

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

Кафедра тракторів та сільськогосподарських машин, експлуатації і
технічного сервісу

**НОВІТНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ ЗАСОБИ І СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ
МАШИНИ:**

методичні рекомендації

для виконання практичних робіт для здобувачів вищої освіти освітнього
ступеня «Магістр» спеціальності 208 «Агроінженерія» денної та заочної
форми навчання

Миколаїв 2020

УДК 620.91+631.3

Н73

Друкується за рішенням науково-методичної комісії інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету від 05.05.2020 р., протокол № 9.

Укладачі:

В. І. Гавриш д-р екон. наук, професор, завідуючий кафедри тракторів та сільськогосподарських машин, експлуатації та технічного сервісу, Миколаївський національний аграрний університет.

Рецензенти:

Чередниченко О. В. – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри Експлуатації суднових енергетичних установок та теплоенергетики, Машинобудівний навчально-науковий інститут, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова;

Атаманюк І.П. - д-р. техн. наук, професор, завідувач кафедри вищої та прикладної математики, Миколаївський національний аграрний університет.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| Вступ..... | 4 |
| Робота №1. Технічний рівень тракторів | 5 |
| Робота №2. Визначення оптимальної експлуатаційної ваги трактора | 6 |
| Робота №3. Порівняння моторних палив | 8 |
| Робота №4. Визначення техніко-економічних показників машинно-тракторного агрегату | 10 |
| Робота №5. Визначення техніко-економічних показників машино-тракторного агрегату у випадку використання газоподібного палива | 12 |
| Робота №6. Застосування системи утилізації тепла для прогріву масла трансмісії | 13 |
| Приклад виконання робіт | 15 |
| Додатки | 40 |
| Література | 61 |

Вступ

Методичні рекомендації складені, відповідно до програми курсу «Новітні енергетичні засоби та сільськогосподарські машини» для сільськогосподарських вищих навчальних закладів за спеціальністю 208 «Агроінженерія».

Робота оформляється відповідно до єдиної системи конструкторської документації (ЕСКД) ДСТ 2.105-68 і ГОСТ 2.106-68.

При виконанні роботи кожен студент одержує індивідуальне завдання від викладача-керівника. Номер варіанту відповідає порядковому номеру у журналі академічної групи. При виконанні роботи студент обґрунтовує вихідні дані для розрахунку користаючись методичними вказівками, інструкціями та технічними характеристиками прототипу, а також іншими довідковими матеріалами.

Необхідно звернути особливу увагу на наступне:

- при виборі параметрів варто обґрунтувати їх значення з посиланнями на літературні джерела;
- рівняння спочатку необхідно записувати в буквенному виді, а потім підставляти числові значення. Варто дотримуватися стандартних позначень величин, з обов'язковим написанням їх розмірностей у системі СІ;
- записку оформлюємо на одній стороні стандартного листа формату 11(A4) (210×297);

Мета дисципліни – сприяти засвоєнню матеріалу по теорії розвитку мобільних енергетичних засобів і придбання навичок в аналізі техніки.

Робота виконується з урахуванням оцінюванням за кредитно-модульною системою навчання.

Робота №1

Тема: технічний рівень тракторів.

Мета: оволодіння методикою порівняння сільськогосподарських тракторів.

Порядок виконання роботи. Порівняти трактори за такими показниками.

- Енергонасиченість;
- Питома витрата палива;
- Запас крутного моменту двигуна;
- радіус повороту;
- швидкість руху;

Вихідні данні:

| Варіант | Трактор №1 | Трактор №2 |
|---------|---------------------|---------------------|
| 1. | ХТЗ-3512 | Беларус -422 |
| 2. | ХТЗ-3512 | LS XR50 |
| 3. | Беларус -422 | LS XR50 |
| 4. | ХТЗ-3512 | МТЗ-320.4М |
| 5. | МТЗ-320.4М | LS XR50 |
| 6. | МТЗ-82 | LS PLUS 70 |
| 7. | МТЗ-82 | New Holland TD 5.65 |
| 8. | МТЗ-82 | Беларус -920.6 |
| 9. | LS PLUS 70 | New Holland TD 5.65 |
| 10. | New Holland TD 5.65 | Беларус -920.6 |
| 11. | Беларус -920.6 | LS PLUS 90 |
| 12. | Беларус -1221.2 | John Deere 6110M |
| 13. | Беларус -1022.4 | LS1004 |
| 14. | Беларус -920.6 | LS V804 |
| 15. | Беларус -1525.5 | ХТЗ-150К09.172.00 |
| 16. | Беларус -2022.6 | John Deere 7330 |
| 17. | John Deere 8260R | ХТА-250-13 |

| | | |
|-----|-------------------|------------------|
| 18. | John Deere 7250R | ХТА-220-2 |
| 19. | Беларус 3022ДБ | John Deere 7250R |
| 20. | ХТЗ-150К09.172.00 | Беларус-2022.6 |
| 21. | ХТЗ-241К.20 | Беларус-2022.6 |
| 22. | ХТЗ-242К.20 | Беларус-2022.6 |
| 23. | ХТЗ-243К.20 | Беларус-2022.26 |
| 24. | John Deere 6170М | Беларус 1525.5 |
| 25. | ХТЗ-248 К.20 | Fendt 930 |
| 26. | ХТЗ-16131 | John Deere 6170М |
| 27. | Vakula-300.10 | Беларус-3022ДЦ.1 |
| 28. | Vakula-300.12 | Fendt 936 |
| 29. | John Deere 6150М | Беларус-1525.5 |

Питання для контролю:

1. Мінімальний радіус повороту. Схема та визначення.
2. Запас крутного моменту дизельного двигуна: визначення.

Двигун постійної потужності.

3. Дати визначення терміну «енергонасиченість».
4. Визначення питомої витрати палива.
5. Зв'язок між питомою витратою палива та ККД двигуна.

6. Як змінюється питома витрата палива від навантаження двигуна?

Робота №2

Тема: Визначення оптимальної експлуатаційної ваги трактора.

Мета: вивчити вплив агрофону та робочої швидкості на вагові показники трактора.

Визначити експлуатаційну вагу трактора при виконанні наступних технологічних операцій:

- Лущення стерні (агрофон – стерня колосових), робоча швидкість МТА – 12 км/год;

- транспортування (агрофон – укочена снігова дорога), робоча швидкість – 25 км/год;
- Сівба (агрофон – поле підготоване під посів), робоча швидкість – 7,2 км/год.

Порядок виконання роботи.

1. Визначити швидкість руху, згідно до агротехнічних вимог.
2. Визначити значення коефіцієнтів опору кочення та зчеплення.
3. Розрахувати оптимальне відношення потужності двигуна до маси трактора.
4. Визначити оптимальну експлуатаційну масу трактора. Розрахувати масу баласту (за необхідності).

У розрахунках прийняти наступні технічні показники:

- ККД трансмісії – 0,92;
- Емпіричний коефіцієнт для тракторів колісної формули 4К4 $a = 0,2$.

Значення коефіцієнтів опору кочення та зчеплення

| Агрофон | коефіцієнт опору кочення | Коефіцієнт зчеплення |
|-----------------------------|--------------------------|----------------------|
| Стерня колосових | 0,08...0,12 | 0,6...0,85 |
| Поле, підготоване під посів | 0,16...0,18 | 0,4...0,8 |
| Укочена снігова дорога | 0,03...0,04 | 0,3...0,4 |
| | | |

Вихідні данні:

| Варіант | Марка трактора | Варіант | Марка трактора |
|---------|------------------|---------|---------------------|
| 1. | МТЗ-82 | 16. | John Deere 7730 |
| 2. | Беларус -1220.3 | 17. | LS 1004 |
| 3. | Беларус -1022.4 | 18. | LS PLUS 90 |
| 4. | Беларус -920.6 | 19. | LS V804 |
| 5. | Беларус 1525.5 | 20. | New Holland TD 5.65 |
| 6. | Беларус -2022.6 | 21. | LS PLUS70 |
| 7. | Беларус 3022ДЦ.1 | 22. | LS XR50 |

| | | | |
|-----|-------------------|-----|------------------|
| 8. | ХТЗ-150К09.172.00 | 23. | МТЗ-422 |
| 9. | ХТЗ-16131 | 24. | ХТЗ-3512 |
| 10. | ХТЗ-241К.20 | 25. | МТЗ-320.4М |
| 11. | ХТЗ-242К20 | 26. | John Deere 6110М |
| 12. | ХТЗ-248 К20 | 27. | Fendt 930 |
| 13. | Vakula-300.10 | 28. | Беларус -920.6 |
| 14. | Vakula-300.12 | 29. | Fendt 936 |
| 15. | Vakula-300.20 | 30. | John Deere 6170М |

Питання для контролю

1. Визначення коефіцієнта зчеплення.
2. Визначення коефіцієнта опору кочення.
3. Що таке коефіцієнт буксування.
4. Фактори, від яких залежить коефіцієнт буксування.
5. Від яких факторів залежить оптимальне відношення потужності двигуна трактора до його експлуатаційної ваги.

Задача №3

Тема: Порівняння моторних палив.

Мета: навчитися порівнювати моторні палива за енергетичними, економічними та екологічними показниками.

Порядок виконання роботи.

1. Розрахувати щільність енергії.
2. Визначити вартість енергії палив.
3. Зробити оцінку викидів вуглекислого газу та оксидів сірки.

У розрахункам прийняти:

- Поточні ціни на палива;
- Для палив, яки не виробляються та не використовуються в Україні використати данні США (E85 Prices. Access mode: <https://e85prices.com/>; https://afdc.energy.gov/files/u/publication/alternative_fuel_price_report_oct_2019.pdf).

Вихідні дані

| Варіант | Традиційне паливо | Альтернативне паливо | Примітка |
|---------|-------------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 1. | Дизельне паливо | Компримований природний газ | Запальна доза 30% |
| 2. | Дизельне паливо | Скраплений нафтовий газ | Запальна доза ДП – 30% |
| 3. | Дизельне паливо | Ріпакова олія | Об'ємний вміст ріпакової олії – 25 % |
| 4. | Дизельне паливо | МЕРО | В100 |
| 5. | Дизельне паливо | Етанол | Запальна доза ДП – 30% |
| 6. | Дизельне паливо | Електроенергія | Акумулятор |
| 7. | Дизельне паливо | Електроенергія | Водень в балоні (P = 30 МПа) |
| 8. | Дизельне паливо | Електроенергія | Водень у гідридному акумуляторі |
| 9. | Бензин | Компримований природний газ | - |
| 10. | Бензин | Скраплений нафтовий газ | - |
| 11. | Бензин | E10 | |
| 12. | Бензин | E15 | |
| 13. | Бензин | E20 | |
| 14. | Бензин | E30 | |
| 15. | Бензин | E50 | |
| 16. | Бензин | E85 | |
| 17. | Бензин | Електроенергія | Акумулятор |
| 18. | Бензин | Електроенергія | Водень в балоні (P = 30 МПа) |
| 19. | E50 | Електроенергія | Акумулятор |

| | | | |
|-----|-----------------|-----------------------------|--------------------------------------|
| 20. | Дизельне паливо | Компримований природний газ | Запальна доза 10% |
| 21. | Дизельне паливо | Скраплений нафтовий газ | Запальна доза ДП – 10% |
| 22. | Дизельне паливо | МЕРО | В30 |
| 23. | Дизельне паливо | Етанол | Запальна доза ДП – 10% |
| 24. | Бензин | Компримований природний газ | Частка бензину – 15 % |
| 25. | Бензин | Скраплений нафтовий газ | Частка бензину – 15 % |
| 26. | Дизельне паливо | Ріпакова олія | Об'ємний вміст ріпакової олії – 15 % |

Питання для контролю

1. Маркування палив, що містять біоетанол.
2. Маркування палив, що містять біодизель.
3. Визначення щільності енергії палива.
4. Визначення вартості енергії палива.
5. Основні елементи газодизельної паливної системи.
6. Газодизельна паливна система дизеля з акумуляторною системою впорскування.
7. Що таке паливний елемент. Переваги та недоліки.
8. Переваги та недоліки різних схем зберігання водню на борту мобільного енергетичного засобу. .

Робота №4

Тема: Визначення техніко-економічних показників машинно-тракторного агрегату

Мета: вивчити вплив кількості передач на техніко-економічних показників

Порядок виконання роботи.

Визначити робочу швидкість та продуктивність, тягову потужність машинно-тракторного агрегату, та ступінь завантаження трактора за номінальним тяговим зусиллям та номінальною потужністю.

Розрахунки виконати для наступної кількості передач: 4, 8 та безступенева коробка передач.

Вихідні данні

| Варіант | Марка трактора | Сільськогосподарська машина | Швидкість трактора на першій передачі км/год | Максимальна швидкість км/год | Питомий опір ґрунту кН/м | Приріст тягового опору, % |
|---------|------------------|-----------------------------|--|------------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 1. | Беларус-82 | CR 300 | 3,2 | 39,5 | 1,2 | 2 |
| 2. | John Deere 6150M | CR 300 | 2,4 | 33 | 1,6 | 3 |
| 3. | Беларус-920 | CR 300 | 3,1 | 31 | 2,2 | 3 |
| 4. | John Deere 6170M | CR 350 | 5,4 | 36,6 | 2,1 | 3 |
| 5. | John Deere 6170M | CR 400 | 5,4 | 37,1 | 3,0 | 6 |
| 6. | Беларус-1525.5 | CR 420 | 4,4 | 30,8 | 1,8 | 3 |
| 7. | Беларус-2022 | CR 500 | 5,4 | 37,5 | 2,0 | 4 |
| 8. | Fendt 924 | CR 650 | 4,0 | 33,8 | 2,3 | 3 |
| 9. | Беларус-3022ДЦ.1 | CR 820 | 5,4 | 32,24 | 1,3 | 4 |
| 10. | Fendt 936 | CR 925 | 5,0 | 39,7 | 1,8 | 3 |
| 11. | Fendt 936 | CR 1225 | 5,0 | 39,8 | 5,0 | 5 |
| 12. | ХТЗ-150К-09-25 | CR 420* | 5,01 | 33,67 | 4,0 | 4 |
| 13. | John Deere 6170M | CR 500 * | 5,25 | 35 | 3,8 | 4 |

| | | | | | | |
|-----|-------------------|--------------|------|-------|-----|---|
| 14. | XT3-242K.20 | CR 650 * | 6,03 | 34,65 | 1,9 | 5 |
| 15. | Fendt 936 | CR 925 * | 6,6 | 33,67 | 4,5 | 5 |
| 16. | XT3-150K-09-25 | CRX 425 | 6,0 | 33 | 4,0 | 2 |
| 17. | XT3-242K.20 | CRX 525 | 3,0 | 33 | 3,8 | 3 |
| 18. | XT3-243K.20 | CRX 625 | 3 | 30 | 1,9 | 3 |
| 19. | John Deere 6170 M | CRXL 425 | 2 | 32 | 4,5 | 3 |
| 20. | Fendt 924 | CRXL 525 | 2,2 | 40 | 1,8 | 6 |
| 21. | Fendt 930 | CRXL 625 | 1,8 | 38 | 5,0 | 3 |
| 22. | Fendt 936 | CRXL 925 | 1,6 | 34 | 4,0 | 2 |
| 23. | Vakula 300.20 | CRXL 1225 | 3,3 | 32 | 3,8 | 3 |
| 24. | John Deere 7330 | CRXL 425 | 2,0 | 50 | 2,5 | 3 |
| 25. | John Deere 7250R | CRXL 925 | 2,2 | 34 | 3,6 | 3 |

Питання для контролю

1. Типи трансмісій сільськогосподарських тракторів.
2. Переваги та недоліки безступеневих трансмісій.
3. Оптиміальне значення ступеня завантаження трактора.

Робота 5

Тема: Визначення техніко-економічних показників машино-тракторного агрегату у випадку використання газоподібного палива.

Мета: вивчити вплив використання газоподібного палива (скрапленого нафтового газу) на техніко-економічні показники.

Порядок виконання роботи. Визначити робочу швидкість, продуктивність, тягову потужність, витрату палива, вартість палива (погодинну та на одиницю площі). Розрахунки виконати для коробки передач із 8 ступенями. Використати вихідні дані роботи №2.

Питання для контролю

1. Види газоподібних палив.
2. Особливості використання газоподібних палив в дизельних двигунах.
3. Загальна доза дизельного: призначення та кількість.
4. Вплив використання газоподібного палива на експлуатаційну масу.
5. Вплив використання газоподібного палива на продуктивність МТА.
6. Вплив використання газоподібного палива на економічні показники МТА.

Робота №6

Тема: Застосування системи утилізації тепла для прогріву масла трансмісії.

Мета: Визначити вплив прогріву масла КПП на її ККД та витрату палива.

Порядок виконання роботи. Визначити потужність системи утилізації тепла відпрацьованих газів двигуна та вплив її використання на техніко-економічні показники трактора.

Вихідні дані

| Варіанти | Марка трактора | Температура повітря, °С | Завантаження двигуна, % |
|----------|--------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1. | ХТЗ-243К.20 | -5 | 50 |
| 2. | ХТЗ-243К.20 | 0 | 50 |
| 3. | ХТЗ-243К.20 | 5 | 50 |
| 4. | ХТЗ-243К.20 | 10 | 60 |
| 5. | ХТЗ-243К.20 | 15 | 60 |
| 6. | ХТЗ-243К.20 | 20 | 60 |
| 7. | ХТЗ-243К.20 | 25 | 50 |
| 8. | ХТЗ-243К.20 | 30 | 50 |
| 9. | John Deere 7250R | -5 | 50 |
| 10. | John Deere 7250R | 0 | 50 |
| 11. | John Deere 7250R | 5 | 50 |
| 12. | John Deere 7250R | 10 | 60 |
| 13. | John Deere 7250R | 15 | 60 |
| 14. | John Deere 7250R | 20 | 60 |
| 15. | John Deere 7250R | 25 | 60 |
| 16. | John Deere 7250R | 30 | 60 |
| 17. | ХТА-250-13 | -6 | 55 |
| 18. | ХТА-220-2 | -3 | 55 |
| 19. | ХТА-200-10 | 0 | 55 |
| 20. | БЕЛАРУС - 3022ДЦ.1 | 3 | 55 |
| 21. | БЕЛАРУС - 3022ДЦ.1 | 6 | 60 |
| 22. | БЕЛАРУС - 3022ДЦ.1 | 9 | 60 |
| 23. | БЕЛАРУС - 3022ДЦ.1 | 12 | 60 |
| 24. | БЕЛАРУС - 3022ДЦ.1 | 15 | 60 |
| 25. | БЕЛАРУС - 3022ДЦ.1 | 20 | 60 |

Приклади розв'язання задач

Робота №1

Порівняти за технічним рівнем трактори Беларус – 2022.6 та ХТА-200-10.

Коефіцієнт технічного рівня визначається за формулою:

$$K_{12} = \frac{1}{5} \cdot \left[\frac{be_1}{be_2} + \frac{En_2}{En_1} + \frac{KЗКМ_2}{KЗКМ_1} + \frac{R_1}{R_2} + \frac{VR_2}{VR_1} \right],$$

де be – питома витрата палива двигуна на номінальній потужності, кг/(кВт·год);

En – енергонасиченість, кВт/кг (кВт/т);

$KЗКМ$ – коефіцієнт запасу крутного моменту двигуна;

R – мінімальний радіус повороту, м;

VR – глибина регулювання швидкості.

Індекс «1» використовують для трактора Беларус 2022.6, а індекс «2» для трактора ХТА-200-10. Якщо коефіцієнт технічного рівня K_{12} менше 1, то трактор з індексом «1» має більш високий технічний рівень.

Визначаємо енергонасиченість трактора Беларус 2022.3 за формулою

$$En_1 = \frac{Ne_1}{F_1}, \text{ кВт/кН},$$

де Ne_1 – номінальна потужність двигуна, $Ne_1 = 155,9$ кВт;

F_1 – експлуатаційна вага трактора, $F_1 = 73$ кН.

Після підстановки отримаємо шукане значення

$$En_1 = \frac{155,9}{73} = 2,136 \text{ кВт/кН}.$$

Глибина регулювання швидкості визначається за формулою

$$VR_1 = \frac{V_{\max}}{V_{\min}},$$

де V_{\max} – максимальна швидкість руху вперед, $V_{\max} = 39,6$ км/год;

V_{\min} – мінімальна швидкість руху вперед, $V_{\min} = 1,9$ км/год.

Після підстановки отримаємо

$$VR_1 = \frac{39,6}{1,9} = 20,84.$$

Визначимо коефіцієнт запасу крутного моменту двигуна D – 260.452, якій має наступні показники :

- номінальна потужність – $Ne = 155,9$ кВт;
- номінальна частота обертання колінчастого вала двигуна – $n = 2100$ об/хв.;
- питома витрата палива – $be = 224$ г/(кВт·год);
- максимальний крутний момент – $M_{max} = 920$ Н·м.

Крутний момент на режимі номінальної потужності визначаємо за формулою

$$M_{n1} = \frac{30 \cdot Ne}{\pi \cdot n}, \text{ Н·м.}$$

Після підстановки отримаємо шукане значення

$$M_{n1} = \frac{30 \cdot 155,9}{\pi \cdot 2100} = 0,709 \text{ кН·м} = 709 \text{ Н·м.}$$

Тоді коефіцієнт запасу крутного моменту

$$KЗКМ_1 = \frac{M_{max}}{M_{n1}}.$$

Після підстановки отримаємо шукане значення

$$KЗКМ_1 = \frac{920}{709} = 1,298.$$

Визначимо аналогічні показники для трактора ХТА-200-10

Енергонасиченість трактора

$$E_{n2} = \frac{Ne_2}{F_2}, \text{ кВт/кН,}$$

де Ne_2 - номінальна потужність двигуна, $Ne_2 = 154,4$ кВт;

F_2 – вага трактора експлуатаційна, $F_2 = 88,1$ кН.

Після підстановки отримаємо шукане значення :

$$E_{n2} = \frac{154,4}{88,1} = 1,752 \text{ кВт/кН.}$$

Глибина регулювання швидкостей трактора ХТА-200-10

$$VR_2 = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} = \frac{34,7}{3,6} = 9,64.$$

Показники двигуна Д-260.4, якій встановлено на трактор ХТА-200-10

- номінальна потужність – $Ne_2 = 154,4$ кВт;
- номінальна частота обертання – $n_o = 2100$ об/хв.;
- питома витрата палива – $be = 220$ г/(кВт·год);
- максимальний крутний момент – $M_{\max} = 808$ Н·м.

Крутний момент на режимі номінальної потужності:

$$M_{n2} = \frac{30 \cdot Ne_2}{\pi \cdot n} = \frac{30 \cdot 154,4}{\pi \cdot 2100} = 0,702 \text{ кН}\cdot\text{м} = 702 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Коефіцієнт запасу крутного моменту дорівнює

$$KЗКМ_2 = \frac{M_{\max 2}}{M_{n2}} = \frac{808}{702} = 1,151$$

Тоді коефіцієнт технічного рівня трактора Беларус 2022.3 у порівнянні з ХТА-200-10 становить

$$K_{12} = \left[\frac{224}{220} + \frac{1,752}{2,136} + \frac{1,151}{1,298} + \frac{5,3}{6,5} + \frac{9,64}{20,84} \right] \times \frac{1}{5} = 0,801$$

Висновок. Коефіцієнт технічного рівня трактора Беларус – 2022.3 у порівнянні з ХТЗ – 17221-09 дорівнює 0,801. Він менше 1, тому перший трактор, а саме Беларус – 2022.3, має більш високий технічний рівень.

Робота №2

Визначити оптимальну експлуатаційну вагу трактора McCormick Х8.680.

Результати розрахунків заносимо в таблицю.

Результати розрахунків

| № | Показник | Од. вим. | Джерело (формула) | Значення |
|---|-------------------------------------|-------------|-------------------|----------|
| 1 | Марка трактора | | Задано | Х8.680 |
| 2 | Номінальна потужність двигуна, Ne | кВт | Задано | 228 |

| | | | | |
|-------------------------------|--|--------|--|---------|
| 3 | Маса конструкційна, m_k | кг | Задано | 10800 |
| 4 | ККД трансмісії, η | | Приймаємо | 0,92 |
| Сівба | | | | |
| 5 | Робоча швидкість, V | км/год | Задано | 7,2 |
| 6 | V_p | м/с | $V_p = \frac{V}{3,6}$ | 2 |
| 7 | Коефіцієнт опору кочення, f | | Приймаємо | 0,18 |
| 8 | Коефіцієнт зчеплення, φ | | Приймаємо | 0,6 |
| 9 | Емпіричний коефіцієнт, a | | Приймаємо | 0,2 |
| Результати розрахунків | | | | |
| 10 | Оптимальна енергонасиченість трактора, X | кВт/т | $X_{opt} = \left(\frac{Ne}{m} \right)_{OPT} =$ $= g \cdot \frac{V_T}{\eta_{mp}} \sqrt{f \cdot \left(f + \frac{\varphi_{kp}}{a} \right)}$ | 13,66 |
| 11 | Оптимальна маса трактора | т | $m = \frac{Ne}{X}$ | 16,69 |
| 12 | Маса баласту | кг | $m_b = m - m_k$ | 5888,60 |
| Луцання стерні | | | | |
| 13 | Робоча швидкість, V | км/год | Задано | 12 |
| 14 | V_p | м/с | $V_p = \frac{V}{3,6}$ | 3,33 |
| 15 | Коефіцієнт опору кочення, f | | Приймаємо | 0,1 |
| 16 | Коефіцієнт зчеплення, φ □ | | Приймаємо | 0,725 |
| 17 | Емпіричний коефіцієнт, a | | Приймаємо | 0,2 |
| Результати розрахунків | | | | |

| | | | | |
|-------------------------------|--|--------|--|---------|
| 18 | Оптимальна енергонасиченість трактора, X | кВт/т | $X_{onm} = \left(\frac{Ne}{m} \right)_{OPT} =$ $= g \cdot \frac{V_T}{\eta_{mp}} \sqrt{f \cdot \left(f + \frac{\varphi_{kp}}{a} \right)}$ | 20,18 |
| 19 | Оптимальна маса трактора | т | $m = \frac{Ne}{X}$ | 11,30 |
| 20 | Маса баласту | кг | $m_{\bar{o}} = m - m_{\kappa}$ | 495,62 |
| Транспортування | | | | |
| 21 | Робоча швидкість, V | км/год | Задано | 25 |
| 22 | V_p | м/с | $V_p = \frac{V}{3,6}$ | 6,94 |
| 23 | Коефіцієнт опору кочення, f | | Приймаємо | 0,035 |
| 24 | Коефіцієнт зчеплення, φ | | Приймаємо | 0,35 |
| 25 | Емпіричний коефіцієнт, a | | Приймаємо | 0,2 |
| Результати розрахунків | | | | |
| 26 | Оптимальна енергонасиченість трактора, X | кВт/т | $X_{onm} = \left(\frac{Ne}{m} \right)_{OPT} =$ $= g \cdot \frac{V_T}{\eta_{mp}} \sqrt{f \cdot \left(f + \frac{\varphi_{kp}}{a} \right)}$ | 17,58 |
| 27 | Оптимальна маса трактора | т | $m = \frac{Ne}{X}$ | 12,97 |
| 28 | Маса баласту | кг | $m_{\bar{o}} = m - m_{\kappa}$ | 2170,87 |

Максимальна припустима маса баласту для даного трактора – 3450 кг. Тому при виконанні сівби забезпечити оптимальне використання трактора неможливо.

Задача №3

Порівняти паливо Е85 та використання електричної енергії автомобілем, якщо він обладнаний водневим паливним елементом. У розрахунках прийняти:

- Поточні ціни у США;
- ККД автомобіля на E85 – 28 %;
- ККД автомобіля з водневим паливним елементом – 62%.

Розв'язання

Фізичні властивості моторних палив наведено у таблиці.

Таблиця

Основні властивості E85

| Паливо | Нижча теплота згоряння, МДж/кг | Густина, кг/м ³ | Вміст С, % (мас) | Вміст Н, % (мас) | Вміст О, % (мас) |
|--------|--------------------------------|----------------------------|------------------|------------------|------------------|
| Бензин | 42,5 | 750 | 85 | 13 | 1 |
| E10 | 40.9 | 754 | 82 | 13 | 5 |
| E20 | 39.3 | 757 | 78 | 13 | 8 |
| E30 | 37.7 | 761 | 75 | 13 | 12 |
| E85 | 29,2 | 780 | 57 | 13 | 30 |
| Водень | 120 | 0,0898 | - | 100 | - |

Джерело: <https://www.hindawi.com/journals/isrn/2012/219703/tab2/>

Ціни палив:

- Ціна E85 – USD2,17/gallon [E85 prices. – Available at: <https://e85prices.com/>] або USD0,573/л;
- Ціна водню – USD13,79/кг [Cost to refill. – Available at: <https://cafcp.org/content/cost-refill>].

Щільність енергії визначаємо за формулою

$$ED = LHV \cdot \rho, \text{ МДж/м}^3,$$

де LHV – нижча теплота згоряння палива, МДж/кг;

ρ - густина палива, кг/м³.

Для палива E85 щільність енергії

$$ED = 29,2 \cdot 780 = 22776 \text{ МДж/ м}^3,$$

Для водню за нормальних умов

$$ED = 120 \cdot 0,0898 = 10,776 \text{ МДж/ м}^3,$$

Для водню за тиску 30 МПа

$$ED = 10 \cdot P \cdot LHV \cdot \rho \text{ МДж/ м}^3,$$

де P – тиск у балоні, МПа.

Після підстановки отримаємо значення

$$ED = 10 \cdot 30 \cdot 120 \cdot 0,0898 = 3232,8 \text{ МДж/ м}^3.$$

Таким чином, щільність енергії водню значно менша у порівнянні з паливом Е85.

Вартості енергії палива визначається за формулою

$$BE = \frac{1000 \cdot \sum_{i=1}^n (ЦП_{o_i} \cdot g_i)}{\sum_{i=1}^n (Q_i \cdot g_i) \cdot \sum_{i=1}^n (\rho_i \cdot g_i)}, \text{ USD/ГДж},$$

де $ЦП_{o_i}$ – ціна i -го компонента палива, USD/м³;

Q_i – нижча теплота згоряння i -го компонента палива, МДж/кг;

ρ_i – густина i -го компонента палива, т/м³;

n - кількість компонентів;

g_i - частка i -го компонента палива.

Для палива Е85 вартість енергії становить

$$BE = \frac{1000 \cdot ЦП_o}{LHV \cdot \rho} = \frac{1000 \cdot 0,573}{29,2 \cdot 0,78} = 25,158 \text{ USD/ГДж}.$$

Вартість енергії водню

$$BE_B = 1000 \cdot \frac{ЦП_B}{LHV}, \text{ USD/МДж},$$

де $ЦП_B$ – ціна водню, USD/кг.

Після підстановки отримаємо

$$BE_B = 1000 \cdot \frac{13,79}{120} = 114,917 \text{ USD/ГДж},$$

Як бачимо з розрахунків, вартість енергії водню майже у п'ять разів перевищує аналогічний показник для палива Е85.

Вартість енергії на одиницю корисної роботи (BE_k) визначають за формулою

$$BE_k = \frac{BE}{\eta}, \text{ USD/ГДж},$$

де η – ККД під час експлуатації.

Вартість енергії на одиницю корисної роботи для автомобіля, якій використовує паливо E85

$$BE_{\kappa} = \frac{25,158}{0,3} = 89,85 \text{ USD/ГДж},$$

Вартість енергії на одиницю корисної роботи для автомобіля, якій використовує водневий паливний елемент становить

$$BE_{\kappa} = \frac{114,917}{0,62} = 185,35 \text{ USD/ГДж},$$

Розрахунки показують, що перевагу має паливо E85.

Розглянемо викиди вуглекислого газу. Для визначення викидів оксиду вуглецю при спалюванні палива, необхідно врахувати його вміст у паливі. При згорянні будь-якого палива отримується вуглекислий газ у кількості

$$M_{CO_2} = 0,01 \cdot m_C \cdot M \cdot x, \text{ кг/кг},$$

де m_C – вміст по масі вуглецю у паливі, %;

M – маса палива, кг;

x – маса вуглекислого газу, що отримується при згорянні одного кілограму вуглецю, $x = 11/3$ кг.

На одиницю теплоти згоряння палива отримується наступна кількість вуглекислого газу

$$M_{CO_2}^E = \frac{m_C \cdot x}{100 \cdot Q_H^P}, \text{ кг/МДж},$$

де Q_H^P – нижча теплота згоряння палива, МДж/кг.

Викиди вуглекислого газу на одиницю маси палива E85 становлять

$$M_{CO_2} = 0,01 \cdot 57 \cdot 1 \cdot \frac{11}{3} = 2,09, \text{ кг/кг}.$$

Викиди вуглекислого газу на одиницю енергії палива E85 дорівнюють

$$M_{CO_2}^E = \frac{57 \cdot \frac{11}{3}}{100 \cdot 29,2} = 0,071575, \text{ кг/МДж},$$

При роботі водневого паливного елемента вуглекислий газ не виділяється.

Робота №4

Визначити техніко-економічні показники машинно-тракторного агрегату у складі трактора ХТЗ-243 К.20 та дискової борони БДВ-7.

Вихідні дані

| Показник | Одиниці вимірювання | Значення |
|--|---------------------|-----------|
| Борона БДВ-7 | | |
| Робоча ширина захвату | м | 7 |
| Маса | кг | 3500 |
| Питомий опір ґрунту | кН/м | 5,2 |
| агротехнічно допустимі швидкості руху МТА: | | |
| – мінімальна | км/год | 5 |
| – максимальна | км/год | 10 |
| ХТЗ-243 К.20 | | |
| Мінімальна швидкість | км/год | 5,01 |
| Максимальна швидкість руху | км/год | 33,67 |
| Маса експлуатаційна | кг | 8450 |
| Марка двигуна | | ЯМЗ-53645 |
| Номінальна потужність | кВт | 184 |
| Номінальна частота обертання колінчастого вала | об/хв | 2100 |
| Максимальний крутний момент | Н·м | 1100 |
| Частота обертання при максимальному крутному моменті | об/хв | 1300-1600 |
| Питома витрата палива на номінальній потужності | г/(кВт·год) | 235 |
| Мінімальна стійка частота обертання | об/хв | 550-650 |
| Шипи | | 23,1 R26 |
| ККД трансмісії | % | 75 |
| Коефіцієнт опору кочення | | 0,1 |
| Приріст тягового опору | % | 6 |

Розв'язання

1. Визначимо опір борони БДВ-7 на мінімальній та максимальній швидкості.

Тяговий опір визначається за формулою

$$R = B \cdot k \cdot \left[1 + (V - V_0) \cdot \frac{\Delta}{100} \right] + G_b \cdot f, \text{ кН},$$

де B - робоча ширина борони, $B = 7$ м;

k - питомий опір сільськогосподарської машини, $k = 4$ кН/м;

V - швидкість руху, км/год;

V_0 - базове значення швидкості, $V_0 = 5$ км/год;

Δ - коефіцієнт, що враховує зростання питомого опору сільськогосподарської машини при збільшенні швидкості, $\Delta = 3\%$;

f - коефіцієнт опору кочення, $f = 0,1$;

G_b - експлуатаційна вага борони, $G_b = 35$ кН.

Тяговий опір за швидкості 5 км/год (мінімальна агротехнічно допустима швидкість)

$$R_5 = 7 \cdot 5,2 \cdot \left[1 + (5 - 5) \cdot \frac{6}{100} \right] + 35 \cdot 0,1 = 39,9 \text{ кН}.$$

Тяговий опір за максимальної допустимої швидкості руху

$$R_{10} = 7 \cdot 5,2 \cdot \left[1 + (10 - 5) \cdot \frac{6}{100} \right] + 35 \cdot 0,1 = 50,82 \text{ кН}.$$

2. Побудуємо тягову характеристику трактора, якщо трактор має 4 передачі. Коефіцієнт геометричної прогресії

$$q = z^{-1} \sqrt[z]{\frac{V_z}{V_1}},$$

де V_z - максимальна швидкість на вищій передачі, $V_z = 33,7$ км/год;

V_1 - швидкість на першій передачі, $V_1 = 5,01$ км/год;

Z - кількість передач.

Після підстановки отримаємо

$$q = 4^{-1} \sqrt[4]{\frac{33,7}{5,01}} = 1,888.$$

Радіус кочення ведучого колеса

$$r_k = 25,4 \cdot 10^{-3} \cdot [0,5 \cdot d + k_{ш} \cdot b], \text{ м,}$$

де d - діаметр посадочного кола ободу, $d = 26$ дюймів;

b - висота профілю шини, $b = 23,1$ дюйм;

$k_{ш}$ - коефіцієнт деформації шини, $k_{ш} = 0,8$.

Після підстановки отримаємо наступне значення радіусу кочення

$$r_k = 25,4 \cdot 10^{-3} \cdot [0,5 \cdot 26 + 0,8 \cdot 23,1] = 0,8 \text{ м,}$$

Частота обертання колінчастого валу на холостому ході

$$n_{xx} = (1 + \delta_p) \cdot n_H, \text{ об/хв.,}$$

де δ_p - ступень нерівномірності регулятора, $\delta_p = 0,05$.

n_H - номінальна частота обертання колінчастого валу двигуна, $n_H = 2100$ об/хв.

Після підстановки отримаємо

$$n_{xx} = (1 + 0,05) \cdot 2100 = 2205 \text{ об/хв.}$$

Тягове зусилля трактора

$$P_{кр} = \frac{M \cdot i_{тр} \cdot \eta_{тр}}{r_k} - f \cdot G_{тр}, \text{ кН,}$$

де M - крутний момент двигуна, кН·м;

$i_{тр}$ - передаточне число трансмісії;

$\eta_{тр}$ - ККД трансмісії;

$G_{тр}$ - експлуатаційна вага трактора, $G_{тр} = 84,5$ кН.

Передаточне число трансмісії визначається за формулою

$$i_{тр} = 0,377 \cdot \frac{n_H \cdot r_k}{V},$$

де V - швидкість на першій передачі, км/год.

Передаточне число на першій передачі

$$i_{тр1} = 0,377 \cdot \frac{2100 \cdot 0,8}{5,01} = 126,42.$$

Передаточне число на другій передачі

$$i_{тр2} = \frac{i_{тр1}}{q} = \frac{126,42}{1,888} = 66,96.$$

Передаточне число на третій передачі

$$i_{mp3} = \frac{i_{mp2}}{q} = \frac{66,96}{1,888} = 35,466.$$

Та на четвертій передачі

$$i_{mp4} = \frac{i_{mp3}}{q} = \frac{35,466}{1,888} = 8,785.$$

Крутний момент двигуна на номінальній потужності

$$M_H = \frac{30 \cdot Ne_H}{\pi \cdot n_H}, \text{ кН}\cdot\text{м},$$

де Ne_n - номінальна потужність двигуна, $Ne_n = 184$ кВт.

Після підстановки числових значень отримаємо

$$M_H = \frac{30 \cdot 184}{\pi \cdot 2100} = 0,837, \text{ кН}\cdot\text{м},$$

Розрахуємо тягову характеристику та запишемо результати в табл.1.

Таблиця 1

Тягова характеристика трактора

| Передача | Показник | Крутний момент, кН·м | | |
|----------|---------------------------------|----------------------|---------------|-------------|
| | | 0 | $M_H = 0,837$ | $M_M = 1,1$ |
| 1 | Тягове зусилля, кН | 0 | 90,75 | 121,92 |
| | Теоретична швидкість, км/год | 5,26 | 5,01 | 3,82 |
| | Коефіцієнт ψ | 0 | 1,074 | 1,43 |
| | Коефіцієнт буксування, δ | 0 | 0,26 | 0,59 |
| | Фактична швидкість, км/год | 5,26 | 3,71 | 1,566 |

Тягове зусилля на номінальній потужності

$$P_H = \frac{0,837 \cdot 126,42 \cdot 0,75}{0,8} - 0,1 \cdot 84,5 = 90,75 \text{ кН},$$

Максимальне тягове зусилля

$$P_{\max} = \frac{1,1 \cdot 126,42 \cdot 0,75}{0,8} - 0,1 \cdot 84,5 = 121,92 \text{ кН},$$

Теоретична швидкість:

- холостий хід

$$v_m = 0,377 \cdot \frac{n_{xx}}{i_{mp1}} \cdot r_k = 0,377 \cdot \frac{2205}{126,42} \cdot 0,8 = 5,26 \text{ км/ГОД.}$$

- номінальна потужність

$$v_m = 0,377 \cdot \frac{n_n}{i_{mp1}} \cdot r_k = 0,377 \cdot \frac{2100}{126,42} \cdot 0,8 = 5,01 \text{ км/ГОД.}$$

- максимальний крутний момент

$$v_m = 0,377 \cdot \frac{n_m}{i_{mp1}} \cdot r_k = 0,377 \cdot \frac{1600}{126,42} \cdot 0,8 = 3,82 \text{ км/ГОД.}$$

Фактична швидкість визначається за формулою

$$v_\phi = v_T \cdot (1 - \delta), \text{ км/ГОД,}$$

де δ - буксування колеса.

Буксування колеса розраховують за формулою

$$\delta = a + b \cdot \psi + c \cdot \psi^2,$$

де a , b , c - коефіцієнт, $a = 0,0138$, $b = -0,1082$, $c = 0,3583$;

ψ - відношення тягового зусилля до експлуатаційної ваги трактора.

Аналогічно виконуємо розрахунки для інших передач. Результати розрахунків вносимо в табл.2.

Таблиця 2

Характеристика трактора на різних передачах

| Передача | Показник | Крутний момент, кН·м | | |
|----------|---------------------------------------|----------------------|---------------|-------------|
| | | 0 | $M_n = 0,837$ | $M_m = 1,1$ |
| 2 | Тягове зусилля, кН | 0 | 44,04 | 60,6 |
| | Коефіцієнт ψ | 0 | 9,46 | 7,21 |
| | коефіцієнт буксування, δ | 0 | 0,016 | 0,122 |
| | фактична швидкість, v_ϕ , км/ГОД | 9,93 | 9,31 | 6,33 |
| 3 | тягове зусилля, | 0 | 19,38 | 28,12 |

| | | | | | |
|--|------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | кН | | | | |
| | теоретична швидкість, км/год | v_m | 18,75 | 17,86 | 13,61 |

3. Визначення технічно-економічних показників МТА.

Будуємо тягову характеристику (рис. 1).

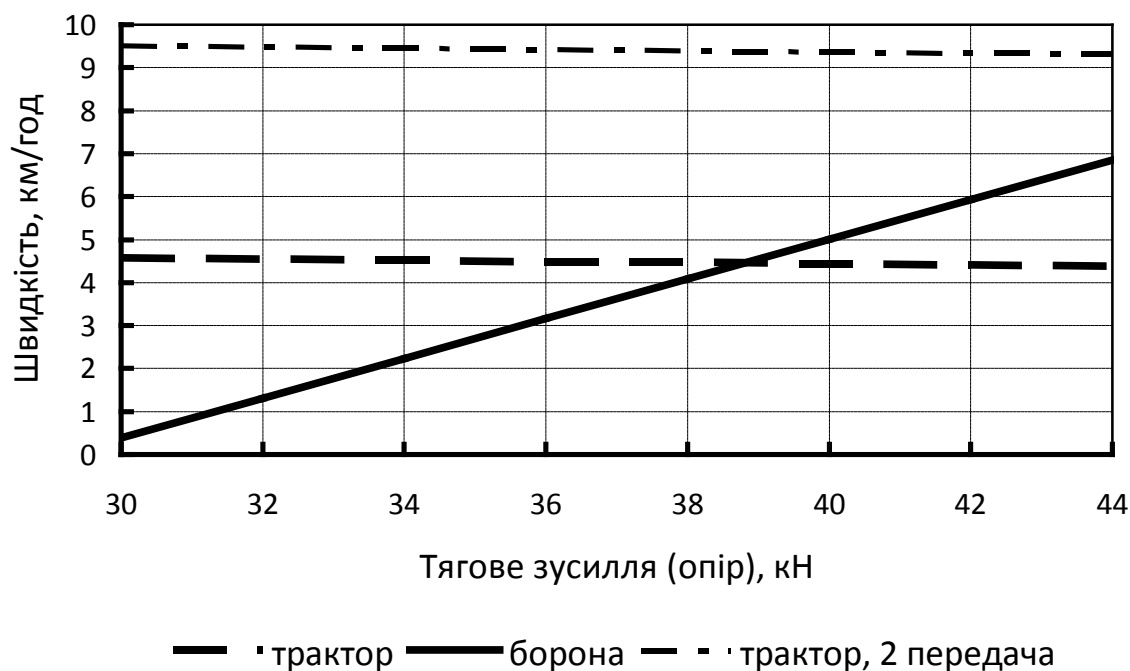


Рис. 1. Тягова характеристика трактора на 1-й, 2-й передачі та опір борони

На другій швидкості трактор має максимальне тягове зусилля 44 кН (на регуляторній гілці). Тому з графіка визначаємо, що трактор може працювати лише на 1-й передачі. Робоча швидкість МТА $v_p = 4,7$ км/год, тягове зусилля – 39 кН.

Продуктивність МТА

$$W = 0,1 \cdot v_p \cdot B = 0,1 \cdot 4,7 \cdot 7 = 3,29 \text{ км/год}$$

Коефіцієнт використання тягового зусилля

$$\xi_p = \frac{R}{P_{kp}} = \frac{39}{90,75} = 0,43$$

Визначаємо витрату палива. Крутний момент двигуна

$$M_p = (R + f \cdot G_{mp}) \times \frac{r_k}{i_{mp} \times \eta_{mp}} = (39 + 0,1 \cdot 84,5) \cdot \frac{0,8}{126,42 \cdot 0,75} = 0,4004 \text{ кН.}$$

Погодинна витрата палива на номінальній потужності

$$B_H = b e_H \cdot N e_H, \text{ кг/год.}$$

Після підстановки отримаємо шукане значення

$$B_H = 0,235 \cdot 184 = 43,24, \text{ кг/год.}$$

Погодинна витрата палива на холостому ході

$$B_{xx} = 0,25 \cdot B_H, \text{ кг/год.}$$

Після підстановки отримаємо шукане значення

$$B_{xx} = 0,25 \cdot 43,24 = 10,81, \text{ кг/год.}$$

Погодинна витрата палива на експлуатаційному режимі МТА

$$B_e = B_{xx} + (B_H - B_{xx}) \cdot \frac{M_p}{M_H}, \text{ кг/год.}$$

Після підстановки отримаємо шукане значення

$$B_e = 10,81 + (43,24 - 10,81) \cdot \frac{0,4004}{0,837} = 26,324, \text{ кг/год.}$$

Питома витрата палива на одиницю площі

$$B_{\Pi} = \frac{B_e}{W} = \frac{26,324}{3,29} = 8,001 \text{ кг/год.}$$

4. Проаналізуємо вплив на техніко-економічні показники збільшення кількості передач удвічі (до 8).

Знаменник геометричної прогресії

$$q = z^{-1} \sqrt{\frac{V_z}{V_1}} = 8^{-1} \sqrt{\frac{33,7}{5,01}} = 1,313.$$

Нам потрібні передачі, які забезпечують швидкість руху від 5 до 10 км/год. Перша передача $v_1 = 5,01$ км/год. Це нижча межа робочого діапазону. Тому її недоцільно розглядати.

Друга передача

$$i_{mp2} = i_{mp1} / q = 126,42 / 1,313 = 96,283$$

Швидкість руху на другій передачі

$$v_2 = 0,377 \cdot \frac{n_h \cdot r_k}{i_{mp2}} = 0,377 \cdot \frac{2100 \cdot 0,8}{96,283} = 6,578 \text{ км/год.}$$

Третя передача

$$i_{mp3} = i_{mp2} / q = \frac{96,283}{1,313} = 73,33$$

Швидкість на третій передачі

$$v_3 = 0,377 \frac{n_H \cdot r_k}{i_{mp3}} = 0,377 \cdot \frac{2100 \cdot 0,8}{73,33} = 8,632 \text{ км/ГОД.}$$

Побудуємо тягову характеристику трактора на 2 та 3 передачах (табл. 3).

Таблиця 3

Тягова характеристика трактора

| Передача | Показник | Крутний момент, кН·м | | |
|----------|--------------------------------------|----------------------|---------------|-------------|
| | | 0 | $M_H = 0,837$ | $M_M = 1,1$ |
| 2 | Тягове зусилля, кН | 0 | 67,1 | 90,84 |
| | Теоретична швидкість v_m , км/ГОД | 6,907 | 6,578 | 5,01 |
| | Коефіцієнт Ψ | 0 | 0,794 | 1,075 |
| | Коефіцієнт буксування, δ | 0 | 0,154 | 0,312 |
| | Фактична швидкість v_ϕ , км/ГОД | 6,907 | 5,565 | 3,446 |
| 3 | Тягове зусилля, кН | 0 | 49,09 | 67,17 |
| | Теоретична швидкість v_m , км/ГОД | 9,07 | 8,637 | 6,58 |
| | Коефіцієнт ψ | 0 | 0,591 | 0,795 |
| | Коефіцієнт буксування δ | 0 | 0,075 | 0,154 |
| | Фактична швидкість v_ϕ , км/ГОД | 9,07 | 7,99 | 5,57 |

Будуємо тягову характеристику (рис. 2).

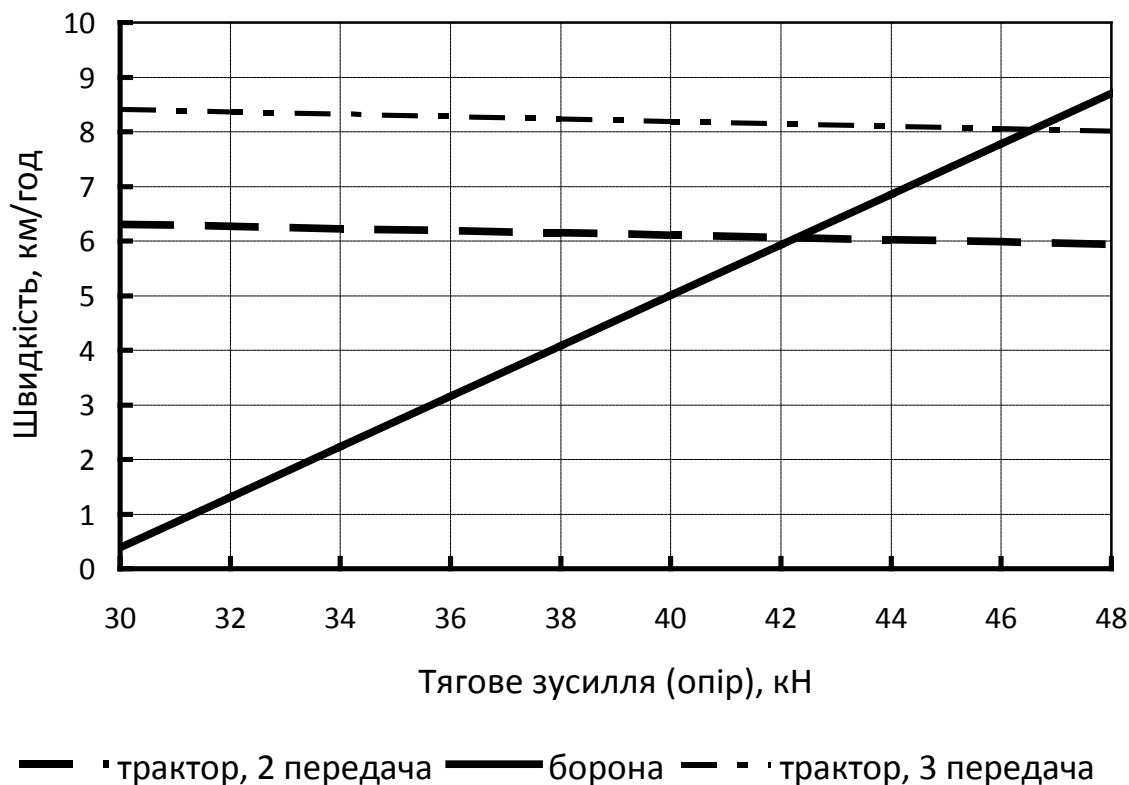


Рис. 2. Тягова характеристика трактора на 1-ій, 2-ій передачі та опір борони

Як бачимо з рисунку, трактор може працювати на третій передачі. Робоча швидкість $v_p = 8,1$ км/год та ; тягове зусилля – 46,0 кН.

Визначимо техніко-економічні показники МТА.

Продуктивність

$$W = 0,1 \cdot V_p \cdot B = 0,1 \cdot 8,1 \cdot 7 = 5,67 \text{ га/год.}$$

Крутний момент двигуна

$$M_p = (R + f \cdot G_{mp}) \cdot \frac{r_k}{i_{mp3} \cdot \eta_{mp}} = (46 + 0,1 \cdot 84,5) \cdot \frac{0,8}{73,33 \cdot 0,75} = 0,792 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Погодинна витрата палива

$$B_e = B_{xx} + (B_n - B_{xx}) \cdot \frac{M_p}{M_n} = 10,81 + (43,24 - 10,81) \cdot \frac{0,792}{0,837} = 41,50 \text{ кг/год.}$$

Питома витрата палива на одиницю площі

$$B\Pi = \frac{B_e}{W} = \frac{41,50}{5,67} = 7,32 \text{ кг/год.}$$

Коефіцієнт використання тягового зусилля

$$\xi_p = \frac{R}{P_{кр}} = \frac{46}{49,9} = 0,92.$$

Висновок: збільшення передач з 4 до 8 дозволяє збільшити продуктивність МТА на 7,2% та зменшити питому витрату палива на одиницю площі на 8,5%.

Робота №5

Визначимо залежність витрати дизельного палива від навантаження дизельного двигуна

$$B = B_{xx} + (B_n - B_{xx}) \cdot N_e, \text{ кг/ГОД,}$$

де B_{xx} - витрата палива на холостому ході, км/год;

B_n - погодинна витрата палива на номінальній потужності, км/год;

N_e - відносна потужність двигуна; $N_e = 0 \dots 1$.

Визначимо витрати палива на газодизельному режимі роботи. На номінальній потужності коефіцієнт запальної фази дизельного палива становить $\varphi_1 = 0,15$. Він збільшується до $\varphi_0 = 0,3$ на холостому ході. Тоді залежність витрати дизельного палива від навантаження становить

$$\varphi = -0,15 \cdot N_e + 0,3.$$

Витрата запальної дози (дизельного палива) становить

$$B_z = B_n \cdot (-0,15 \cdot N_e + 0,3), \text{ кг/ГОД.}$$

Витрати газоподібного палива

$$B_{gn} = [B - B_z] \cdot \frac{Q_{dd}}{Q_{gg}}, \text{ кг/ГОД,}$$

де Q_{dn} - нижча теплота згоряння дизельного палива; $Q_{dn} = 42,5$ МДж/кг;

Q_{gn} - нижча теплота згоряння газопровідного палива (пропан-бутан), $Q_{gn} = 46,5$ МДж/кг.

Після підстановки отримаємо

$$\begin{aligned}
 B_{zn} &= [B_{xx} + (B_n - B_{xx}) \cdot Ne - B_n(-0,15 \cdot Ne + 0,3)] \cdot \frac{Q_{dd}}{Q_{gg}} = \\
 &= [B_{xx} + B_n \times Ne - B_{xx} \cdot Ne + 0,15 \cdot B_n \times Ne - 0,3B_n] \cdot \frac{Q_{dd}}{Q_{gg}} = \text{кг/год.} \\
 &= [B_{xx} \cdot (1 - Ne) + B_n \cdot (Ne + 0,15 \cdot Ne - 0,3)] \cdot \frac{Q_{dd}}{Q_{gg}}
 \end{aligned}$$

Побудуємо залежність витрати палива від потужності двигуна.
Витрати дизельного палива на номінальній потужності.

$$B_n = b_e \cdot Ne = 0,235 \cdot 184 = 43,24 \text{ кг/год.}$$

Витрати дизельного палива на холостому ході.

$$B_{xx} = 0,3 \cdot B_n = 0,3 \cdot 43,24 = 12,97 \text{ кг/год.}$$

Витрати дизельного палива як запальної дози на режимі номінальної потужності.

$$B_z = 0,15 \cdot B_n = 0,15 \cdot 43,24 = 6,486 \text{ кг/год.}$$

Витрата газоподібного палива (пропан–бутану) на режимі номінальної потужності.

$$B_{nn} = [B_n \cdot (1 + 0,15 - 0,3)] \cdot \frac{Q_{dd}}{Q_{gg}} = [43,24 \cdot 0,85] \cdot \frac{42,5}{46,5} = 33,59 \text{ кг/год.}$$

Визначимо кількість та об'єм газових балонів. Згідно стандартів запаси палива повинні забезпечувати 10 годин роботи трактора. Тоді маса газоподібного палива на борту трактора повинна бути не менше

$$M_{zn} = B_{zn} \cdot 10 = 33,59 \cdot 10 = 335,9 \text{ кг.}$$

Тоді об'єм балонів має бути не менше

$$V_b = \frac{M_{zn}}{\rho_{gn}}, \text{ л,}$$

де ρ_{gn} – густина пропан-бутану, $\rho_{gn} = 0,53 \text{ кг/л}$.

Після підстановки отримаємо шукане значення

$$V_b = \frac{335,9}{0,53} = 663,8 \text{ л.}$$

Приймаємо, що нам потрібно 4 балона об'ємом $V = 163,5 \text{ л}$. Тоді сумарний запас газоподібного палива становитиме

$$V_b = V \cdot n = 163,5 \cdot 4 = 654 \text{ л.}$$

Маса балонів становитиме

$$m_{бб} = m_{б} \cdot n, \text{ кг},$$

де $m_{б}$ - маса одного балона, $m_{б} = 67$ кг.

Після підстановки отримаємо шукане значення маси балонів

$$m_{бб} = 67 \cdot 4 = 268 \text{ кг}.$$

Маса заправлених балонів

$$m_{бб} = m_{б0} \cdot n, \text{ кг},$$

де $m_{б0}$ - маса балона з газом, $m_{б0} = 135,5$ кг.

Після підстановки отримаємо

$$m_{бб} = 135,5 \cdot 4 = 542 \text{ кг}.$$

Таким чином маса газоподібного трактора перевищує базовий варіант кг.

$$g_{mтт} = \frac{m_{бб}}{M_{mтт}} \cdot 100\% = \frac{542}{8450} \cdot 100\% = 6,41\%.$$

Визначимо техніко-економічні показники МТА при роботі трактора на 3-й передачі (з 8 передач). Тягове зусилля на номінальній потужності.

$$\begin{aligned} R_{крн} &= \frac{M_n \cdot i_{тр} \cdot \eta_{тр}}{r_k} - f \cdot (M_{тр} + m_{бб}) = && \text{кН.} \\ &= \frac{0,837 \cdot 73,33 \cdot 0,75}{0,8} - 0,1 \cdot (8450 + 542) \cdot 10 = 48,55 \end{aligned}$$

Коефіцієнт використання тягової потужності

$$\varphi = \frac{R_{крн}}{G_{mтт}} = \frac{48,55}{89,92} = 0,54.$$

Коефіцієнт буксування трактора

$$\delta = 0,0138 - 0,1082 \cdot 0,54 + 0,3583 \cdot 0,54^2 = 0,0599.$$

Фактична швидкість трактора

$$V_{\phi} = V_m \cdot (1 - \delta) = 8,637 \cdot (1 - 0,0599) = 8,12 \text{ км/год}.$$

Визначимо техніко – економічні показники МТА.

Продуктивність МТА:

$$W = 0,1 \cdot V_{\phi} \cdot B = 0,1 \cdot 8,12 \cdot 7 = 5,74 \text{ га/год}.$$

Крутний момент двигуна:

$$M_P = (R + f \cdot G_{tp}) \cdot \frac{r_k}{i_{mp} \times \eta_{mp}} = (43 + 0,1 \cdot 89,92) \cdot \frac{0,8}{73,33 \cdot 0,75} = 0,756 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Тоді експлуатаційна потужність двигуна

$$Ne_e = Ne_H \cdot \frac{M_P}{M_H} = 184 \cdot \frac{0,756}{0,837} = 166,2 \text{ кВт.}$$

Витрата запальної дози дизельного палива

$$B_3 = B_H \cdot \left(-0,15 \cdot \frac{Ne_e}{Ne_H} + 0,3 \right) = 43,24 \cdot \left(-0,15 \cdot \frac{166,2}{184} + 0,3 \right) = 7,11 \text{ кг/год.}$$

Витрата газоподібного палива (пропан-бутану):

$$\begin{aligned} B_{zn} &= \left[B_{xx} (1 - \bar{Ne}) + 43,24 \cdot (\bar{Ne} + 0,95 \cdot \bar{Ne} - 0,3) \right] \cdot \frac{Q_{Dn}}{Q_{rn}} = \\ &= [10,81 \cdot (1 - 0,903) + 43,24 \cdot (0,903 + 0,15 \cdot 0,903 - 0,3)] \times \frac{42,5}{46,5} = \text{кг/год.} \\ &= [1,049 + 31,93] \cdot \frac{42,5}{46,5} = 30,14 \end{aligned}$$

Погодинна вартість палива

$$ВПг = \frac{B_3}{\rho_{дп}} \cdot Ц_{дп} + \frac{B_{zn}}{\rho_{гп}} \cdot Ц_{гп}, \text{ грн/год,}$$

де $\rho_{дп}$ – густина дизельного палива, $\rho_{дп} = 0,86$ кг/л;

$\rho_{гп}$ – густина пропан-бутану, $\rho_{гп} = 0,53$ кг/л;

$Ц_{дп}$ – ціна дизельного палива, $Ц_{дп} = 30$ грн/л;

$Ц_{гп}$ – ціна газоподібного палива, $Ц_{гп} = 13,5$ грн/л.

Після підстановки отримаємо шукане значення вартості палива

$$ВПг = \frac{7,11}{0,86} \cdot 30 + \frac{30,14}{0,53} \cdot 13,5 = 1015,74 \text{ грн / га}$$

Вартість палива, що витрачається на обробіток одного гектару

$$ВППг = \frac{ВПг}{w} = \frac{1015,74}{5,74} = 176,96 \text{ грн/га.}$$

Порівняємо з експлуатацією трактора на дизельному паливі.

Вартість палива, що витрачається на одиницю площі (задача 4).

$$ВППг = \frac{ВП \cdot Ц_{дп}}{w \cdot S_{дд}} = \frac{7,32}{0,86} \cdot 30 = 255,35 \text{ грн/га.}$$

Таким чином, використання газоподібного палива (пропан-бутану) дозволяє зменшити витрату на паливо

$$ВПП_0 = \left(1 - \frac{ВПП_2}{ВПП_0}\right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{176,96}{255,35}\right) \cdot 100\% = 30,7\%.$$

Задача №6

Визначити ефективність утилізаційної системи прогріву масла коробки передач трактора. Вихідні данні:

- Трактор – ХТЗ-242К.20;
- Температура атмосферного повітря – (-5)°С.

ККД трансмісії трактора від температури повітря та часу їх роботи показана на рис.3. Так початковий ККД трансмісії за температури повітря -30°С становить 35%, а при підвищенні температури повітря +30°С збільшується до 57%, а під час роботи поступово зростає. Залежність ККД, як функції температури повітря та часу роботи трансмісії:

$$\eta_{mp} = (6,0 \cdot 10^{-8} - 3,33 \cdot 10^{-10} \cdot t) \cdot \tau^3 + (-3,5 \cdot 10^{-5} + 1,67 \cdot 10^{-7} \cdot t) \cdot \tau^2 + (6,3 \cdot 10^{-3} - 4,0 \cdot 10^{-5} \cdot t) \cdot \tau + (0,4575 + 0,00365 \cdot t)$$

де τ – тривалість роботи, хвилин; t – температура, °С.

Визначимо перевитрату палива внаслідок прогріву коробки передач. Потужність двигуна визначаємо наступним чином:

$$Ne_{\partial s} = \frac{Ne_T}{\eta_{TP} \cdot \eta}, \text{ кВт} \quad (8)$$

де Ne_T – тягова потужність, кВт;

η_{TP} – ККД трансмісії;

η – ККД головної передачі.

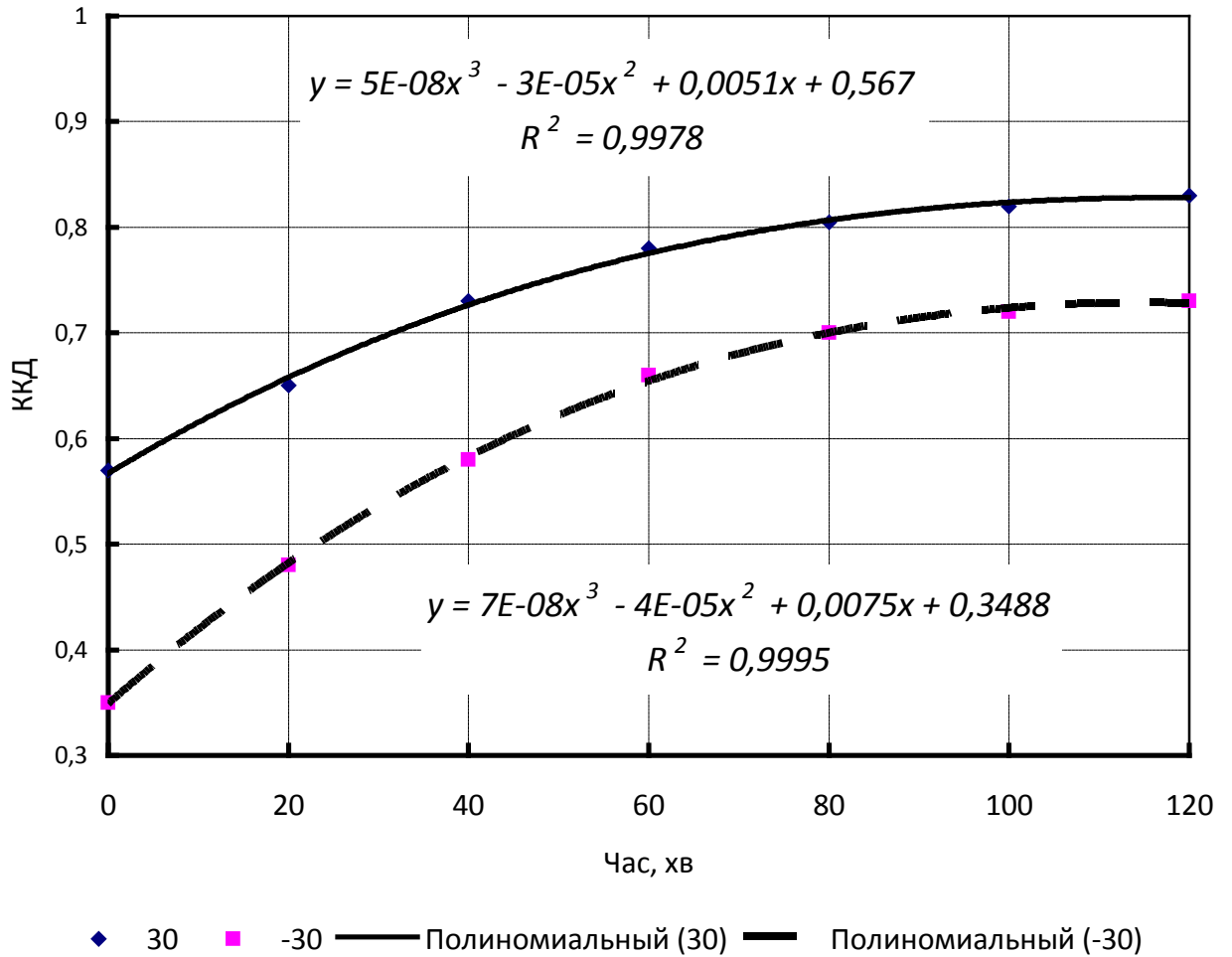


Рис. 3. Залежність ККД коробки передач від часу роботи та температури повітря

Погодинна витрата палива становить:

$$B_{\Pi} = Ne_{\delta v} \cdot be = \frac{Ne_T}{\eta_{TP} \cdot \eta} \cdot be, \text{ кг/ГОД}, \quad (9)$$

де be – питома витрата палива, кг/(кВт·год)

Витрата палива за час прогріву масла трансмісії:

$$B_{\Pi\Pi} = \int_0^{\tau} B_{\Pi} \cdot d\tau = \int_0^{\tau} \frac{Ne_T}{\eta_{TP} \cdot \eta} \cdot be \cdot d\tau, \text{ кг}. \quad (10)$$

За цей час, у випадку, якщо $\eta_{TP} = \eta_{TP0}$ (на сталому режимі)

$$B_{\Pi\Pi0} = \frac{Ne_T}{\eta_{TP0} \cdot \eta} \cdot be \cdot \tau_{\Pi}, \text{ кг}, \quad (11)$$

де η_{TP0} – ККД трансмісії після її прогріву до сталого режиму.

Тоді, різниця витрати палива становитиме:

$$\begin{aligned} \Delta B_{III} &= B_{III} - B_{III0} = \int_0^{\tau} \frac{Ne_T}{\eta \cdot \eta_{TP}} \cdot be \cdot d\tau - \frac{Ne_T be}{\eta_{TP0} \cdot \eta} \cdot \tau_{II} = \\ &= \frac{Ne_{Tp} \cdot be}{\eta} \cdot \int_0^{\tau} \frac{1}{\eta_{TP}} d\tau - \frac{Ne_{TP} be}{\eta_{TP0} \cdot \eta} \cdot \tau_{II} = \frac{Ne_{TP} be}{\eta} \cdot \left[\int_0^{\tau} \frac{d\tau}{\eta_{TP}} - \frac{\tau_{II}}{\eta_{TP0}} \right], \text{ кг.} \end{aligned}$$

У випадку використання утилізаційної системи тепла, її потужність становить

$$N_{hr} = X_e \cdot Ne_0 \cdot be \cdot \beta, \text{ кВт},$$

де β – коефіцієнт, що враховує втрати енергії з відпрацьованими газами.

Тоді час прогріву масла становить

$$\tau = \frac{V_o \cdot \rho \cdot C_p \cdot (t_0 - t_a)}{N_{hr} \cdot K_b}, \text{ сек},$$

де V_o – об'єм масла, л; ρ – густина масла, кг/л; C_p – питома теплоємність масла, кДж/(кгК); K_b – коефіцієнт, що враховує втрати теплоти, $K_b = 0,2$.

Тоді витрата палива під час прогріву масла

$$B = X_e \cdot Ne_0 \cdot be \cdot \int_0^{\tau} \frac{d\tau}{\eta} = \frac{X_e \cdot Ne_0 \cdot be}{3600} \cdot \frac{\tau}{\eta_0 - \eta_a} \cdot \ln \left(\frac{\eta_0}{\eta_a} \right), \text{ кг.}$$

Визначимо чисельними методами значення інтегралу

$$I = \int_0^{\tau} \frac{d\tau}{\eta_{TP}}.$$

Результати розрахунків внесемо у табл. 4.

Таблиця 4

Значення інтегралу

| Час, хв | ККД коробки передач, η | $1/\eta$ | Значення |
|---------|-----------------------------|----------|----------|
| 0 | 0,4393 | 2,2766 | |
| 10 | 0,5007 | 1,9971 | 22,7661 |
| 20 | 0,5554 | 1,8005 | 19,9709 |
| 30 | 0,6037 | 1,6566 | 18,0047 |
| 40 | 0,6459 | 1,5483 | 16,5655 |
| 50 | 0,6824 | 1,4655 | 15,4832 |

| | | | |
|---------------|--------|--------|-----------------|
| 60 | 0,7136 | 1,4014 | 14,6548 |
| 70 | 0,7398 | 1,3517 | 14,0142 |
| 80 | 0,7615 | 1,3132 | 13,5170 |
| 90 | 0,7789 | 1,2838 | 13,1323 |
| 100 | 0,7926 | 1,2617 | 12,8380 |
| 110 | 0,8027 | 1,2458 | 12,6173 |
| 120 | 0,8098 | 1,2349 | 12,4576 |
| Разом: | | | 186,0216 |

Результати розрахунків визначення зменшення витрат палива виконаємо табличним методом (табл. 5).

Таблиця 5

Зменшення витрат палива

| № | Показник | од. вим. | Джерело (формула) | Значення |
|------------------------|---|-----------|-------------------|-------------|
| 1 | Марка трактора | | Вихідні данні | ХТЗ-242К.20 |
| 2 | Номінальна потужність двигуна, Ne_0 | кВт | Вихідні данні | 176 |
| 3 | Питома витрата палива, be | кг/кВт·г | Вихідні данні | 0,214 |
| 4 | Завантаження двигуна, Xe | - | Вихідні данні | 0,6 |
| 5 | Гідросистема коробки передач, V_0 | л | Приймаємо | 17 |
| 6 | Густина масла, ρ | кг/л | Приймаємо | 0,887 |
| 7 | Теплоємність масла, Cp | кДж/(кгК) | Приймаємо | 1,85 |
| 8 | Температура повітря, t_a | С | Вихідні данні | -5 |
| Результати розрахунків | | | | |
| 9 | ККД трансмісії за температури повітря, η_a | | Розраховано | 0,4393 |

| | | | | |
|--------------------------|--|-----|--|---------|
| 10 | ККД трансмісії після прогріву, η_0 | | Розраховано | 0,8098 |
| 11 | Прогрів за рахунок тертя | | | |
| 12 | Витрата палива з урахуванням прогріву масла, B | кг | $B = \frac{Xe \cdot Ne_0 \cdot be \cdot I}{60}$ | 70,06 |
| 13 | Витрата палива за умови номінального ККД трансмісії, B_0 | кг | $B_0 = Xe \cdot Ne_0 \cdot be \cdot 2$ | 55,81 |
| 14 | Перевитрата палива, ΔB | кг | $\Delta B_1 = B - B_0$ | 14,24 |
| Система утилізації тепла | | | | |
| 15 | ККД утилізаційного котла, η_u | % | Приймаємо | 50 |
| 16 | Коефіцієнт втрат, K_v | % | Приймаємо | 20 |
| 17 | Потужність системи утилізації тепла, N_{hr} | кВт | $N_{hr} = Xe \cdot Ne_0 \cdot \beta$ | 52,8 |
| 18 | Час прогріву масла, τ | сек | $\tau = \frac{V_0 \cdot \rho \cdot C_p \cdot (t_0 - t_a)}{N_{hr} \cdot K_v}$ | 224,543 |
| 19 | | хв | | 3,742 |
| 20 | | год | | 0,062 |
| 21 | Витрата палива, B | кг | $B = \frac{Xe \cdot Ne_0 \cdot be}{3600} \cdot \frac{\tau}{\eta_0 - \eta_a} \cdot \ln\left(\frac{\eta_0}{\eta_a}\right)$ | 2,327 |
| 22 | Витрата палива за умови номінального ККД трансмісії, B_0 | кг | $B_0 = Xe \cdot Ne_0 \cdot be \cdot \frac{\tau}{3600}$ | 1,741 |
| 23 | Перевитрата палива, ΔB_2 | кг | $\Delta B_1 = B - B_0$ | 0,586 |

| | | | | |
|----|--|----|-----------------------------|--------|
| 24 | Ефект від використання системи утилізації тепла, ΔB_{hr} | кГ | $\Delta B_{hr} = B_1 - B_2$ | 13,657 |
|----|--|----|-----------------------------|--------|

Додатки

Таблиця Д.1

Коефіцієнти опору кочення f і коефіцієнти зчеплення ϕ

| Вид ґрунту чи дороги | Трактори на пневматичних шинах | | Гусеничні трактори | |
|-------------------------------|--------------------------------|-----------|--------------------|----------|
| | f | ϕ | f | ϕ |
| Трактори | | | | |
| Асфальтове шосе | 0,01-0,02 | 0,8-0,9 | - | - |
| Гравійне шосе | 0,02-0,03 | 0,6 | - | - |
| Ґрунтова суха дорога | 0,025-0,045 | 0,6-0,8 | 0,02-0,07 | 0,9-1,0 |
| Цілина | 0,03-0,07 | 0,7-0,9 | 0,06-0,07 | 1,0-1,1 |
| Заліж 2-3 років | 0,06-0,08 | 0,6-0,8 | 0,06-0,07 | 0,9-1,0 |
| Стерня | 0,08-0,10 | 0,06-0,8 | 0,06-0,08 | 0,8-1,0 |
| Переоране поле | 0,12-0,18 | 0,5-0,7 | 0,08-0,10 | 0,6-0,8 |
| Поле підготоване під посів | 0,16-0,18 | 0,4-0,6 | 0,10-0,12 | 0,6-0,7 |
| Скошений лан | 0,08 | 0,6-0,8 | 0,07 | 0,7-0,9 |
| Укатана сніжна дорога | 0,03-0,04 | 0,3-0,4 | 0,06-0,07 | 0,5-0,7 |
| Дорога вкрита льодом | 0,02-0,025 | 0,1-0,3 | 0,03-0,04 | 0,2-0,4 |
| Болотно-торф'яна цілина осуш. | - | - | 0,11-0,14 | 0,4-0,6 |
| Пісок | 0,16-0,18 | 0,3-0,4 | 0,10-0,15 | 0,4-0,15 |
| Автомобілі | | | | |
| Асфальтове шосе | 0,015-0,020 | 0,6-0,75 | | |
| Гравійно-щебнева дорога | 0,020-0,030 | 0,5-0,65 | | |
| Булижна мостова | 0,025-0,035 | 0,4-0,5 | | |
| Суха ґрунтова | 0,03-0,05 | 0,5-0,7 | | |
| Ґрунтова дорога після дощу | 0,05-0,15 | 0,35-0,5 | | |
| Пісок | 0,17-0,30 | 0,65-0,75 | | |
| Сніжна укатана дорога | 0,03-0,04 | 0,3-0,35 | | |

Характеристики тракторів

| № п.п. | Показники | ХТЗ-3512 | МТЗ-422 | LS XR50 |
|--------|--|------------|---------------------|-----------|
| 1 | Тип | 4К4 | 4К4 | 4К4 |
| 2 | Номінальне тягове зусилля, кН | 9 | 9 | 9 |
| 3 | Маса конструктивна, кг | 2150 | 2000 | 1930 |
| 4 | Маса експлуатаційна, кг | 2250 | 2180 | 2130 |
| 5 | Розподіл маси на передню вісь | - | - | |
| 6 | Розподіл маси на задню вісь | - | - | |
| 7 | Марка двигуна | MMZ-3LD | Lombardini LDW 2204 | S4Q-L34.6 |
| 8 | Номінальна потужність, кВт | 26 | 36,6 | 35 |
| 9 | Номінальна частота обертання кол. вала, хв^{-1} | 3000 | 3000 | 2750 |
| 10 | Питома витрата палива, г/(кВт·год) | 258 | 329 | 245 |
| | Максимальний крутний момент двигуна, Н·м | 100 | 125 | 149 |
| 11 | Ступінь стиску | 18 | 22,0 | 22 |
| 16 | Маса баласта, кг | 250 | 200 | 80 |
| 17 | Шини передніх коліс | 6,5-16 | 210/80R16 | 8.3-20 |
| 18 | Шини задніх коліс | 9,5-32 | 11.2- 20 | 12,4-28 |
| | Швидкості руху, км/год (макс-мінім) | 30,25-1,27 | 31,7-1,0 | 36-1,1 |
| | Мінімальний радіус повороту, м | 3,5 | 3,8 | 2,75 |

Продовження таблиця Д.2

| № п.п. | Показники | LS PLUS70 | MTЗ-320.4М | New Holland TD 5.65 |
|--------|--|-----------|------------|---------------------|
| 1 | Тип | 4К4 | 4К4 | 4К4 |
| 2 | Номінальне тягове зусилля, кН | 14 | 6 | 14 |
| 3 | Маса конструктивна, кг | 2980 | - | 3000 |
| 4 | Маса експлуатаційна, кг | | 1720 | 3200 |
| 5 | Розподіл маси на передню вісь | | | - |
| 6 | Розподіл маси на задню вісь | | | - |
| 7 | Марка двигуна | F5C-53TC | MMZ-3LD | IVECO S8000 |
| 8 | Номінальна потужність, кВт | 53 | 26 | 49 |
| 9 | Номінальна частота обертання кол. вала, хв^{-1} | 2500 | 3000 | 2300 |
| 10 | Питома витрата палива, г/(кВт·год) | 236 | 258 | 239 |
| | Максимальний крутний момент двигуна, Н·м | 320 | 94 | 290 |
| 11 | Ступінь стиску | 17,1 | 18 | 17 |
| 16 | Маса баласта, кг | | | 200 |
| 17 | Шини передніх коліс | 11,2-24 | 7,5L-16 | 280/85R36 |
| 18 | Шини задніх коліс | 16,9-30 | 12,4L-16 | 320/85R36 |
| | Швидкості руху, км/год (макс-мінім) | 35-1,1 | 27,5-1,1 | 40-0,7 |
| | Мінімальний радіус повороту, м | 3,4 | 3,7 | 3,5 |

Продовження таблиця Д.2

| № п.п. | Показники | ХТЗ-16131 | ХТЗ-150К.09.172 | ХТЗ-241К.20 |
|--------|---|-----------|-----------------|---------------|
| 1 | Тип | 4К4 | 4К4 | 4К4 |
| 2 | Номінальне тягове зусилля, кН | 30 | 30 | 30 |
| 3 | Маса конструктивна, кг | 7820 | 7535 | - |
| 4 | Маса експлуатаційна, кг | 8260 | 8410 | 8540 |
| 5 | Розподіл маси на передню вісь | 5000 | 5200 | - |
| 6 | Розподіл маси на задню вісь | 3260 | 2935 | - |
| 7 | Марка двигуна | BF6M1013E | ЯМЗ-236Д-3 | ММЗ Д-262.2S2 |
| 8 | Номінальна потужність, кВт | 125 | 128,7 | 184 |
| 9 | Номінальна частота обертання кол. вала, хв^{-1} | 2000 | 2100 | 2100 |
| 10 | Питома витрата палива при номінальній потужності, г/(кВт*год) | 233 | 220 | 230 |
| | Максимальний крутний момент двигуна, Н·м | 702 | 667 | 1130 |
| 11 | Ступінь стиску | 17,5 | 15,1 | 16 |
| 16 | Маса баласта, кг | | | |
| 17 | Шини передніх коліс | 16,9R38 | 21,3R-24 | 23,1R26 |
| 18 | Шини задніх коліс | 16,9R38 | 21,3R-24 | 23,1R26 |
| | Швидкості руху, км/год (макс-мінім) | 28,6-1,37 | 30,8-1,3 | 33,67-1,3 |
| | Мінімальний радіус повороту, м | 7,1 | 6,5 | 6,7 |

Продовження таблиця Д.2

| № п.п. | Показники | ХТЗ-242К.20 | ХТЗ-243К.20 | ХТЗ-248К.20 |
|--------|---|--------------|-------------|---------------|
| 1 | Тип | 4К4 | 4К4 | 4К4 |
| 2 | Номінальне тягове зусилля, кН | 40 | 35 | 30 |
| 3 | Маса конструктивна, кг | 8450 | - | - |
| 4 | Маса експлуатаційна, кг | 8900 | 8500 | 8350 |
| 5 | Розподіл маси на передню вісь | | - | - |
| 6 | Розподіл маси на задню вісь | | - | - |
| 7 | Марка двигуна | ЯМЗ-238М2-53 | ЯМЗ-536 | Iveco FPT N67 |
| 8 | Номінальна потужність, кВт | 176 | 184 | 176 |
| 9 | Номінальна частота обертання кол. вала, хв^{-1} | 2100 | 2100 | 2200 |
| 10 | Питома витрата палива при номінальній потужності, г/(кВт·год) | 245 | 215 | 205 |
| | Максимальний крутний момент двигуна, Н·м | 883 | 900 | 1020 |
| 11 | Ступінь стиску | 17,5 | 17,5 | 17,5 |
| 16 | Маса баласта, кг | | | |
| 17 | Шини передніх коліс | 23,1R26 | 23,1R26 | 23,1R26 |
| 18 | Шини задніх коліс | 23,1R26 | 23,1R26 | 23,1R26 |
| | Швидкості руху, км/год (макс-мінім) | 33,67-3,7 | 33,67-3,7 | 33,67-3,7 |
| | Мінімальний радіус повороту, м | 6,7 | 6,7 | 6,7 |

Продовження таблиця Д.2

| № п.п. | Показники | Vakula - 300.10 | Vakula - 300.12 | Vakula - 300.20 |
|--------|---|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1. | Тип | 4К4 | 4К4 | 4К4 |
| 2. | Номінальне тягове зусилля, кН | 50-65 | 55-70 | 63-75 |
| 3. | Маса конструктивна, кг | | | |
| 4. | Маса експлуатаційна, кг | 13000 | 13100 | 12500 |
| 5. | Розподіл маси на передню вісь | | | |
| 6. | Розподіл маси на задню вісь | | | |
| 7. | Марка двигуна | ЯМЗ-238НД-5 | ТМЗ-8481.10 | DAF-430 |
| 8. | Номінальна потужність, кВт | 220 | 257 | 316 |
| 9. | Номінальна частота обертання колінчастого валу, об/хв | 1900 | 1900 | 2000 |
| 0. | Питома витрата палива при номінальній потужності, г/(кВт·год) | 220 | 204 | 202 |
| 1. | Максимальний крутний момент двигуна, Н·м | 1280 | 1570 | 1950 |
| 2. | Ступінь стиску | 17,5 | 15,5 | 17,0 |
| 3. | Маса баласта, кг | | | |
| 4. | Шини передніх коліс | 28.1R26 | 28.1R26 | 28.1R26 |
| 5. | Шини задніх коліс | 28.1R26 | 28.1R26 | 28.1R26 |
| 6. | Швидкості руху, км/год (макс-мінім) | 33,8-2,6 | 33,8-2,6 | 33,8-2,6 |
| 7. | Мінімальний радіус повороту, м | 7,2 | 7,2 | 7,2 |

Продовження таблиця Д.2

| № п.п. | Показники | LS V804 | MTЗ-82 | Беларус-920.6 |
|--------|--|-----------|------------|---------------|
| 1 | Тип | 4К4 | 4К4 | 4К4 |
| 2 | Номінальне тягове зусилля, кН | 19.0 | 14 | 14 |
| 3 | Маса конструктивна, кг | 3060 | 3370 | 5000 |
| 4 | Маса експлуатаційна, кг | - | 4000 | 5325 |
| 5 | Розподіл маси на передню вісь | - | 1270 | 2360 |
| 6 | Розподіл маси на задню вісь | - | 2100 | 2965 |
| 7 | Марка двигуна | 4G33TC | Д-243 | Д-245.43S4 |
| 8 | Номінальна потужність, кВт | 58,8 | 59,6 | 62 |
| 9 | Номінальна частота обертання колінчастого валу, хв ⁻¹ | 2300 | 2200 | 220 |
| 10 | Питома витрата палива при номінальній потужності, г/(кВт·год) | 238 | 229 | 241 |
| 11 | Максимальний крутний момент двигуна, Н·м | 305 | 298 | 411 |
| 12 | Ступінь стиску | 18 | 16 | |
| 13 | Маса баласта, кг | - | | |
| 14 | Шини передніх коліс | 11.2-24WF | 11,2-20 | 360/70R24 |
| 15 | Шини задніх коліс | 14.9-30WF | 15,5R38 | 18,4R34 |
| 16 | Швидкості руху, км/год (макс-мінім) | 40-1,2 | 33,39-1,89 | 35,2-2,4 |
| 17 | Мінімальний радіус повороту, м | 3,5 | 4,5 | 4,5 |

Продовження таблиця Д.2

| № п.п. | Показники | LS PLUS 90 | Беларус-1220.3 | Беларус-1022.4 |
|--------|--|------------|----------------|----------------|
| 1 | Тип | 4К4 | 4К4 | 4К4 |
| 2 | Номінальне тягове зусилля, кН | 14 | 20 | 14 |
| 3 | Маса конструктивна, кг | 3028 | 4850 | 4300 |
| 4 | Маса експлуатаційна, кг | | 5500 | 4600 |
| 5 | Розподіл маси на передню вісь | | | 1800 |
| 6 | Розподіл маси на задню вісь | | | 2800 |
| 7 | Марка двигуна | F5C-65TAA | Д-245.2S2 | Д-245S3A |
| 8 | Номінальна потужність, кВт | 65 | 90 | 81 |
| 9 | Номінальна частота обертання колінчастого валу, хв ⁻¹ | 2300 | 2200 | 2200 |
| 10 | Питома витрата палива, г/(кВт·год) | 238 | 254 | 235 |
| 11 | Максимальний крутний момент двигуна, Н·м | 350 | 490 | 430 |
| 12 | Ступінь стиску | 17 | 17 | 17 |
| 13 | Маса баласта, кг | | | |
| 14 | Шини передніх коліс | 12,4-24 | 420/70R24 | 360/70R24 |
| 15 | Шини задніх коліс | 18,4-30 | 18.4R38 | 16.9R38 |
| 16 | Швидкості руху, км/год (макс-мінім) | 40-1,2 | | 41,9-2,61 |
| 17 | Мінімальний радіус повороту, м | 3,4 | 5,0 | 4,5 |

Продовження таблиця Д.2

| № п.п. | Показники | LS 1004 | Беларус-1525.5 | Беларус-2022.6 |
|--------|--|------------------|----------------|----------------|
| 1 | Тип | 4К4 | 4К4 | 4К4 |
| 2 | Номінальне тягове зусилля, кН | 20 | 30 | 30 |
| 3 | Маса конструктивна, кг | 3240 | 6200 | 6850 |
| 4 | Маса експлуатаційна, кг | | 6800 | 7300 |
| 5 | Розподіл маси на передню вісь | | 3000 | 2960 |
| 6 | Розподіл маси на задню вісь | | 3800 | 4340 |
| 7 | Марка двигуна | LR4A3LU22 /0735E | Д-260.1 S3B | Д-260.4 S4 |
| 8 | Номінальна потужність, кВт | 75,9 | 116 | 155,9 |
| 9 | Номінальна частота обертання колінчастого валу, хв ⁻¹ | 2376 | 2100 | 2100 |
| 10 | Питома витрата палива при номінальній потужності, г/(кВт·год) | 243 | 222 | 224 |
| 11 | Максимальний крутний момент двигуна, Н·м | 429 | 600 | 920 |
| 12 | Ступінь стиску | 18 | 17 | 17 |
| 13 | Маса баласта, кг | | 3200 | |
| 14 | Шини передніх коліс | 12,4-24 | 420/70R24 | 420/70R24 |
| 15 | Шини задніх коліс | 16,9-34 | 520/70R38 | 580/70R42 |
| 16 | Швидкості руху, км/год (макс-мінім) | 40-1,2 | 38,8-2,4 | 39,6-1,9 |
| 17 | Мінімальний радіус повороту, м | 3,5 | 5,3 | 5,3 |

Продовження таблиця Д.2

| № п.п. | Показники | Беларус-3022ДЦ.1 | John Deere 7730 | John Deere 7250R |
|--------|--|------------------|-----------------|------------------|
| 1 | Тип | 4К4 | 4К4 | 4К4 |
| 2 | Номінальне тягове зусилля, кН | 50 | - | - |
| 3 | Маса конструктивна, кг | 10500 | 7850 | 10980 |
| 4 | Маса експлуатаційна, кг | 11590 | 13100 | 16000 |
| 5 | Розподіл маси на передню вісь | 5320 | | |
| 6 | Розподіл маси на задню вісь | 6270 | | |
| 7 | Марка двигуна | BF06M1013 FC | ECE-R24 | |
| 8 | Номінальна потужність, кВт | 248 | 140 | 250 |
| 9 | Номінальна частота обертання колінчастого валу, хв ⁻¹ | 2300 | 2100 | 2100 |
| 10 | Питома витрата палива, г/(кВт·год) | 248 | 235 | 230 |
| 11 | Максимальний крутний момент двигуна, Н·м | 1300 | 859 | 1171 |
| 12 | Ступінь стиску | 18 | | |
| 13 | Маса баласта, кг | | | |
| 14 | Шини передніх коліс | 540/65R30 | | 620/75 R30 |
| 15 | Шини задніх коліс | 620/70R42 | | 900/60 R42 |
| 16 | Швидкості руху, км/год (макс-мінім) | 39,6-2,4 | 42-1,5 | 42-0,05 |
| 17 | Мінімальний радіус повороту, м | 5,5 | 5,3 | 6,7 |

Продовження таблиця Д.2

| № п.п. | Показники | Fendt 924 | Fendt 930 | Fendt 936 |
|--------|--|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | Тип | 4К4 | 4К4 | 4К4 |
| 2 | Номінальне тягове зусилля, кН | | | |
| 3 | Маса конструктивна, кг | 10700 | 10760 | 10830 |
| 4 | Маса експлуатаційна, кг | 15000 | 15000 | 15000 |
| 5 | Розподіл маси на передню вісь | | | |
| 6 | Розподіл маси на задню вісь | | | |
| 7 | Марка двигуна | - | - | - |
| 8 | Номінальна потужність, кВт | 154 | 199 | 243 |
| 9 | Номінальна частота обертання колінчастого валу, хв ⁻¹ | 2200 | 2200 | 2200 |
| 10 | Питома витрата палива, г/(кВт·год) | 195 | 195 | 195 |
| 11 | Максимальний крутний момент двигуна, Н·м | 1049 | 1234 | 1498 |
| 12 | Ступінь стиску | | | |
| 13 | Маса баласта, кг | | | |
| 14 | Шини передніх коліс | 540/65R34 | 600/65R34 | 600/70R34 |
| 15 | Шини задніх коліс | 650/65R42 | 650/85R38 | 710/75R42 |
| 16 | Швидкості руху, км/год (макс-мінім) | 34-0,02 (Vario) | 34-0,02 (Vario) | 34-0,02 (Vario) |
| 17 | Мінімальний радіус повороту, м | 6,08 | 6,45 | 6,45 |

Продовження таблиця Д.2

| № п.п. | Показники | John Deere 6110M | John Deere 6150M | John Deere 6170M |
|--------|--|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | Тип | 4К4 | 4К4 | 4К4 |
| 2 | Номінальне тягове зусилля, кН | | | |
| 3 | Маса конструктивна, кг | 5800 | 5930 | 7105 |
| 4 | Маса експлуатаційна, кг | 8650 | 10800 | 11300 |
| 5 | Розподіл маси на передню вісь | | | |
| 6 | Розподіл маси на задню вісь | | | |
| 7 | Марка двигуна | | | |
| 8 | Номінальна потужність, кВт | 81 | 110 | 125 |
| 9 | Номінальна частота обертання колінчастого валу, хв ⁻¹ | 2100 | 2100 | 2100 |
| 10 | Питома витрата палива, г/(кВт·год) | 215 | 215 | 215 |
| 11 | Максимальний крутний момент двигуна, Н·м | 497 | 677 | 768 |
| 12 | Ступінь стиску | | | |
| 13 | Маса баласта, кг | | | |
| 14 | Шини передніх коліс | 540/65R24 | 540/65R28 | 600/65R28 |
| 15 | Шини задніх коліс | 600/65R38 | 650/65R38 | 710/70R38 |
| 16 | Швидкості руху, км/год (макс-мінім) | AutoQuardPl us 40-1,4 | PowrQuard Plus 40-2,5 | PowrQuard Plus 40-2,5 |
| 17 | Мінімальний радіус повороту, м | 5,5 | 5,5 | 5,7 |

Продовження таблиця Д.2

| № п.п. | Показники | ХТА-200-10 | ХТА-220-2 | ХТА-250-13 |
|--------|--|------------|-----------|------------|
| 1 | Тип | 4К4 | 4К4 | 4К4 |
| 2 | Номінальне тягове зусилля, кН | 30...40 | 30...40 | 30...40 |
| 3 | Маса конструктивна, кг | 8240 | 8615 | 8220 |
| 4 | Маса експлуатаційна, кг | 8810 | 9195 | 8790 |
| 5 | Розподіл маси на передню вісь | 5550 | 5832 | 5538 |
| 6 | Розподіл маси на задню вісь | 3260 | 3353 | 3252 |
| 7 | Марка двигуна | Д-260.4 | ЯМЗ-238М2 | TAD 721 VE |
| 8 | Номінальна потужність, кВт | 154,4 | 176 | 195 |
| 9 | Номінальна частота обертання колінчастого валу, хв ⁻¹ | 2100 | 2100 | 2300 |
| 10 | Питома витрата палива, г/(кВт·год) | 220 | 252 | 214 |
| 11 | Максимальний крутний момент двигуна, Н·м | 808 | 883 | 907 |
| 12 | Ступінь стиску | | 17,5 | 19 |
| 13 | Маса баласту, кг | | | |
| 14 | Шини передніх коліс | 23,1R26 | 23,1R26 | 23,1R26 |
| 15 | Шини задніх коліс | 23,1R26 | 23,1R26 | 23,1R26 |
| 16 | Швидкості руху, км/год (макс-мінім) | 3,6-34,7 | 3,72-29,4 | 1,57-34,5 |
| 17 | Мінімальний радіус повороту, м | 6,5 | 6,5 | 6,5 |

Продовження таблиця Д.2

| № п.п. | Показники | John Deere 8260R | John Deere 7250R | John Deere 7310R |
|--------|--|---------------------|------------------|------------------|
| 1 | Тип | 4К4 | 4К4 | 4К4 |
| 2 | Номінальне тягове зусилля, кН | | | |
| 3 | Маса конструктивна, кг | | 10980 | 11120 |
| 4 | Маса експлуатаційна, кг | 13003 | 16000 | 16000 |
| 5 | Розподіл маси на передню вісь | | | |
| 6 | Розподіл маси на задню вісь | | | |
| 7 | Марка двигуна | | | |
| 8 | Номінальна потужність, кВт | 191 | 184 | 228 |
| 9 | Номінальна частота обертання колінчастого валу, хв ⁻¹ | 2100 | 2100 | 2100 |
| 10 | Питома витрата палива, г/(кВт·год) | 226 | 234 | 234 |
| 11 | Максимальний крутний момент двигуна, Н·м | 1217 | 1171 | 1452 |
| 12 | Ступінь стиску | | | |
| 13 | Маса баласту, кг | | 5020 | 4800 |
| 14 | Шини передніх коліс | 600/70R30 | 600/70 R30 | 620/75 R30 |
| 15 | Шини задніх коліс | 10/70R42 | 800/70 R38 | 900/60 R42 |
| 16 | Швидкості руху, км/год (макс-мінім) | 0,05-42 JD AutoPowr | 0,05-42 AutoPowr | 0,05-42 AutoPowr |
| 17 | Мінімальний радіус повороту, м | 6,09 | 6,7 | 6,7 |

Таблиця Д.3

Дискові культиватори Carrier

| Марка | Робоча ширина, м | Вага, кг | Необхідна тягова потужність, к.с |
|--------------|-----------------------------|-----------------|---|
| CR 300 | 3,0 | 1800 | 85-110 |
| CR 350 | 3,19 | 2000 | 100-150 |
| CR 400 | 3,64 | 2300 | 110-160 |
| CR 420 | 3,94 | 4300 | 120-170 |
| CR 500 | 4,94 | 4900 | 150-200 |
| CR 650 | 6,44 | 5800 | 190-250 |
| CR 820 | 7,94 | 7700 | 220-300 |
| CR 925 | 8,94 | 9100 | 300-500 |
| CR 1225 | 12,25 | 11700 | 400-600 |
| CR 420* | 3,94 | 4000 | 120-170 |
| CR 500 * | 4,94 | 5400 | 150-200 |
| CR 650 * | 6,44 | 6800 | 190-250 |
| CR 925 * | 8,94 | 10000 | 300-500 |
| CRX 425 | 4,25 | 3200 | 150-200 |
| CRX 525 | 5,25 | 3800 | 200-250 |
| CRX 625 | 6,25 | 4300 | 250-300 |
| CRXL 425 | 4,1 | 5600 | 150-200 |
| CRXL 525 | 5,1 | 6500 | 185-235 |
| CRXL 625 | 6,1 | 6900 | 220-270 |
| CRXL 925 | 9,15 | 10400 | 300-500 |
| CRXL1225 | 12,15 | 13100 | 400-600 |

Таблиця Д.4

Класифікація сільськогосподарських тракторів по тяговому зусиллю ГОСТ 27021-86

| | | | | | | | | | | |
|--|----------|----------|----------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Тяговий клас | 0,2 | 0,6 | 0,9 | 1,4 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 5,0 | 6,0 | 8,0 |
| Номінальне тягове зусилля, <i>P_{тн}</i> | 2 | 6 | 9 | 14 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 80 |
| Діапазон тягових зусиль <i>P_т</i> , кН | 1,4 - | 5,4 - | 8,1 - | 12,6 - | 18 - | 27 - | 36 - | 45 - | 54 - | 72 - |
| | 5,4 | 8,1 | 12,6 | 18 | 27 | 36 | 45 | 54 | 72 | 108 |

Таблиця Д.5

Міжнародна класифікація по тяговій потужності (ISO 730/1-77; 730/2-79; 730/3-82)

| | | | | |
|--|----|-------|--------|---------|
| Категорія трактора | 1 | 2 | 3 | 4 |
| Максимальна тягова потужність <i>N_{т.мах}</i> , кВт | 30 | 30-75 | 70-135 | 135-300 |

Таблиця Д.6

Співвідношення між тяговими класами по ГОСТ і категоріями тракторів, які зареєстровані міжнародними стандартами ISO

| | | | | | |
|----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Тяговий клас по ГОСТ | 0.2-0.6 | 0.6-0.9 | 0.9-2.0 | 2.0-4.0 | 5.0-8.0 |
| Категорія по ISO | 1 | | 2 | 3 | 4 |

**Розподіл балів, які отримують здобувачі вищої освіти
10 семестр**

| Модуль | Кількість годин | | Форма контролю | Оцінка | |
|------------------------------------|-----------------|----|-------------------------|--------|-----|
| | ЛК | ПР | | min | max |
| 1 | 6 | 6 | Лабораторне заняття № 1 | 8 | 13 |
| | | | Лабораторне заняття № 2 | 7 | 12 |
| | | | Лабораторне заняття № 3 | 7 | 12 |
| | | | Разом | 22 | 37 |
| 2 | 6 | 6 | Лабораторне заняття № 4 | 8 | 13 |
| | | | Лабораторне заняття № 5 | 7 | 12 |
| | | | Лабораторне заняття № 6 | 7 | 12 |
| | | | Разом | 22 | 37 |
| 3 | 6 | 6 | Лабораторне заняття № 7 | 8 | 13 |
| | | | Лабораторне заняття № 8 | 8 | 13 |
| | | | Разом | 16 | 26 |
| 5 | | | Наукова робота | 5 | 5 |
| Для кожної роботи: | | | | | |
| Присутність на лекції | | | 0,5 | 0 | 18 |
| Присутність на практичному занятті | | | 0,5 | | |
| Разом | | | | 60 | 100 |

РЕЙТИНГОВА СИСТЕМА БАЛІВ

Оцінювання знань студентів здійснюється за рейтинговою системою балів. Для забезпечення конкретної оцінки всіх видів роботи студента максимальна кількість залікових балів за кожний модуль приймається 100 з наступним перерахунком в загальну оцінку через коефіцієнт вагомості модуля. Оцінка виставляється у відповідності із приведеною шкалою.

Шкала оцінок

| За шкалою ECTS | За національною шкалою | За шкалою навчального закладу |
|-----------------------|---|--------------------------------------|
| A | 5 (відмінно) | 90-100 |
| BC | 4 (добре) | 75-89 |
| DE | 3 (задовільно) | 60-74 |
| FX | 2 (незадовільно) з можливістю повторного складання | 35-59 |
| F | 2 (незадовільно) з обов'язковим повторним курсом | 1-34 |

Література

1. Carrol E. Goering, Allen C. Hansen Engine and Tractor Power 4th Edition. 2014.
2. Lee Klancher Red 4WD Tractors. 2017.
3. J. Carrol, P. J. Davies, The Complete Book of Tractors & Trucks: An Illustrated Guide to Agricultural Machines and Commercial Trucking Vehicles, 2002.
4. <http://www.newholland.com>
5. <https://www.caseih.com>
6. <https://www.deere.com>
7. <http://www.challenger-ag.us/>
8. <https://gruzovoy.ru/catalog/technic/type/samosvali>
9. <http://agromania.com.ua>

План 2020

Гавриш Валерій Іванович

**НОВІТНІ ЕНЕРГЕТИЧНІ ЗАСОБИ І СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ
МАШИНИ**

до розв'язання задач для здобувачами вищої освіти
ступеня «Магістр» спеціальності 208 «Агроінженерія» денної та
заочної форми навчання

Надруковано в видавничому центрі МДАУ.
Зам. 127 Наклад 30 прим.
54010, м. Миколаїв, вул. Паризької комуни, 9