачі, причепа та інше обладнання.

4. Аналіз конструкції

Необхідно охарактеризувати основні конструктивні елементи машини:

- раму або корпус;
- силову установку;
- трансмісію;
- ходову частину;
- робоче обладнання;
- гідравлічну систему;
- кабіну оператора;
- електричну систему;
- систему керування.

Для сільськогосподарського трактора додатково необхідно розглянути:

- навіску;
- вал відбору потужності;
- гідравлічну систему;
- тягово-зчіпний пристрій;
- електронну систему керування агрегатами.

5. Основні технічні характеристики

Показник	Значення
Виробник, модель	
Експлуатаційна маса, кг	
Потужність двигуна, кВт	
Тип двигуна	
Вид палива	
Максимальна швидкість, км/год	
Тип трансмісії	
Тип ходової частини	
Робоче обладнання	
Продуктивність	
Витрата палива/енергії	
Наявність GNSS/GPS	
Наявність телематики	

Для сільськогосподарського трактора додатково можна вказати:

- тяговий клас;
- кількість циліндрів двигуна;
- тип привода;
- кількість передач;
- продуктивність гідросистеми;
- максимальну вантажопідйомність навіски;
- потужність на валу відбору потужності.

6. Сучасні цифрові технології

Необхідно визначити, які сучасні технології використовуються в обраній машині.

Технологія	Призначення
------------	-------------

Технологія	Призначення
GNSS/GPS	Навігація та визначення положення
RTK	Високоточне позиціонування
Телематика	Дистанційний контроль машини
Електронна діагностика	Контроль технічного стану
Автоматичне керування	Автоматизація роботи
Камери	Контроль робочої зони
Машинний зір	Розпізнавання об'єктів
Датчики	Контроль параметрів роботи

Для сільськогосподарської техніки необхідно звернути увагу на технології точного землеробства:

- автоматичне водіння;
- контроль ширини захвату;
- автоматичне відключення секцій;
- диференційоване внесення добрив;
- контроль норми висіву;
- картографування врожайності;
- моніторинг роботи агрегатів.

7. Порівняння з аналогами

Обрану машину необхідно порівняти з двома аналогічними моделями.

Показник	Обрана машина	Аналог 1	Аналог 2
Маса, кг			
Потужність, кВт			
Максимальна швидкість, км/год			
Продуктивність			
Витрата палива/енергії			
GNSS/RTK			

Телематика

Автоматизація

За результатами порівняння необхідно визначити переваги та недоліки досліджуваної машини.

8. Розрахункова частина

8.1. Визначення питомої потужності

Питома потужність визначається за формулою:

$$N_{\text{пит}} = N / m$$

де:

$N_{\text{пит}}$ — питома потужність, кВт/т;

N — потужність двигуна, кВт;

m — експлуатаційна маса машини, т.

Приклад:

$$N = 150 \text{ кВт};$$

$$m = 25 \text{ т.}$$

$$N_{\text{пит}} = 150 / 25 = 6 \text{ кВт/т.}$$

Отриманий результат необхідно порівняти з аналогічними машинами.

8.2. Визначення продуктивності

Для машини циклічної дії продуктивність можна визначити за формулою:

$$Q = (q \times k \times 3600) / t$$

де:

Q — продуктивність, м³/год;

q — місткість робочого органа, м³;

k — коефіцієнт використання робочого органа;

t — тривалість робочого циклу, с.

Приклад:

$$q = 1,2 \text{ м}^3;$$

$$k = 0,8;$$

$$t = 30 \text{ с.}$$

$$Q = (1,2 \times 0,8 \times 3600) / 30 = 115,2 \text{ м}^3/\text{год.}$$

9. Оцінка енергоефективності

Необхідно проаналізувати витрати палива або електроенергії під час роботи машини.

Основну увагу слід звернути на:

- потужність двигуна;
- витрату палива;
- продуктивність;
- режим роботи двигуна;
- ефективність трансмісії;
- ефективність гідравлічної системи.

Для сільськогосподарської техніки додатково необхідно оцінити ефективність використання палива під час виконання основної технологічної операції.

Сучасні системи автоматичного керування дозволяють оптимізувати навантаження двигуна, зменшити холості режими та підвищити продуктивність.

10. Пропозиції щодо модернізації

Необхідно запропонувати не менше трьох заходів щодо вдосконалення обраної машини.

Приклади:

1. Встановлення GNSS/RTK.
2. Впровадження телематичної системи.
3. Встановлення системи прогнозової діагностики.
4. Автоматизація робочого обладнання.
5. Встановлення системи машинного зору.
6. Модернізація гідравлічного привода.

7. Використання гібридної силової установки.
8. Електрифікація окремих механізмів.

Для сільськогосподарської техніки додатково можна запропонувати:

- автоматичне водіння;
- автоматичне керування секціями сівалки;
- диференційоване внесення добрив;
- контроль норми висіву;
- моніторинг врожайності;
- автоматичний контроль робочої глибини.

№ Запропонована модернізація Мета Очікуваний результат

1

2

3

11. Висновок

За результатами практичної роботи необхідно оцінити технічний рівень досліджуваної машини.

У висновку зазначити:

- призначення машини;
- особливості конструкції;
- основні технічні характеристики;
- переваги та недоліки;
- рівень автоматизації;
- використання цифрових технологій;
- енергоефективність;
- результати порівняння з аналогами;
- запропоновані напрями модернізації.

Зробити висновок щодо перспектив подальшого розвитку машини із застосуванням сучасних технологій машинобудування та цифровізації.

12. Контрольні питання

1. Яке призначення дорожньо-будівельних машин?
2. Які основні типи сільськогосподарських машин ви знаєте?
3. З яких основних систем складається сучасна машина?
4. Яке призначення силової установки?
5. Які типи трансмісій застосовуються в сучасній техніці?
6. Для чого використовується гідравлічна система?
7. Що таке GNSS та RTK?
8. Що таке телематична система?
9. Яке призначення автоматичного керування?
10. Що таке технології точного землеробства?
11. Які переваги має автоматичне водіння сільськогосподарської техніки?
12. Як можна підвищити енергоефективність машини?
13. Які переваги дає електрифікація спеціальної техніки?
14. Які технології можуть використовуватися для створення автономних машин?

13. Індивідуальні варіанти

Варіант	Об'єкт дослідження
1	Гусеничний екскаватор
2	Колісний екскаватор
3	Бульдозер
4	Автогрейдер
5	Фронтальний навантажувач
6	Дорожній каток
7	Асфальтоукладач
8	Дорожня фреза
9	Екскаватор-навантажувач

Варіант Об'єкт дослідження

10 Самоскид

11 Сільськогосподарський трактор

12 Зернозбиральний комбайн

13 Сівалка

14 Обприскувач

15 Культиватор

16 Машина для внесення добрив

Вимоги до звіту

Звіт оформити на аркушах формату А4. Рекомендований обсяг — **2–3 сторінки** без урахування титульної сторінки.

Звіт повинен містити:

1. Тему та мету роботи;
2. Завдання;
3. Характеристику обраної машини;
4. Таблицю технічних характеристик;
5. Аналіз сучасних технологій;
6. Порівняння з аналогами;
7. Розрахункову частину;
8. Пропозиції щодо модернізації;
9. Висновок.

Практична заняття № 2

РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СПЕЦІАЛЬНОЇ МАШИНИ

Мета практичного заняття

Ознайомитися з основними показниками енергоефективності спеціальних машин, навчитися визначати питому витрату палива та енергії, оцінювати

ефективність використання потужності двигуна і визначати можливі напрями зменшення енергетичних витрат.

1. Завдання практичного заняття

1. Обрати дорожньо-будівельну або сільськогосподарську машину.
2. Визначити її основні технічні характеристики.
3. Визначити потужність двигуна та експлуатаційну масу.
4. Визначити витрату палива або електроенергії.
5. Розрахувати питому потужність машини.
6. Визначити питому витрату палива на одиницю продуктивності.
7. Оцінити енергоефективність машини.
8. Запропонувати заходи щодо зниження енергетичних витрат.

2. Теоретичні відомості

Енергоефективність спеціальної машини характеризує, наскільки раціонально використовується енергія для виконання заданої технологічної роботи.

Основними джерелами енергії в сучасних машинах є дизельне паливо, бензин, електрична енергія, а також гібридні силові установки.

Енергоефективність залежить від:

- потужності двигуна;
- маси машини;
- режиму роботи двигуна;
- типу трансмісії;
- ефективності гідравлічної системи;
- продуктивності машини;
- умов експлуатації;
- кваліфікації оператора;
- технічного стану машини.

Для дорожньо-будівельних машин важливим показником є витрата палива на одиницю виконаної роботи.

Для сільськогосподарських машин важливе значення має витрата палива на гектар обробленої площі або на одиницю продукції.

3. Порядок виконання

3.1. Вихідні дані

Для розрахунку необхідно визначити такі параметри:

Показник	Позначення	Значення
Потужність двигуна, кВт	N	
Експлуатаційна маса, т	m	
Витрата палива, л/год	G	
Продуктивність, м³/год або га/год	Q	
Тривалість роботи, год	T	
Вид палива	—	
ККД силової установки	η	

Дані приймаються за технічною документацією машини.

4. Розрахунок показників енергоефективності

4.1. Питома потужність

Питома потужність показує, яка потужність припадає на одну тону маси машини.

Формула:

$$N_{\text{пит}} = N / m$$

де:

$N_{\text{пит}}$ — питома потужність, кВт/т;

N — потужність двигуна, кВт;

m — експлуатаційна маса машини, т.

Приклад:

$$N = 180 \text{ кВт};$$

$$m = 20 \text{ т.}$$

$$N_{\text{пит}} = 180 / 20 = 9 \text{ кВт/т.}$$

Чим вища питома потужність, тим більші потенційні тягові та динамічні можливості машини. Однак надмірне збільшення потужності без відповідного зростання продуктивності може призводити до перевитрати палива.

4.2. Годинна витрата палива

Годинна витрата палива визначається безпосередньо за даними технічної документації або експлуатаційними вимірюваннями.

Позначення:

G — витрата палива, л/год.

Якщо машина за одну годину роботи споживає 18 л дизельного палива, то:

$$G = 18 \text{ л/год.}$$

4.3. Витрата палива за зміну

Якщо тривалість роботи машини становить T годин, загальна витрата палива визначається:

$$G_{\text{зм}} = G \times T$$

де:

$G_{\text{зм}}$ — витрата палива за зміну, л;

G — годинна витрата палива, л/год;

T — тривалість роботи, год.

Приклад:

$$G = 18 \text{ л/год};$$

$$T = 8 \text{ год.}$$

$$G_{\text{зм}} = 18 \times 8 = 144 \text{ л.}$$

4.4. Питома витрата палива на одиницю продуктивності

Для оцінки ефективності дорожньо-будівельної машини можна визначити витрату палива на одиницю виконаної роботи.

Формула:

$$g = G / Q$$

де:

g — питома витрата палива;

G — витрата палива, л/год;

Q — продуктивність машини, м³/год.

Приклад:

$G = 18$ л/год;

$Q = 120$ м³/год.

$g = 18 / 120 = 0,15$ л/м³.

Отже, на виконання одного кубічного метра роботи витрачається приблизно 0,15 л палива.

5. Розрахунок сільськогосподарської техніки

Для сільськогосподарських машин важливим показником є витрата палива на одиницю обробленої площі.

Формула:

$$G_{га} = G / Q$$

де:

$G_{га}$ — витрата палива на 1 га, л/га;

G — годинна витрата палива, л/год;

Q — продуктивність агрегату, га/год.

Приклад:

Трактор витрачає:

$G = 20$ л/год.

Продуктивність агрегату:

$Q = 2,5$ га/год.

Тоді:

$$G_{га} = 20 / 2,5 = 8 \text{ л/га.}$$

Отже, витрата палива становить 8 л на один гектар обробленої площі.

6. Оцінка енергоефективності

Після виконання розрахунків необхідно оцінити ефективність використання енергії.

Необхідно звернути увагу на:

- відповідність потужності двигуна характеру роботи;
- величину питомої витрати палива;
- продуктивність машини;
- завантаження двигуна;
- втрати потужності в трансмісії;
- втрати в гідравлічній системі;
- тривалість роботи на холостому ходу.

Низька продуктивність при високій витраті палива свідчить про недостатню енергоефективність використання машини.

Для підвищення енергоефективності доцільно застосовувати:

- автоматичне регулювання частоти обертання двигуна;
- оптимізацію режимів роботи;
- автоматичне вимкнення двигуна під час простою;
- ефективні гідравлічні системи;
- сучасні трансмісії;
- гібридні силові установки;
- електричний привод;
- системи контролю витрати палива;
- телематичний моніторинг.

7. Завдання для самостійного розрахунку

Для обраної машини визначити:

1. Питому потужність.
2. Витрату палива за 8-годинну зміну.

3. Питому витрату палива на одиницю продуктивності.
4. Для сільськогосподарської машини — витрату палива на 1 га.
5. Основні фактори, що впливають на енергоефективність.
6. Не менше трьох заходів щодо зниження витрати палива або електроенергії.

Результати розрахунків занести до таблиці.

Показник	Розраховане значення
Питома потужність, кВт/т	
Витрата палива, л/год	
Витрата за зміну, л	
Продуктивність	
Питома витрата палива	
Витрата на 1 га, л/га*	

*Для сільськогосподарської техніки.

8. Висновок

За результатами роботи необхідно зробити висновок про енергоефективність обраної машини.

У висновку зазначити:

- основні технічні характеристики;
- отриману питому потужність;
- витрату палива за годину та зміну;
- питому витрату палива;
- для сільськогосподарської техніки — витрату палива на 1 га;
- основні причини енергетичних втрат;
- запропоновані заходи щодо підвищення енергоефективності.

9. Контрольні питання

1. Що таке енергоефективність машини?
2. Від яких факторів залежить витрата палива?

3. Що характеризує питома потужність?
4. Як визначається витрата палива за зміну?
5. Як визначити питому витрату палива?
6. Як визначається витрата палива сільськогосподарського агрегату на 1 га?
7. Як режим роботи двигуна впливає на витрату палива?
8. Які втрати потужності виникають у трансмісії?
9. Як гідравлічна система впливає на енергоефективність?
10. Які сучасні технології дозволяють зменшити енергоспоживання спеціальної машини?
11. Які переваги мають гібридні та електричні силові установки?
12. Як телематика може використовуватися для контролю витрати палива?

Практичне заняття № 3

ВИБІР ТА АНАЛІЗ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МАШИНОЮ

Мета заняття

Ознайомитися з принципами побудови інтелектуальних систем керування сучасними дорожньо-будівельними та сільськогосподарськими машинами, навчитися визначати склад системи, її основні функції, датчики та виконавчі механізми, а також оцінювати ефективність застосування автоматизованого керування.

1. Завдання практичного заняття

1. Обрати дорожньо-будівельну або сільськогосподарську машину.
2. Визначити систему керування, яка може бути застосована на цій машині.
3. Визначити основні компоненти системи.
4. Описати принцип роботи системи.
5. Визначити основні датчики та виконавчі механізми.
6. Проаналізувати використання GNSS/GPS, камер, радарів та інших засобів контролю.

7. Оцінити переваги інтелектуального керування.
8. Запропонувати заходи щодо вдосконалення системи.

2. Теоретичні відомості

Інтелектуальна система керування — це комплекс технічних засобів, який забезпечує автоматичний контроль параметрів машини та прийняття керуючих рішень на основі інформації від датчиків.

На відміну від традиційних систем, інтелектуальні системи можуть не тільки виконувати команди оператора, а й автоматично змінювати режими роботи машини відповідно до умов експлуатації.

Типова структура системи має вигляд:

Датчики → контролер → алгоритм керування → виконавчі механізми → машина → датчики.

Основними елементами інтелектуальної системи є:

- датчики;
- електронний блок керування;
- програмне забезпечення;
- виконавчі механізми;
- засоби зв'язку;
- інтерфейс оператора;
- система навігації.

Для дорожньо-будівельних машин інтелектуальні системи можуть забезпечувати автоматичне керування відвалом бульдозера, робочим органом автогрейдера, положенням ковша екскаватора або швидкістю руху дорожнього котка.

У сільськогосподарській техніці вони використовуються для автоматичного водіння трактора, регулювання глибини обробки ґрунту, керування нормою висіву та внесення добрив.

3. Вибір інтелектуальної системи

Студент обирає одну систему керування відповідно до типу машини.

Машина	Приклад інтелектуальної системи
Екскаватор	Автоматичне керування робочим органом
Бульдозер	Автоматичне керування відвалом
Автогрейдер	Автоматичне планування поверхні
Дорожній каток	Автоматичний контроль ущільнення
Навантажувач	Система контролю навантаження
Трактор	Автоматичне водіння
Сівалка	Автоматичний контроль висіву
Обприскувач	Автоматичне керування секціями
Комбайн	Автоматичний контроль процесу збирання

Необхідно обґрунтувати вибір системи та пояснити, яку проблему вона вирішує.

4. Структура інтелектуальної системи

Необхідно визначити основні компоненти обраної системи.

4.1. Датчики

Датчики забезпечують отримання інформації про стан машини та навколишнє середовище.

Можуть використовуватися:

- датчики положення;
- датчики швидкості;
- датчики тиску;
- датчики температури;
- датчики навантаження;
- акселерометри;
- камери;
- радары;
- GNSS-приймачі;
- датчики рівня.

4.2. Контролер

Електронний контролер обробляє інформацію від датчиків та формує керуючі сигнали.

Контролер може визначати:

- швидкість руху;
- положення робочого органа;
- навантаження на машину;
- відхилення від заданої траєкторії;
- необхідність зміни режиму роботи.

4.3. Виконавчі механізми

До виконавчих механізмів належать:

- електродвигуни;
- гідроциліндри;
- гідромотори;
- електрогідравлічні клапани;
- механізми керування трансмісією;
- системи керування двигуном.

5. Навігаційні та сенсорні технології

Для сучасної спеціальної техніки важливу роль відіграють системи позиціонування та контролю.

GNSS/GPS використовуються для визначення координат машини.

RTK забезпечує значно вищу точність позиціонування та може використовуватися для точного керування машиною.

Камери використовуються для контролю робочої зони та виявлення перешкод.

Радар може визначати відстань до об'єктів та контролювати безпечну зону навколо машини.

LiDAR дозволяє створювати тривимірну інформацію про навколишнє середовище.

6. Аналіз роботи системи

Необхідно описати послідовність роботи інтелектуальної системи.

Наприклад, для автоматичного водіння трактора:

1. GNSS-приймач визначає координати машини.
2. Система порівнює фактичне положення із заданою траєкторією.
3. Контролер визначає величину відхилення.
4. Формується команда на систему керування.
5. Виконавчий механізм змінює напрям руху.
6. Машина повертається на задану траєкторію.
7. Процес повторюється постійно під час руху.

Для дорожньо-будівельної машини принцип роботи аналогічний: датчики визначають положення робочого органа, контролер порівнює його із заданим значенням і формує команду на виконавчий механізм.

7. Оцінка ефективності

Ефективність інтелектуальної системи можна оцінити за зменшенням відхилення від заданого режиму роботи.

Наприклад, відносне зменшення відхилення визначається:

$$E = ((\delta_1 - \delta_2) / \delta_1) \times 100\%$$

де:

E — ефект від застосування системи, %;

δ_1 — відхилення без автоматичного керування;

δ_2 — відхилення з автоматичним керуванням.

Приклад:

Без системи автоматичного керування відхилення становить:

$$\delta_1 = 10 \text{ см.}$$

Після встановлення системи:

$$\delta_2 = 3 \text{ см.}$$

Тоді:

$$E = ((10 - 3) / 10) \times 100 = 70\%.$$

Отже, застосування системи дозволило зменшити відхилення на 70%.

8. Переваги та недоліки

Результати аналізу необхідно занести до таблиці.

Переваги	Недоліки
Підвищення точності роботи	Висока вартість обладнання
Зменшення помилок оператора	Необхідність обслуговування електроніки
Підвищення продуктивності	Залежність від датчиків
Зменшення витрати палива	Необхідність навчання персоналу
Підвищення безпеки	Залежність від якості сигналу GNSS

9. Завдання для самостійного виконання

Для обраної машини необхідно:

1. Визначити тип інтелектуальної системи.
2. Обґрунтувати необхідність її використання.
3. Скласти структурну схему:

Датчики → Контролер → Виконавчі механізми → Робочий процес.

4. Визначити не менше п'яти датчиків, які можуть бути використані.
5. Визначити виконавчі механізми.
6. Описати алгоритм роботи системи.
7. Визначити переваги та недоліки.
8. Запропонувати два способи вдосконалення системи.

10. Висновок

У висновку необхідно зазначити:

- яку машину було обрано;
- яку інтелектуальну систему запропоновано;
- основні елементи системи;
- принцип її роботи;
- роль датчиків і контролера;
- переваги автоматичного керування;
- можливий економічний та технологічний ефект;

- перспективи подальшої автоматизації машини.

11. Контрольні питання

1. Що таке інтелектуальна система керування?
2. З яких основних елементів вона складається?
3. Яке призначення датчиків?
4. Яку функцію виконує електронний контролер?
5. Що таке виконавчий механізм?
6. Для чого використовується GNSS?
7. Яке призначення RTK?
8. Де можуть використовуватися камери та радари?
9. Які переваги автоматичного керування?
10. Які недоліки інтелектуальних систем?
11. Як інтелектуальне керування впливає на продуктивність машини?
12. Які інтелектуальні системи доцільно застосовувати в сільськогосподарській техніці?
13. Які системи автоматизації використовуються в дорожньо-будівельних машинах?
14. Які перспективи розвитку автономних машин?

Практичне заняття № 4

РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ СУПУТНИКОВОЇ НАВІГАЦІЇ ДЛЯ СПЕЦІАЛЬНОЇ МАШИНИ

Мета заняття

Ознайомитися з принципами побудови супутникових навігаційних систем для спеціальної техніки, навчитися вибирати необхідні компоненти системи, визначати її функції та оцінювати точність позиціонування машини.

1. Завдання практичного заняття

1. Обрати дорожньо-будівельну або сільськогосподарську машину.

2. Визначити завдання, для якого необхідна супутникова навігація.
3. Вибрати тип навігаційної системи.
4. Визначити основні компоненти системи.
5. Розробити структурну схему навігаційної системи.
6. Визначити необхідну точність позиціонування.
7. Проаналізувати використання GNSS, GPS та RTK.
8. Оцінити переваги системи.
9. Запропонувати напрями її вдосконалення.

2. Теоретичні відомості

Супутникова навігація є одним із основних елементів цифровізації сучасної спеціальної техніки.

Системи GNSS використовують сигнали навігаційних супутників для визначення координат, швидкості та напрямку руху машини.

До основних глобальних навігаційних систем належать:

- GPS;
- Galileo;
- GLONASS;
- BeiDou.

Сучасні приймачі можуть одночасно використовувати сигнали декількох супутникових систем, що підвищує надійність визначення положення.

Для спеціальної техніки застосування GNSS дозволяє:

- визначати координати машини;
- контролювати маршрут руху;
- автоматично керувати машиною;
- визначати пройденої відстань;
- контролювати виконання технологічної операції;
- вести облік роботи машини;
- передавати інформацію про машину диспетчеру.

У дорожньо-будівельній техніці GNSS може використовуватися для контролю положення автогрейдера, бульдозера, асфальтоукладача або іншої машини.

У сільськогосподарській техніці навігація використовується для автоматичного водіння тракторів, точного висіву, внесення добрив та засобів захисту рослин.

3. Вибір системи навігації

Залежно від поставленого завдання необхідно вибрати необхідну точність позиціонування.

Завдання	Орієнтовна точність	Система
Контроль місцезнаходження	1–10 м	GNSS
Навігація машини	0,5–2 м	GNSS + корекція
Автоматичне водіння	2–10 см	RTK GNSS
Точне планування поверхні	1–3 см	RTK GNSS
Точний посів	2–5 см	RTK GNSS

Для відповідальних технологічних операцій доцільно застосовувати RTK-корекцію.

4. Структура системи

Запропонована навігаційна система може мати таку структуру:

Супутники GNSS → GNSS-приймач → Контролер → Дисплей оператора → Система керування машиною

Для автоматичного водіння:

Супутники → GNSS-приймач → Контролер → Електрогідравлічна система керування → Рульовий механізм → Рух машини

Основними компонентами системи є:

1. GNSS-антена.
2. GNSS-приймач.

3. Контролер.
4. Дисплей оператора.
5. Датчик кута повороту.
6. Датчики швидкості.
7. RTK-модем або канал отримання поправок.
8. Виконавчий механізм системи керування.

5. Вибір обладнання

Для проектування системи необхідно визначити характеристики її основних компонентів.

Компонент	Основна характеристика	Призначення
GNSS-антена	Багатосистемна	Приймання сигналів
GNSS-приймач	Багаточастотний	Визначення координат
RTK-модуль	Корекція координат	Підвищення точності
Контролер	Обробка даних	Формування команд
Дисплей	Візуалізація	Інформація для оператора
Датчик кута	Вимірювання кута	Контроль напрямку
Модем	Передача даних	Отримання поправок

При виборі обладнання необхідно враховувати умови експлуатації, необхідну точність, стійкість до вібрації, пилу та вологи.

6. Принцип роботи системи

Під час роботи супутникові сигнали надходять на GNSS-антену. GNSS-приймач обробляє отриману інформацію та визначає координати машини.

Контролер отримує координати та порівнює фактичне положення машини із заданим маршрутом.

Якщо машина відхиляється від заданої траєкторії, система формує керуючий сигнал.

Виконавчий механізм змінює напрям руху машини.

Для підвищення точності може використовуватися RTK-корекція.

7. Визначення похибки позиціонування

Для оцінювання точності системи можна визначити середню похибку координат.

Якщо відомі фактичні та задані координати, похибка визначається:

$$\Delta = \sqrt{(X_{\text{ф}} - X_{\text{з}})^2 + (Y_{\text{ф}} - Y_{\text{з}})^2}$$

де:

Δ — похибка позиціонування, м;

$X_{\text{ф}}$, $Y_{\text{ф}}$ — фактичні координати;

$X_{\text{з}}$, $Y_{\text{з}}$ — задані координати.

Приклад:

$X_{\text{ф}} = 125,4$ м;

$Y_{\text{ф}} = 85,2$ м;

$X_{\text{з}} = 125,0$ м;

$Y_{\text{з}} = 85,0$ м.

Тоді:

$$\Delta = \sqrt{(125,4 - 125,0)^2 + (85,2 - 85,0)^2}$$

$$\Delta = \sqrt{(0,4)^2 + (0,2)^2} = \sqrt{0,16 + 0,04} = \sqrt{0,20} = 0,45 \text{ м.}$$

Отже, похибка позиціонування становить приблизно 0,45 м.

8. Застосування в дорожньо-будівельній техніці

GNSS-навігація може використовуватися для:

- автоматичного керування автогрейдером;
- контролю положення відвала бульдозера;
- контролю руху асфальтоукладача;
- визначення маршруту самоскида;
- контролю виконаних земляних робіт;

- цифрового картографування будівельного майданчика.

Наприклад, автогрейдер із системою GNSS/RTK може автоматично підтримувати задане положення робочого органа відповідно до цифрової моделі поверхні.

9. Застосування в сільськогосподарській техніці

Супутникова навігація широко використовується в системах точного землеробства.

Основні напрями застосування:

- автоматичне водіння трактора;
- паралельне водіння;
- точний посів;
- автоматичне відключення секцій;
- диференційоване внесення добрив;
- диференційоване внесення засобів захисту рослин;
- картографування полів;
- контроль обробленої площі.

Застосування RTK дозволяє забезпечити високу точність проходження машини та зменшити перекриття між сусідніми проходами.

10. Оцінка ефективності

Ефективність використання навігаційної системи можна оцінити за зменшенням перекриття робочих проходів.

Відносне зменшення перекриття визначається:

$$E = ((B1 - B2) / B1) \times 100\%$$

де:

E — ефект від застосування навігації, %;

B1 — перекриття без автоматичної навігації;

B2 — перекриття з використанням навігаційної системи.

Приклад:

До використання системи перекриття становило 10%.

Після впровадження системи — 3%.

$$E = ((10 - 3) / 10) \times 100 = 70\%.$$

Отже, перекриття було зменшено на 70%.

11. Завдання для самостійного виконання

Для обраної машини необхідно:

1. Визначити призначення навігаційної системи.
2. Вибрати необхідну точність позиціонування.
3. Вибрати тип GNSS-приймача.
4. Визначити необхідність RTK-корекції.
5. Скласти структурну схему системи.
6. Визначити основні датчики.
7. Описати алгоритм роботи системи.
8. Визначити можливу похибку позиціонування.
9. Оцінити переваги та недоліки системи.
10. Запропонувати два напрями її вдосконалення.

12. Висновок

У висновку необхідно зазначити:

- яку машину було обрано;
- для чого використовується супутникова навігація;
- яку точність позиціонування необхідно забезпечити;
- які компоненти входять до системи;
- роль GNSS та RTK;
- переваги застосування навігації;
- можливий технологічний та економічний ефект;
- перспективи подальшої автоматизації машини.

13. Контрольні питання

1. Що таке GNSS?
2. Які супутникові навігаційні системи ви знаєте?

3. Яке призначення GNSS-приймача?
4. Для чого використовується GNSS-антена?
5. Що таке RTK?
6. Для чого потрібні RTK-поправки?
7. Яка точність необхідна для автоматичного водіння?
8. Як визначається похибка позиціонування?
9. Де застосовується GNSS у дорожньо-будівельній техніці?
10. Де застосовується GNSS у сільськогосподарській техніці?
11. Що таке точне землеробство?
12. Які переваги дає автоматичне водіння?
13. Як супутникова навігація впливає на витрату палива?
14. Які перспективи розвитку супутникової навігації спеціальних машин?

Практичне заняття № 5

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ МОНІТОРИНГ І ТЕХНІЧНА ДІАГНОСТИКА МАШИНИ

Мета заняття

Ознайомитися із сучасними системами інтелектуального моніторингу та технічної діагностики дорожньо-будівельних і сільськогосподарських машин, навчитися визначати контрольовані параметри, вибирати датчики та оцінювати технічний стан машини.

1. Завдання практичного заняття

1. Обрати дорожньо-будівельну або сільськогосподарську машину.
2. Визначити основні системи, технічний стан яких необхідно контролювати.
3. Вибрати параметри для моніторингу.
4. Визначити необхідні датчики.
5. Розробити структуру системи моніторингу.
6. Описати алгоритм технічної діагностики.

7. Визначити критичні значення контрольованих параметрів.
8. Виконати розрахунок відхилення одного з параметрів.
9. Запропонувати заходи щодо прогнозування несправностей.

2. Теоретичні відомості

Технічна діагностика — це визначення фактичного стану машини, її агрегатів та систем за результатами вимірювання контрольованих параметрів. Інтелектуальний моніторинг передбачає постійне або періодичне отримання інформації від датчиків, її передачу до електронного блока та автоматичний аналіз.

Основними завданнями системи є:

- контроль технічного стану;
- своєчасне виявлення несправностей;
- попередження аварій;
- прогнозування залишкового ресурсу;
- контроль режимів роботи;
- зменшення простоїв;
- оптимізація технічного обслуговування.

Для сучасної машини можуть контролюватися температура, тиск, частота обертання, вібрація, рівень рідин, навантаження, витрата палива та інші параметри.

3. Об'єкти діагностики

Для обраної машини необхідно визначити основні агрегати, які підлягають контролю.

Система	Контрольований параметр	Датчик
Двигун	Температура	Датчик температури
Двигун	Тиск мастила	Датчик тиску
Двигун	Частота обертання	Датчик обертів
Гідросистема	Тиск	Датчик тиску

Система	Контрольований параметр	Датчик
Трансмісія	Температура	Датчик температури
Підшипники	Вібрація	Вібраційний датчик
Паливна система	Витрата палива	Витратомір
Ходова частина	Навантаження	Датчик навантаження

Для сільськогосподарської техніки додатково можна контролювати:

- навантаження на двигун;
- буксування коліс;
- продуктивність агрегату;
- витрату палива на гектар;
- параметри робочого обладнання;
- якість виконання технологічної операції.

4. Структура системи моніторингу

Система інтелектуального моніторингу може мати таку структуру:

Датчики → Блок збору даних → Контролер → Аналіз → Інформація оператору

Для дистанційного контролю:

Датчики → Контролер → Модем → Сервер → Комп'ютер або смартфон оператора

Основними елементами системи є:

1. Датчики.
2. Електронний блок керування.
3. Система передачі даних.
4. Програмне забезпечення.
5. Дисплей оператора.
6. Система сигналізації.
7. Сервер для зберігання даних.

5. Алгоритм технічної діагностики

Робота системи може здійснюватися за наступним алгоритмом:

1. Датчик вимірює контрольований параметр.
2. Інформація надходить до електронного контролера.
3. Контролер порівнює отримане значення з допустимим діапазоном.
4. Якщо параметр знаходиться в нормі, система продовжує моніторинг.
5. Якщо параметр перевищує допустиме значення, формується попередження.
6. При досягненні критичного значення формується аварійний сигнал.
7. Інформація записується в пам'ять системи.
8. За необхідності повідомлення передається оператору або механіку.

6. Оцінка відхилення параметра

Для оцінювання технічного стану можна визначити відносне відхилення контрольованого параметра.

Формула:

$$\delta = ((X_{\text{ф}} - X_{\text{н}}) / X_{\text{н}}) \times 100\%$$

де:

δ — відносне відхилення параметра, %;

$X_{\text{ф}}$ — фактичне значення параметра;

$X_{\text{н}}$ — номінальне значення параметра.

Приклад:

Нормальна температура гідравлічної рідини:

$X_{\text{н}} = 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Фактична температура:

$X_{\text{ф}} = 82 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Тоді:

$$\delta = ((82 - 70) / 70) \times 100 = 17,1\%.$$

Отже, температура перевищує номінальне значення приблизно на 17,1%.

Якщо виробником встановлено допустиму температуру 85 °С, машина може продовжувати роботу, але необхідно контролювати подальше підвищення температури.

7. Виявлення несправностей

Результати моніторингу можна представити у вигляді таблиці.

Параметр	Норма	Попередження	Критичне значення
Температура двигуна, °С			
Тиск мастила, МПа			
Температура гідросистеми, °С			
Вібрація, мм/с			
Оберти двигуна, об/хв			

Значення нормативних і критичних параметрів необхідно приймати відповідно до технічної документації конкретної машини.

8. Прогнозована діагностика

Сучасні системи можуть не тільки виявляти несправність, але й прогнозувати її виникнення.

Для цього аналізується зміна параметра в часі.

Наприклад, якщо температура підшипника поступово збільшується:
65 → 68 → 72 → 76 → 80 °С,
це може свідчити про погіршення його технічного стану.

Причинами можуть бути:

- недостатнє змащування;
- зношування підшипника;
- перекіс;
- збільшення навантаження;
- пошкодження деталей.

На основі накопичених даних можна прогнозувати необхідність технічного обслуговування.

9. Телематичний моніторинг

Телематична система дозволяє передавати інформацію про машину на віддалений сервер.

Оператор або механік може отримувати:

- місцезнаходження машини;
- час роботи;
- мотогодини;
- витрату палива;
- навантаження двигуна;
- повідомлення про несправності;
- необхідність технічного обслуговування.

Для сільськогосподарської техніки телематика також може використовуватися для контролю площі обробленого поля, продуктивності та режимів роботи агрегатів.

10. Завдання для самостійного виконання

Для обраної машини необхідно:

1. Визначити п'ять основних параметрів для моніторингу.
2. Вибрати відповідні датчики.
3. Скласти структурну схему системи.
4. Визначити нормальні та критичні значення параметрів.
5. Описати алгоритм діагностики.
6. Виконати розрахунок відхилення одного параметра.
7. Визначити можливу причину несправності.
8. Запропонувати спосіб її попередження.
9. Визначити можливість дистанційного моніторингу.

Результати оформити у вигляді таблиці.

№ Параметр Датчик Норма Фактичне значення Відхилення

1

2

№ Параметр Датчик Норма Фактичне значення Відхилення

3

4

5

11. Пропозиції щодо вдосконалення

Запропонувати не менше трьох заходів:

1. Встановлення додаткових датчиків.
2. Впровадження системи автоматичного аналізу даних.
3. Передача діагностичної інформації через телематичну систему.
4. Створення бази даних технічного стану машини.
5. Використання прогностичної діагностики.
6. Автоматичне формування повідомлення про необхідність технічного обслуговування.

12. Висновок

У висновку необхідно зазначити:

- яку машину було обрано;
- які параметри контролювалися;
- які датчики запропоновано;
- як працює система моніторингу;
- результати розрахунку відхилення;
- можливі несправності;
- переваги прогностичної діагностики;
- можливість дистанційного контролю;
- запропоновані заходи щодо вдосконалення системи.

Зробити висновок про доцільність використання інтелектуального моніторингу для підвищення надійності, безпеки та ефективності експлуатації спеціальної машини.

13. Контрольні питання

1. Що таке технічна діагностика?
2. Що таке інтелектуальний моніторинг?
3. Які параметри машини необхідно контролювати?
4. Які датчики використовуються для діагностики?
5. Яке призначення електронного контролера?
6. Що таке прогнозна діагностика?
7. Як виявляються відхилення параметрів?
8. Для чого використовується телематика?
9. Які переваги дистанційного моніторингу?
10. Як діагностика впливає на надійність машини?
11. Як прогнозна діагностика дозволяє зменшити простої?
12. Які параметри доцільно контролювати у сільськогосподарському тракторі?
13. Які параметри необхідно контролювати у дорожньо-будівельній машині?
14. Які перспективи розвитку інтелектуальної діагностики машин?

Практична робота № 6

РОЗРОБЛЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ АВТОНОМНОЇ СПЕЦІАЛЬНОЇ МАШИНИ

Мета заняття

Ознайомитися з принципами створення автономних спеціальних машин, навчитися формувати їх функціональну структуру, вибирати навігаційні та сенсорні системи, визначати алгоритм автономного руху та оцінювати переваги й обмеження використання безпілотної техніки.

1. Завдання практичного заняття

1. Обрати спеціальну машину для автономної роботи.
2. Визначити її призначення та робоче середовище.
3. Сформулювати основні функції автономної машини.

4. Розробити функціональну структуру системи.
5. Вибрати навігаційні та сенсорні засоби.
6. Визначити систему керування.
7. Розробити алгоритм автономного руху.
8. Передбачити систему виявлення перешкод.
9. Оцінити переваги та недоліки автономної машини.
10. Запропонувати напрями подальшого вдосконалення.

2. Теоретичні відомості

Автономна спеціальна машина — це машина, здатна виконувати визначені технологічні операції без постійного безпосереднього керування оператором.

Автономність забезпечується комплексом технічних засобів:

- супутниковою навігацією;
- датчиками положення;
- камерами;
- радарами;
- LiDAR;
- електронними контролерами;
- системами зв'язку;
- програмним забезпеченням;
- автоматизованими приводами.

Основною відмінністю автономної машини є здатність самостійно сприймати навколишнє середовище, визначати своє положення, планувати рух та формувати керуючі команди.

Загальна структура автономної машини:

Сенсори → Обробка інформації → Прийняття рішення → Керування → Виконання роботи → Контроль результату

3. Вибір об'єкта автоматизації

Для виконання роботи можна обрати одну з машин:

- 1 Автономний трактор
- 2 Роботизований трактор
- 3 Безпілотний самоскид
- 4 Автономний навантажувач
- 5 Автономний дорожній каток
- 6 Автономний бульдозер
- 7 Автономний автогрейдер
- 8 Роботизований газонокосарний агрегат
- 9 Автономний обприскувач
- 10 Автономний комбайн
- 11 Роботизована машина для ремонту доріг
- 12 Автономний транспортний засіб будівельного майданчика

Необхідно обґрунтувати вибір машини та визначити, яку технологічну операцію вона повинна виконувати.

4. Функції автономної машини

Для обраної машини необхідно визначити основні функції.

До них можуть належати:

- автоматичний запуск і зупинка;
- визначення координат;
- автоматичне водіння;
- планування маршруту;
- виявлення перешкод;
- об'їзд перешкод;
- контроль робочого обладнання;
- контроль швидкості;
- контроль технічного стану;
- передача інформації оператору.

Для сільськогосподарської машини додатково:

- автоматичне водіння по заданій траєкторії;
- контроль ширини захвату;
- автоматичне керування секціями;
- контроль норми висіву;
- контроль внесення добрив;
- визначення меж поля.

Для дорожньо-будівельної машини:

- автоматичне дотримання маршруту;
- контроль положення робочого органа;
- визначення меж робочої зони;
- контроль технологічного процесу;
- виявлення людей та техніки в робочій зоні.

5. Система сприйняття навколишнього середовища

Для автономної машини необхідно забезпечити отримання інформації про навколишнє середовище.

Основними засобами є:

GNSS-приймач — визначення координат машини.

Камери — виявлення людей, транспортних засобів, перешкод та об'єктів.

Радар — визначення відстані до об'єктів.

LiDAR — формування тривимірної карти навколишнього середовища.

Датчики швидкості та положення — контроль руху машини.

Результати роботи датчиків надходять до центрального контролера.

6. Структура системи автономної машини

Необхідно розробити структурну схему.

Рекомендований варіант:

GNSS + камери + радар + LiDAR + датчики машини

↓

Блок обробки інформації

↓

Контролер автономного керування

↓

Система керування рухом

↓

Рульове керування + трансмісія + робоче обладнання

↓

Автономна машина

Оператор повинен мати можливість контролювати роботу системи та у разі необхідності перевести машину в безпечний режим.

7. Алгоритм автономного руху

Алгоритм роботи може складатися з таких етапів:

1. Система запускає самодіагностику.
2. Визначається положення машини.
3. Завантажується заданий маршрут.
4. Сенсори аналізують навколишнє середовище.
5. Визначаються можливі перешкоди.
6. Система визначає безпечну траєкторію руху.
7. Контролер формує команди керування.
8. Машина рухається за заданою траєкторією.
9. Постійно контролюється положення та швидкість.
10. У разі виникнення небезпеки машина зупиняється або переходить у безпечний режим.

8. Система безпеки

Безпека є одним із основних елементів автономної машини.

Необхідно передбачити:

- аварійну зупинку;
- контроль справності датчиків;
- дублювання критичних сигналів;

- контроль швидкості;
- виявлення перешкод;
- контроль робочої зони;
- зв'язок з оператором;
- ручний режим керування.

У разі втрати навігаційного сигналу або несправності критичного датчика машина повинна перейти у безпечний стан.

9. Оцінка точності руху

Для оцінювання точності автономного руху можна визначити середнє відхилення від заданої траєкторії.

Формула:

$$\Delta_{\text{сер}} = (\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \dots + \Delta_n) / n$$

де:

$\Delta_{\text{сер}}$ — середнє відхилення, м;

$\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3$ — окремі виміряні відхилення;

n — кількість вимірювань.

Приклад:

Отримано п'ять значень відхилення:

0,04; 0,06; 0,05; 0,03; 0,07 м.

Тоді:

$$\Delta_{\text{сер}} = (0,04 + 0,06 + 0,05 + 0,03 + 0,07) / 5$$

$$\Delta_{\text{сер}} = 0,05 \text{ м.}$$

Середнє відхилення становить 5 см.

10. Оцінка переваг і недоліків

Переваги	Недоліки
Зменшення впливу людського фактора	Висока вартість системи
Підвищення точності роботи	Складність програмного забезпечення
Можливість роботи тривалий час	Необхідність технічного обслуговування

Переваги	Недоліки
Підвищення продуктивності	Залежність від датчиків
Підвищення безпеки	Необхідність резервних систем
Зменшення витрат палива	Залежність від навігаційних сигналів

11. Завдання для самостійного виконання

Для обраної машини необхідно:

1. Визначити технологічну операцію.
2. Описати робоче середовище.
3. Визначити не менше п'яти функцій автономної машини.
4. Вибрати навігаційні системи.
5. Вибрати не менше чотирьох типів датчиків.
6. Розробити структурну схему.
7. Описати алгоритм автономного руху.
8. Передбачити систему аварійної зупинки.
9. Визначити можливе відхилення від заданої траєкторії.
10. Запропонувати три напрями вдосконалення.

12. Порівняння з традиційною машиною

Показник	Традиційна машина	Автономна машина
Керування	Оператор	Автоматичне
Навігація	Візуальна	GNSS/RTK
Контроль перешкод	Оператор	Датчики
Діагностика	Періодична	Постійна
Точність руху	Залежить від оператора	Автоматизована
Передача даних	Обмежена	Телематика
Режим роботи	Ручний	Автономний/ручний

13. Висновок

У висновку необхідно зазначити:

- яку машину було обрано;
- яку технологічну операцію вона виконує;
- які функції автономності передбачені;
- які датчики та навігаційні системи використовуються;
- як здійснюється керування;
- як забезпечується безпека;
- яку точність руху може забезпечити система;
- основні переваги та недоліки;
- перспективи подальшої роботизації.

Зробити висновок щодо доцільності застосування автономної машини в дорожньому будівництві або сільському господарстві.

14. Контрольні питання

1. Що таке автономна спеціальна машина?
2. Які основні елементи автономної системи?
3. Яке призначення GNSS?
4. Для чого використовується RTK?
5. Яке призначення камер?
6. Для чого використовується радар?
7. Що таке LiDAR?
8. Як система визначає перешкоди?
9. Яку функцію виконує контролер?
10. Як здійснюється автоматичне водіння?
11. Які системи безпеки необхідні автономній машині?
12. Які переваги автономних машин?
13. Які недоліки автономної техніки?
14. Де доцільно застосовувати автономні сільськогосподарські машини?
15. Де доцільно застосовувати автономні дорожньо-будівельні машини?

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТРАДИЦІЙНОЇ, ГІБРИДНОЇ ТА ЕЛЕКТРИЧНОЇ СПЕЦІАЛЬНОЇ МАШИНИ

Мета заняття

Ознайомитися з особливостями традиційних, гібридних та електричних силових установок спеціальних машин, провести їх порівняльний аналіз за технічними, енергетичними, економічними та екологічними показниками і визначити доцільність використання різних типів приводів для дорожньо-будівельної та сільськогосподарської техніки.

1. Завдання практичного заняття

1. Обрати спеціальну машину та визначити три можливі типи силової установки.
2. Розглянути традиційний дизельний привод.
3. Розглянути гібридний привод.
4. Розглянути електричний привод.
5. Визначити основні переваги та недоліки кожного варіанта.
6. Порівняти енергетичні характеристики.
7. Розрахувати витрати енергії.
8. Оцінити експлуатаційні витрати.
9. Визначити екологічні характеристики.
10. Обґрунтувати найбільш доцільний варіант.

2. Теоретичні відомості

Силова установка є одним із основних елементів спеціальної машини. Від її конструкції залежать потужність, продуктивність, витрата енергії, рівень шуму, екологічність та експлуатаційні витрати.

У сучасному машинобудуванні використовуються три основні варіанти силових установок:

Традиційна силова установка — двигун внутрішнього згоряння, переважно дизельний.

Гібридна силова установка — поєднання двигуна внутрішнього згоряння та електричної системи.

Електрична силова установка — електродвигун або декілька електродвигунів, що живляться від акумуляторної батареї.

Кожен тип має свою область раціонального застосування.

3. Традиційна силова установка

У традиційній машині основним джерелом енергії є дизельний двигун. Енергія палива перетворюється на механічну енергію, яка передається через трансмісію до ходової системи та робочого обладнання.

Переваги:

- висока енергетична автономність;
- швидке заправлення;
- значний запас ходу;
- добре розвинена інфраструктура обслуговування;
- можливість роботи у важких умовах;
- велика кількість серійних машин.

Недоліки:

- викиди відпрацьованих газів;
- шум;
- вібрація;
- складна система двигуна;
- витрата палива;
- необхідність регулярного технічного обслуговування.

Дизельні двигуни залишаються ефективними для важких будівельних і сільськогосподарських машин, які працюють тривалий час при значному навантаженні.

4. Гібридна силова установка

Гібридна машина використовує одночасно двигун внутрішнього згоряння та електричну систему.

Типова структура:

Дизельний двигун → Генератор → Акумулятор → Інвертор → Електродвигун → Робочий орган або трансмісія

Акумулятор може заряджатися під час роботи двигуна або під час рекуперації енергії.

Рекуперація полягає у поверненні частини енергії, яка в традиційній машині втрачається, наприклад під час гальмування.

Переваги:

- зменшення витрати палива;
- підвищення ефективності двигуна;
- можливість накопичення енергії;
- рекуперація;
- зменшення викидів;
- можливість використання електричного привода робочого обладнання.

Недоліки:

- складніша конструкція;
- більша маса;
- висока початкова вартість;
- наявність акумуляторної батареї;
- складніше технічне обслуговування.

5. Електрична силова установка

В електричній машині основним джерелом енергії є акумуляторна батарея.

Електрична енергія через силову електроніку передається до електродвигунів.

Основними компонентами є:

- акумуляторна батарея;

- система керування батареєю;
- інвертор;
- електродвигун;
- редуктор;
- зарядний пристрій;
- система теплового керування.

Переваги:

- відсутність локальних викидів під час роботи;
- низький рівень шуму;
- високий ККД електродвигуна;
- висока керованість;
- менша кількість механічних деталей;
- можливість рекуперації;
- низькі витрати на технічне обслуговування.

Недоліки:

- обмежений запас енергії батареї;
- тривалий час заряджання;
- висока вартість акумуляторів;
- залежність від зарядної інфраструктури;
- зниження ефективності при несприятливих температурних умовах.

6. Порівняльний аналіз

Основні характеристики можна порівняти за таблицею.

Показник	Дизельна	Гібридна	Електрична
Джерело енергії	Дизпаливо	Паливо + батарея	Акумулятор
ККД силового привода	Середній	Вищий	Високий
Шум	Високий	Середній	Низький
Вібрація	Висока	Нижча	Низька
Локальні викиди	Є	Є	Немає

Показник	Дизельна	Гібридна	Електрична
Заправлення/заряджання	Швидке	Швидке	Триваліше
Автономність	Висока	Висока	Залежить від батареї
Конструкція	Традиційна	Складна	Інша, електрична
Технічне обслуговування	Значне	Середнє	Відносно невелике
Вартість	Нижча	Вища	Вища

7. Розрахунок енергетичних витрат

Для дизельної машини енергетичні витрати можна оцінити за кількістю спожитого палива.

Формула:

$$E_d = G \times T \times q$$

де:

E_d — енергія палива, МДж;

G — витрата палива, кг/год;

T — час роботи, год;

q — нижча теплота згоряння палива, МДж/кг.

Для дизельного палива можна прийняти:

$$q \approx 42\text{--}43 \text{ МДж/кг.}$$

Приклад

Витрата дизельного палива:

$$G = 15 \text{ кг/год.}$$

Час роботи:

$$T = 8 \text{ год.}$$

Приймаємо:

$$q = 42,5 \text{ МДж/кг.}$$

Тоді:

$$E_d = 15 \times 8 \times 42,5 = 5100 \text{ МДж.}$$

Отже, за зміну машина споживає приблизно 5100 МДж хімічної енергії палива.

8. Розрахунок витрат електричної машини

Для електричної машини енергоспоживання визначається:

$$E_e = P \times T$$

де:

E_e — спожита електрична енергія, кВт·год;

P — середня потужність електропривода, кВт;

T — тривалість роботи, год.

Приклад:

Середня потужність:

$$P = 50 \text{ кВт.}$$

Час роботи:

$$T = 8 \text{ год.}$$

Тоді:

$$E_e = 50 \times 8 = 400 \text{ кВт·год.}$$

Отже, для виконання роботи протягом 8 годин необхідно приблизно 400 кВт·год електричної енергії.

9. Аналіз експлуатаційних витрат

Загальні експлуатаційні витрати можна оцінити за формулою:

$$C = C_{\text{ен}} + C_{\text{то}} + C_{\text{рем}}$$

де:

C — загальні експлуатаційні витрати;

$C_{\text{ен}}$ — витрати на енергію;

$C_{\text{то}}$ — витрати на технічне обслуговування;

$C_{\text{рем}}$ — витрати на ремонт.

Для електричних машин витрати на технічне обслуговування можуть бути нижчими через меншу кількість механічних вузлів.

Однак необхідно враховувати вартість акумуляторної батареї та її можливу заміну.

10. Застосування в дорожньо-будівельній техніці

Для дорожнього будівництва електричні та гібридні приводи особливо перспективні для машин, які:

- працюють у містах;
- часто зупиняються та починають рух;
- працюють поблизу житлової забудови;
- мають змінне навантаження;
- потребують низького рівня шуму.

До таких машин належать:

- дорожні катки;
- міні-навантажувачі;
- компактні екскаватори;
- навантажувачі;
- машини для прибирання територій.

Для важкої техніки, яка працює далеко від зарядної інфраструктури, дизельний або гібридний привод на сучасному етапі може бути практичнішим.

11. Застосування в сільськогосподарській техніці

У сільському господарстві перспективними є:

- електричні трактори малої та середньої потужності;
- автономні роботизовані агрегати;
- електричні навантажувачі;
- роботизовані обприскувачі;
- електричні кормороздавачі;
- гібридні трактори.

Електрифікація особливо ефективна для машин, які працюють за повторюваними маршрутами та можуть заряджатися в перервах між технологічними операціями.

12. Завдання для самостійної роботи

Для обраної спеціальної машини необхідно:

1. Визначити традиційний варіант силової установки.
2. Запропонувати гібридний варіант.
3. Запропонувати електричний варіант.
4. Порівняти їх за потужністю.
5. Порівняти витрати енергії.
6. Визначити переваги та недоліки.
7. Оцінити екологічність.
8. Визначити орієнтовні експлуатаційні витрати.
9. Визначити можливість застосування рекуперації.
10. Обґрунтувати найбільш доцільний варіант.

Результати занести до таблиці:

Показник	Традиційна	Гібридна	Електрична
Потужність, кВт			
Маса, т			
Енерговитрати			
Витрати на обслуговування			
Запас ходу/час роботи			
Екологічність			
Вартість			
Загальна оцінка			

13. Висновок

У висновку необхідно визначити, який тип силової установки є найбільш доцільним для обраної машини.

Необхідно врахувати не тільки витрати енергії, а й:

- потужність;
- продуктивність;

- тривалість роботи;
- умови експлуатації;
- доступність зарядної інфраструктури;
- вартість машини;
- технічне обслуговування;
- екологічні вимоги.

Для міської та компактної спеціальної техніки перспективним може бути електричний привод. Для машин із великим навантаженням та тривалим автономним режимом роботи доцільним може залишатися дизельний або гібридний привод.

14. Контрольні питання

1. Які основні типи силових установок використовуються в сучасних спеціальних машинах?
2. Які переваги має дизельний двигун?
3. Які недоліки традиційного силового привода?
4. Що таке гібридна силова установка?
5. Що таке рекуперація енергії?
6. Які основні елементи електричної силової установки?
7. Які переваги електричного привода?
8. Які недоліки електричних машин?
9. Як визначається споживання електричної енергії?
10. Як оцінюється енергія, отримана з палива?
11. Для яких дорожньо-будівельних машин найбільш доцільний електричний привод?
12. Для яких сільськогосподарських машин перспективна електрифікація?
13. У яких випадках доцільно використовувати гібридну силову установку?
14. Як тип силової установки впливає на екологічність машини?
15. Які перспективи розвитку електричних і гібридних спеціальних машин?

Практичне заняття № 8

РОЗРОБЛЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ СУЧАСНОЇ УКРАЇНСЬКОЇ МАШИНИ ІНФРАСТРУКТУРНОГО КОМПЛЕКСУ

Мета заняття

Сформувати у студентів комплексне бачення сучасної спеціальної машини, орієнтованої на потреби України, навчитися визначати її призначення, основні технічні характеристики, силову установку, робоче обладнання, інтелектуальні системи, навігацію, діагностику та вимоги до енергоефективності.

1. Завдання практичного заняття

Розробити концепцію сучасної української машини інфраструктурного комплексу, яка може використовуватися для:

- будівництва та ремонту доріг;
- відновлення інфраструктури;
- комунального господарства;
- будівництва;
- сільського господарства;
- обслуговування територій;
- ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Необхідно:

1. Визначити призначення машини.
2. Обґрунтувати необхідність її створення.
3. Визначити основні технічні характеристики.
4. Обрати силову установку.
5. Визначити робоче обладнання.
6. Передбачити інтелектуальну систему керування.

7. Розробити систему супутникової навігації.
8. Передбачити систему технічної діагностики.
9. Визначити заходи щодо підвищення енергоефективності.
10. Оцінити перспективність машини для України.

2. Особливості сучасної машини для України

Сучасна українська машина інфраструктурного комплексу повинна враховувати специфіку експлуатації в Україні.

До основних вимог належать:

- висока надійність;
- ремонтопридатність;
- універсальність;
- можливість роботи у складних дорожніх умовах;
- доступність запасних частин;
- використання вітчизняних комплектуючих;
- економне споживання палива або електроенергії;
- цифровий контроль технічного стану;
- можливість дистанційного моніторингу;
- простота обслуговування.

Особливо важливою є універсальність машини, коли одна базова машина може використовувати декілька видів змінного обладнання.

3. Вибір типу машини

Студент може запропонувати один із таких варіантів:

Варіант	Концепція машини
1	Універсальна дорожньо-будівельна машина
2	Багатофункціональний дорожній навантажувач

- 3 Машина для ремонту та утримання доріг
- 4 Компактний український екскаватор
- 5 Роботизований дорожній каток
- 6 Універсальний трактор для інфраструктурних робіт
- 7 Машина для зимового утримання доріг
- 8 Електрична комунальна машина
- 9 Гібридна будівельна машина
- 10 Автономна машина для дорожнього будівництва

Допускається запропонувати власний тип машини.

4. Призначення машини

Необхідно сформулювати призначення машини.

Наприклад:

«Універсальна українська машина призначена для виконання комплексу робіт з ремонту, будівництва та експлуатаційного утримання автомобільних доріг, благоустрою територій та виконання допоміжних будівельних робіт».

Після цього необхідно визначити перелік основних операцій:

- планування ґрунту;
- навантаження матеріалів;
- транспортування;
- очищення території;
- фрезерування;
- ущільнення;
- прибирання;
- розподілення матеріалів.

5. Основні технічні характеристики

Необхідно визначити основні параметри машини.

Показник	Проектне значення
Експлуатаційна маса, т	
Потужність, кВт	
Максимальна швидкість, км/год	
Робоча швидкість, км/год	
Продуктивність	
Вантажопідйомність, т	
Робоча ширина, м	
Дорожній просвіт, мм	
Ємність паливного бака, л	
Ємність акумуляторної батареї, кВт·год	

Значення вибираються студентом залежно від призначення машини.

6. Вибір силової установки

Для сучасної української машини можна розглянути три варіанти:

1. дизельний привод;
2. гібридний привод;
3. електричний привод.

Вибір необхідно обґрунтувати з урахуванням:

- потужності;
- тривалості роботи;
- навантаження;
- умов експлуатації;
- вартості;

- доступності палива або електроенергії;
- ремонтпридатності.

Для важкої універсальної машини доцільним може бути дизельний або гібридний привод.

Для компактної міської машини перспективним є електричний привод.

7. Робоче обладнання

Однією з основних вимог до сучасної машини є універсальність.

Для цього передбачається швидкозмінне робоче обладнання.

Можуть використовуватися:

- ківш;
- відвал;
- щітка;
- фреза;
- гідромолот;
- бурове обладнання;
- снігоочисний відвал;
- розподільник матеріалів;
- косарка;
- навантажувальні вила.

Заміна робочого обладнання повинна здійснюватися максимально швидко.

8. Інтелектуальна система керування

Машина повинна мати електронну систему керування.

Основні функції:

- контроль двигуна;
- контроль трансмісії;

- контроль гідросистеми;
- контроль робочого обладнання;
- автоматичне регулювання режимів роботи;
- контроль витрати палива;
- діагностика несправностей;
- передача інформації оператору.

Структура системи:

Датчики → Контролер → Аналіз інформації → Виконавчі механізми →
Робочий процес

9. Супутникова навігація

Для машини необхідно передбачити GNSS-навігацію.

Система повинна забезпечувати:

- визначення координат;
- визначення швидкості;
- контроль маршруту;
- запис траєкторії;
- контроль робочої зони;
- дистанційний моніторинг.

Для високоточної роботи може передбачатися RTK-корекція.

Наприклад, GNSS/RTK може використовуватися для:

- планування поверхні;
- автоматичного водіння;
- контролю положення робочого органа;
- точного виконання дорожніх робіт.

10. Інтелектуальна діагностика

Необхідно передбачити систему контролю технічного стану.

Контролюються:

- температура двигуна;
- тиск мастила;
- температура гідравлічної рідини;
- тиск у гідросистемі;
- частота обертання;
- вібрація;
- витрата палива;
- напруга акумуляторної системи.

При виході параметра за допустимі межі оператор отримує попередження.

11. Енергоефективність

Для підвищення енергоефективності необхідно передбачити:

- автоматичне регулювання потужності;
- оптимізацію режиму роботи двигуна;
- автоматичне зниження обертів під час простою;
- рекуперацію енергії;
- енергоефективну гідравліку;
- електричний привод окремих механізмів.

Ефективність використання енергії можна оцінити за питомими енерговитратами:

$$e = E / Q$$

де:

e — питомі енерговитрати;

E — загальні енергетичні витрати;

Q — обсяг виконаної роботи.

Чим менше значення e , тим ефективніше машина використовує енергію.

12. Безпека машини

Сучасна машина повинна мати систему активної та пасивної безпеки.

Передбачається:

- аварійна зупинка;
- камери кругового огляду;
- датчики перешкод;
- радар;
- автоматичне обмеження швидкості;
- контроль робочої зони;
- попередження оператора;
- автоматичне вимкнення небезпечного обладнання.

Для автономної машини система безпеки повинна мати підвищений рівень надійності.

13. Цифровий моніторинг

Машина повинна мати можливість передавати інформацію через телематичну систему.

На диспетчерський пункт можуть передаватися:

- координати;
- швидкість;
- час роботи;

- мотогодини;
- витрата палива;
- рівень заряду батареї;
- технічний стан;
- повідомлення про несправності.

Це дозволяє створити цифровий паспорт машини та контролювати її експлуатацію.

14. Порівняння із традиційною машиною

Показник	Традиційна машина	Запропонована машина
Навігація	Ручна	GNSS/RTK
Діагностика	Періодична	Постійна
Керування	Механічне/гідравлічне	Електронне
Моніторинг	Обмежений	Телематичний
Робоче обладнання	Обмежене	Швидкозмінне
Енергоефективність	Стандартна	Оптимізована
Автоматизація	Низька	Висока
Контроль безпеки	Оператор	Оператор + електронні системи

15. Оцінка інноваційності

Для оцінки концепції можна використати бальну систему.

Показник	1 бал	3 бали	5 балів
Автоматизація	Низька	Середня	Висока
Енергоефективність	Низька	Середня	Висока
Цифровізація	Низька	Середня	Висока
Надійність	Низька	Середня	Висока

Показник	1 бал	3 бали	5 балів
Універсальність	Низька	Середня	Висока
Ремонтопридатність	Низька	Середня	Висока
Екологічність	Низька	Середня	Висока

Максимальна оцінка:

$$B_{\max} = 7 \times 5 = 35 \text{ балів.}$$

Якщо запропонована машина отримала, наприклад, 29 балів, її рівень інноваційності можна оцінити як високий.

16. Завдання для самостійного виконання

Розробити власну концепцію сучасної української машини.

Необхідно:

1. Дати назву машині.
2. Визначити її призначення.
3. Описати основні технологічні операції.
4. Визначити основні технічні характеристики.
5. Обрати тип силової установки.
6. Визначити робоче обладнання.
7. Розробити структуру інтелектуальної системи керування.
8. Вибрати навігаційну систему.
9. Передбачити систему технічної діагностики.
10. Передбачити систему телематичного моніторингу.
11. Запропонувати заходи щодо підвищення енергоефективності.
12. Передбачити системи безпеки.
13. Порівняти машину з традиційним аналогом.
14. Оцінити інноваційність розробки.
15. Обґрунтувати перспективність виробництва машини в Україні.

17. Графічна частина

До практичної роботи бажано виконати ескіз запропонованої машини.

На схемі показати:

- двигун або електричну силову установку;
- трансмісію;
- робоче обладнання;
- кабіну оператора;
- GNSS-антену;
- датчики;
- акумуляторну батарею;
- електронний контролер;
- гідравлічну систему.

Окремо показати структурну схему:

GNSS + датчики + камери → Контролер → Система керування → Виконавчі механізми → Машина

18. Висновок

У висновку необхідно обґрунтувати доцільність створення запропонованої машини для українських умов.

Необхідно зазначити:

- основне призначення машини;
- її ключові технічні характеристики;
- тип силової установки;
- рівень автоматизації;
- використання GNSS/RTK;
- систему технічної діагностики;
- рівень енергоефективності;

- універсальність робочого обладнання;
- переваги порівняно з традиційними машинами;
- можливість виробництва та обслуговування в Україні.

Основною перевагою запропонованої концепції має бути поєднання надійності, універсальності, енергоефективності, цифровізації та ремонтпридатності.

19. Контрольні питання

1. Які вимоги висуваються до сучасної української спеціальної машини?
2. Що таке універсальна спеціальна машина?
3. Які типи силових установок можна застосовувати?
4. Які переваги має гібридний привод?
5. Для чого використовується GNSS?
6. Яке призначення RTK?
7. Які функції виконує інтелектуальна система керування?
8. Які параметри контролюються системою технічної діагностики?
9. Що таке телематичний моніторинг?
10. Як підвищити енергоефективність машини?
11. Які системи безпеки необхідно передбачити?
12. Що таке швидкозмінне робоче обладнання?
13. Які переваги цифровізації спеціальної техніки?
14. Які машини доцільно електрифікувати?
15. Які перспективи створення сучасної спеціальної техніки в Україні?

9. Рекомендована література та джерела

Основна література

1. Баладінський В. Л., Назаренко І. І., Ігнатенко Є. І. Будівельна техніка : підручник. Київ : КНУБА, 2002. 367 с.
2. Назаренко І. І. Машини для виробництва будівельних матеріалів : підручник. Київ : КНУБА, 1999. 488 с.
3. Назаренко І. І., Баладінський В. Л. Прикладна механіка будівельних машин : підручник. Київ : КНУБА, 2000. 256 с.
4. Сідашенко О. І., Тихонов О. В., Науменко А. О. та ін. Ремонт машин та обладнання : підручник / за ред. О. І. Сідашенка. 2-ге вид., перероб. і допов. Київ : Агроосвіта, 2014. 665 с.
5. Козаченко О. В., Пташник В. В., Кюрчев В. М. та ін. Технічний сервіс машин : навчальний посібник. Харків : Факт, 2013. 560 с.
6. Кравченко В. М., Кузнецов В. О. Теорія і конструкція автомобільних кранів : навчальний посібник. Київ : НТУ, 2006. 320 с.

Сучасні технології, цифровізація та Industry 4.0

7. Gilchrist A. Industry 4.0: The Industrial Internet of Things. Berkeley, CA : Apress, 2016. 250 p.
8. Lasi H., Fettke P., Kemper H.-G., Feld T., Hoffmann M. Industry 4.0. Business & Information Systems Engineering. 2014. Vol. 6. P. 239–242. DOI: 10.1007/s12599-014-0334-4.
9. Kagermann H., Wahlster W., Helbig J. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group. Frankfurt am Main : acatech, 2013. 82 p.
10. Lee J., Bagheri B., Kao H.-A. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. Manufacturing Letters. 2015. Vol. 3. P. 18–23. DOI: 10.1016/j.mfglet.2014.12.001.

11. Tao F., Qi Q., Wang L., Nee A. Y. C. Digital Twins and Cyber–Physical Systems toward Smart Manufacturing and Industry 4.0: Correlation and Comparison. Engineering. 2019. Vol. 5, No. 4. P. 653–661. DOI: 10.1016/j.eng.2019.01.014.

Автоматизація, роботизація та автономні машини

12. Siciliano B., Khatib O. (eds.). Springer Handbook of Robotics. 2nd ed. Cham : Springer, 2016. 2227 p. DOI: 10.1007/978-3-319-32552-1.
13. Siegwart R., Nourbakhsh I. R., Scaramuzza D. Introduction to Autonomous Mobile Robots. 2nd ed. Cambridge, MA : MIT Press, 2011. 472 p.
14. Thrun S., Burgard W., Fox D. Probabilistic Robotics. Cambridge, MA : MIT Press, 2005. 647 p.
15. Rajamani R. Vehicle Dynamics and Control. 2nd ed. New York : Springer, 2012. 496 p.

Електрифікація та енергоефективність

16. Ehsani M., Gao Y., Longo S., Ebrahimi K. Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design. 3rd ed. Boca Raton : CRC Press, 2018. 563 p.
17. Husain I. Electric and Hybrid Vehicles: Design Fundamentals. 2nd ed. Boca Raton : CRC Press, 2011. 321 p.
18. Larminie J., Lowry J. Electric Vehicle Technology Explained. 2nd ed. Chichester : John Wiley & Sons, 2012. 296 p.

Нормативні документи та стандарти

19. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 16 с.
20. ISO 9001:2015. Quality management systems — Requirements. Geneva : International Organization for Standardization, 2015.

- 21.ISO 12100:2010. Safety of machinery — General principles for design — Risk assessment and risk reduction. Geneva : International Organization for Standardization, 2010.
- 22.ISO 18497:2018. Agricultural machinery and tractors — Safety of highly automated agricultural machines — Principles for design. Geneva : International Organization for Standardization, 2018.
- 23.ISO 25119-1:2018. Tractors and machinery for agriculture and forestry — Safety-related parts of control systems — Part 1: General principles for design and development. Geneva : International Organization for Standardization, 2018.
- 24.ISO 50001:2018. Energy management systems — Requirements with guidance for use. Geneva : International Organization for Standardization, 2018.

Електронні ресурси

- 25.Міністерство освіти і науки України : офіційний вебсайт. URL: <https://mon.gov.ua/> (дата звернення: 31.08.2026).
- 26.International Organization for Standardization : official website. URL: <https://www.iso.org/> (дата звернення: 31.08.2026).
- 27.SAE International : official website. URL: <https://www.sae.org/> (дата звернення: 31.08.2026).
- 28.IEEE Xplore Digital Library : official website. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/> (дата звернення: 31.08.2026).
- 29.ScienceDirect : scientific database. URL: <https://www.sciencedirect.com/> (дата звернення: 31.08.2026).
- 30.SpringerLink : scientific database. URL: <https://link.springer.com/> (дата звернення: 31.08.2026).

Зміст

Вступ	3
1. Практичне заняття № 1. Аналіз конструкції та технічних характеристик сучасної дорожньо-будівельної та сільськогосподарської техніки	5
2. Практичне заняття № 2. Розрахунок енергоефективності спеціальної машини	14
3. Практичне заняття № 3. Вибір та аналіз інтелектуальної системи керування машиною	21
4. Практичне заняття № 4. Розроблення системи супутникової навігації для спеціальної машини	27
5. Практичне заняття № 5. Інтелектуальний моніторинг і технічна діагностика машин	34
6. Практичне заняття № 6. Розроблення концепції автономної спеціальної машини	41
7. Практичне заняття № 7. Порівняльний аналіз традиційної, гібридної та електричної спеціальної машини	49
8. Практичне заняття № 8 Розроблення концепції сучасної української машини інфраструктурного комплексу	58
9. Рекомендована література та джерела	70