

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТАВРІЙСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ДМИТРА МОТОРНОГО
Механіко-технологічний факультет**



Кафедра “Машиновикористання
в землеробстві”

**КОМПЛЕКТУВАННЯ ТЯГОВО-ПРИВІДНИХ
ГРУНТООБРОБНИХ АГРЕГАТІВ В СКЛАДІ
ЕНЕРГОНАСИЧЕНИХ ТРАКТОРІВ**

Методичні вказівки до
практичної роботи №6

з дисципліни «Аграрна інженерія»

для здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр»
зі спеціальності 208 «Агроінженерія»
(на основі бакалавра)

Мелітополь, 2020

УДК 631.5

Аграрна інженерія. Комплектування тягово-привідних ґрунтообробних агрегатів в складі енергонасичених тракторів. Методичні вказівки до практичної роботи №6 для здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр» зі спеціальності 208 «Агроінженерія» (на основі бакалавра). – Мелітополь: ТДАТУ, 2020. – 24 с.

Розробники: к.т.н, доцент Кувачов Володимир Петрович,

Рецензент: д.т.н. Михайлов Євген Володимирович

Розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри МВЗ,
протокол № від

Затверджено методичною комісією механіко-технологічного
факультету, протокол № від

КОМПЛЕКТУВАННЯ ТЯГОВО-ПРИВІДНИХ ГРУНТООБРОБНИХ АГРЕГАТІВ В СКЛАДІ ЕНЕРГОНАСИЧЕНИХ ТРАКТОРІВ

МЕТА РОБОТИ

Ознайомлення майбутніх фахівців із методикою та набуття ними практичних навичок комплектування тягово-привідних машинно-тракторних агрегатів (МТА) у складі енергонасичених тракторів.

1 ВКАЗІВКИ З САМОПІДГОТОВКИ ДО РОБОТИ

1.1 Завдання для самостійної підготовки

Вивчити:

- особливості побудови та використання теоретичної тягової характеристики трактора при відборі потужності через вал відбору потужності (ВВП) [1-6];
- комплектування МТА з використанням тягових і тягово-динамічних характеристик мобільних енергетичних засобів [1-5].

Ознайомитися:

- з методологією комплектування тягово-привідних МТА у складі енергонасичених тракторів (теоретичний матеріал методичних вказівок).

Скласти звіт по роботі: (розділ 4 методичних вказівок).

Робота повинна бути оформлена окремим звітом на аркушах формату А4 згідно з вимогами ДСТ 2.105-95 ЄСКД.

1.2 Питання для самопідготовки

1) Основні напрями ефективного використання енергонасичених мобільних енергетичних засобів тягово-енергетичної концепції в складі машинно-тракторних агрегатів.

2) Основні завдання комплектування машинно-тракторних агрегатів. Етапи аналітичного методу обґрунтування складу агрегату та його режиму роботи.

3) Загальний і тяговий ККД трактора, їх визначення та зони максимального значення на тяговій характеристиці. Причини зниження ККД при малих тягових навантаженнях, а також при збільшенні сили тяги на гаку трактора.

4) Раціональний швидкісний режим роботи агрегату, що відповідає максимуму тягового ККД і допустимому рівню буксуванню рушіїв?

5) Потенційна тягова характеристика трактора, зони найбільш ефективної роботи трактора.

1.3 Рекомендована література

1. Кутьков Г.М. Тракторы и автомобили: теория и технологические свойства: Учебник / Г.М. Кутьков - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014 - 506с.
2. Чудаков Д.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля / Д.А.Чудаков. – М.: Колос, 1972. - 384 с.
3. Шевченко І.О. Особливості побудови та використання теоретичної тягової характеристики трактора при відборі потужності через ВВП // І.О. Шевченко, О.М. Піпченко // Вісник ХНТУСГ. – 2012. – № 124.2-10. – С.52-60.
4. Тракторы. Теория: учебник для студентов вузов по спец. «Автомобили и тракторы» / В.В. Гуськов, Н.Н. Велев, Ю.Е. Атаманов. – М.: Машиностроение, 1988. – 376 с.
5. Самсонов В.А. Расчёт тяговой характеристики трактора / В.А. Самсонов // Тракторы и сельскохозяйственные машины.–2001.–№5.– С 27–28.
6. Кычев В.Н. Взаимосвязь энергетических, тягово-динамических и весовых параметров трактора / В.Н. Кычев, Е.И. Бердов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2004. – №9. – С 25-27.

2 ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ

2.1 Програма роботи

2.1.1 Виконуючи роботу, студенту необхідно навчитися:

- методології комплектування тягово-привідних МТА у складі енергонасичених тракторів.

2.1.2 Здійснити:

- підбір машини для виконання сільськогосподарської роботи в агрегаті із заданим трактором (завдання 1);
- підбір трактора до відомої сільськогосподарської машини для виконання заданої технологічної операції (завдання 2);
- визначення раціонального режиму роботи відомого агрегату в заданих умовах (завдання 3).

Скласти звіт та захистити роботу.

2.2 Оснащення робочого місця

1. Робочий зошит.
2. Методичні вказівки до виконання роботи.
3. Обчислювальний пристрій.
4. Інструкція з охорони праці (відповідно з ДНАОП 0.00-4.25-98).

3 МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Комплектування машинно-тракторних агрегатів має на меті вибір раціонального складу агрегату (енергетичного засобу та агрегатуємих з ним сільськогосподарських машин, які забезпечують у конкретних умовах роботи необхідну якість виконуваної технологічної операції, максимальну продуктивність і мінімальні витрати палива, тобто мінімум енерговитрат) та швидкісного режиму його роботи. Вказана мета може бути досягнута в тому випадку, якщо тяговий (або повний) ККД трактора, що працює в складі агрегату, буде близький до максимально можливого в заданих умовах.

Виконання всіх перерахованих вимог можливо тільки при комплексному рішенні завдань комплектування МТА, як на стадії їх формування, так і безпосередньо в умовах експлуатації. Основними критеріями раціональності комплектування агрегату є: тяговий ККД трактора; продуктивність роботи агрегату; питомі витрати палива; питомі витрати енергії на одиницю виконуваної роботи.

Основними параметрами для визначення критеріїв, що характеризують раціональність комплектування агрегату, є його ширина захвата й швидкість руху. Методика розрахунку вказаних параметрів залежить від поставленого завдання і має кілька напрямків.

3.1 Підбір машини для виконання сільськогосподарської роботи в агрегаті із заданим трактором. (Перший напрямок)

Завдання 1. Для відомого трактора необхідно підібрати машину для виконання конкретної сільськогосподарської роботи (оранки, глибокого розпушування, дискування, культивуації, посіву, міжрядної обробки посівів і т.п.).

Для рішення цього завдання необхідно знати наступні відомості щодо:

- технічної характеристики трактора;
- умов роботи агрегату (характеристика агрофона тощо);
- агротехнічно-допустимого інтервалу робочих швидкостей руху агрегату (км/год);
- значення питомого тягового опору сільськогосподарської машини k_m (кН/м);
- питомої ваги сільськогосподарської машини, що припадає на 1 м її ширини захвата q_m (кН/м);
- значення коефіцієнтів зчеплення рушія трактора із ґрунтом μ , опору коченню трактора f і машини f_m ;
- для тягово-привідних машин необхідно знати величину потужності, яка передається через вал відбору потужності трактора.

Алгоритм рішення завдань першого напрямку.

Спочатку розглядають тягові можливості трактора в діапазоні агротехнічно-допустимих швидкостей ($V_{\min} \dots V_{\max}$) для заданих умов роботи. При цьому, розраховують діапазон корисної потужності N_k^d двигуна трактора, яку можна реалізувати в агрегаті при виконанні технологічного процесу в межах агротехнічно-допустимої швидкості руху:

$$N_{k \min}^d = N_e^H \eta_m \left(1 - \frac{\delta}{100} \right) - \frac{fGV_{\min}}{3,6}, \quad (1)$$

$$N_{k \max}^d = N_e^H \eta_m \left(1 - \frac{\delta}{100} \right) - \frac{fGV_{\max}}{3,6}, \quad (2)$$

де N_e^H – номінальна потужність двигуна трактора, кВт;

G – вага трактора, кН;

η_m – механічний ККД трансмісії трактора (для колісних тракторів $\eta_m = 0,91 \dots 0,92$; для гусеничних $\eta_m = 0,86 \dots 0,88$);

f – коефіцієнт опору коченню трактора;

δ – буксування рушіїв трактора, %.

Діапазон тягової потужності $N_{кр}^\mu$, яка обумовлена зчіпними властивостями трактора, з урахуванням втрат на буксування і кочення в межах агротехнічно-допустимої швидкості руху визначається за залежністю

$$N_{кр \min}^\mu = \frac{GV_{\min}(\lambda\mu - f)}{3,6} - N_e^H \eta_m \frac{\delta}{100}, \quad (3)$$

$$N_{кр \max}^\mu = \frac{GV_{\max}(\lambda\mu - f)}{3,6} - N_e^H \eta_m \frac{\delta}{100}, \quad (4)$$

де λ – частка експлуатаційної ваги трактора, що припадає на рушій, (для колісних тракторів 4К4 і для гусеничних тракторів $\lambda = 1$);

μ – коефіцієнт зчеплення рушія трактора із ґрунтом.

Максимальна швидкість трактора $V_{N_{кр}^{\max}}$ при якій досягається максимальна тягова потужність:

$$V_{N_{кр}^{\max}} = 3,6 \frac{N_e^H \eta_m}{G \lambda \mu}. \quad (5)$$

Далі можливі три варіанти.

Перший варіант. Розрахункова швидкість входить у допустимий діапазон робочих швидкостей, тобто $V_{\min} > V_{N_{кр}^{\max}} \leq V_{\max}$.

В цьому випадку оптимальна швидкість руху $V_{\text{опт}}$ дорівнює $V_{N_{кр}^{\max}}$, а ширина захвату агрегату $B_{\text{опт}}$ розраховується за величиною максимальної тягової потужності $N_{кр}^{\max}$ (рис. 1).

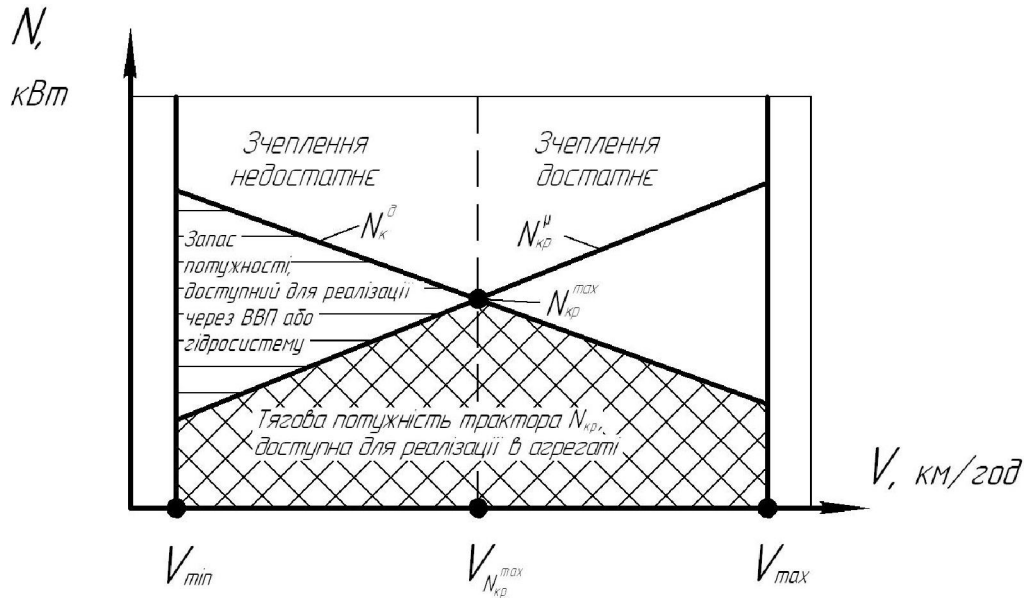


Рисунок 1 – Графік зміни корисної потужності $N_k^д$ двигуна і тягової потужності $N_k^т$ трактора в робочому діапазоні швидкостей руху

Оптимальна ширина захвата $B_{опт}$ тягово-привідних агрегатів розраховується за рівнянням:

$$B_{опт} = \frac{N_{кр}^{max}}{N_{пит} + N_{пит}^{ВВП}}, \quad (6)$$

де $N_{кр}^{max}$ – максимально можлива тягова потужність трактора, що дорівнюватиме:

$$N_{кр}^{max} = N_e^H \eta_m \left(1 - \frac{\delta}{100} - \frac{f}{\lambda \mu} \right), \quad (7)$$

$N_{пит}^{ВВП}$ – питома потужність, яка витрачається на привід робочих органів агрегату, кВт/м;

$N_{пит}$ – питома потужність, необхідна для переміщення тягово-привідного агрегату, кВт/м:

$$N_{пит} = \frac{V_{N_{кр}^{max}} q_m f_m}{3,6}, \quad (8)$$

де f_m – коефіцієнт опору коченню сільськогосподарської машини по полю;

q_m – питома вага сільськогосподарської машини, що припадає на 1 м її ширини захвата, кН/м.

За отриманою величиною $B_{опт}$ обирається конкретна машина (або група машин), у якої ширина захвата $B_{ар}$ найбільш близька (але не більша) за оптимальну, тобто

$$B_{ар} \leq B_{опт}. \quad (9)$$

Після вибору машини (машин) визначається потужність $N_{ар}$, яка необхідна для роботи агрегату в агротехнічно допустимому діапазоні швидкостей руху

($V_{\min} \dots V_{\max}$). Для роботи тягово-привідного агрегату вона складається з тягової потужності та потужності, яка передається через ВВП трактора, тобто

$$N_{\text{ар}}^{\min} = \frac{R_{\text{ар}} V_{\min}}{3,6} + N_{\text{ВВП}}, \quad (10)$$

$$N_{\text{ар}}^{\max} = \frac{R_{\text{ар}} V_{\max}}{3,6} + N_{\text{ВВП}}. \quad (11)$$

де $N_{\text{ВВП}}$ – потужність, яка витрачається на привід робочих органів конкретного (обраного) агрегату, кВт, розраховується:

$$N_{\text{ВВП}} = N_{\text{пит}}^{\text{ВВП}} \cdot B_{\text{ар}}, \quad (12)$$

$R_{\text{ар}}$ – тяговий опір обраного агрегату, кН.

Для тягово-привідних агрегатів в залежності від виду агрегату тяговий опір $R_{\text{ар}}$ можна розрахувати за однією із рівнянь:

$$R_{\text{ар}} = B_{\text{ар}} k_{\text{м}}, \quad (13)$$

$$R_{\text{ар}} = G_{\text{м}} f_{\text{м}}, \quad (14)$$

де $k_{\text{м}}$ – значення питомого тягового опору сільськогосподарської машини, кН/м;

$G_{\text{м}}$ – вага сільськогосподарської машини, кН.

Раціональною швидкістю руху обраного агрегату $V_{\text{рац}}$ буде така, яка максимально використовує потенційні можливості трактора, тобто

$$V_{\text{рац}} \rightarrow V_{N_{\text{кр}}^{\max}}. \quad (15)$$

Графоаналітичне рішення задачі представимо на прикладі рис. 2

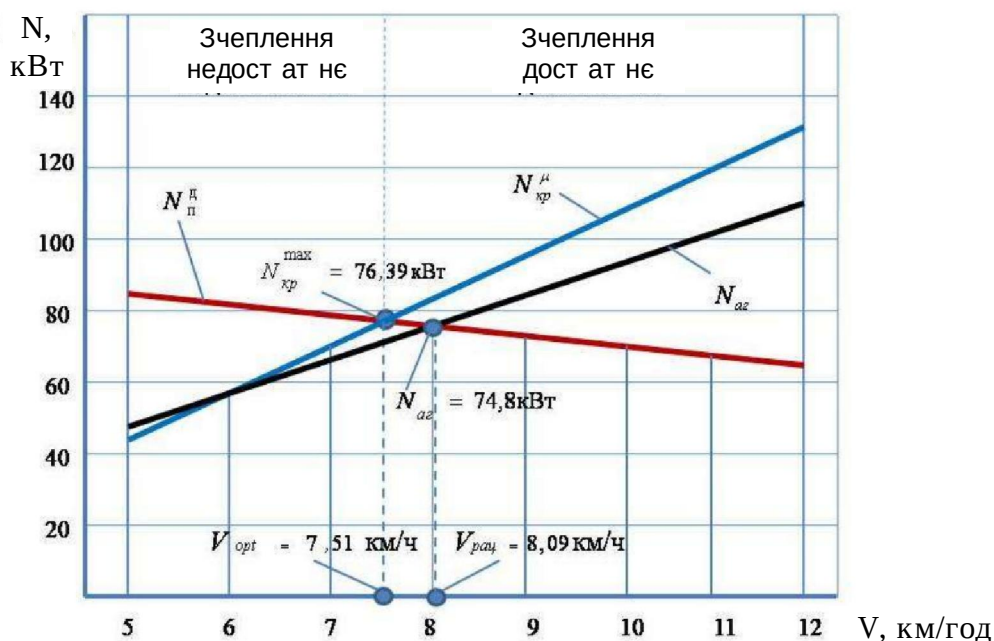


Рисунок 2 – Приклад графоаналітичного визначення раціонального режиму роботи агрегату в складі трактора New Holland (Т-7030) з бороною БДТ-7 в певних умовах

В умовах достатнього зчеплення рушіїв трактора із ґрунтом $V_{\text{рац}}$ визначається за умовою $N_{\text{ар}} = N_{\text{к}}^{\text{д}}$ і розраховується за рівнянням:

$$V_{\text{рац}} = 3,6 \frac{N_{\text{е}}^{\text{н}} \eta_{\text{м}} \left(1 - \frac{\delta}{100}\right) - N_{\text{ВВП}}}{R_{\text{ар}} + Gf}. \quad (16)$$

При недостатньому зчепленні рушіїв трактора із ґрунтом $V_{\text{рац}}$ визначається за умовою $N_{\text{ар}} = N_{\text{кр}}^{\text{н}}$ і розраховується за рівнянням:

$$V_{\text{рац}} = 3,6 \frac{N_{\text{е}}^{\text{н}} \eta_{\text{м}} \frac{\delta}{100} + N_{\text{ВВП}}}{G(\lambda\mu - f) - R_{\text{ар}}}. \quad (17)$$

Тяговий $\eta_{\text{т}}$ та повний η ККД трактора визначаються за рівняннями:

$$\eta_{\text{т}} = \frac{N_{\text{ар}} - N_{\text{ВВП}}}{N_{\text{е}}^{\text{н}}}, \quad (18)$$

$$\eta = \frac{N_{\text{ар}}}{N_{\text{е}}^{\text{н}}}. \quad (19)$$

Коефіцієнт завантаження двигуна трактора $\eta_{\text{з}}$ обчислюється за рівнянням:

$$\eta_{\text{з}} = \frac{N_{\text{е}}}{N_{\text{е}}^{\text{н}}}$$

де $N_{\text{е}}$ - потужність двигуна трактора, яка використовується, кВт. Вказана потужність визначається після вибору конкретного агрегату і розрахунку раціональної швидкості $V_{\text{рац}}$ його руху з балансу потужності трактора за рівнянням:

$$N_{\text{е}} = \frac{V_{\text{рац}}}{3,6\eta_{\text{м}}} (Gf + R_{\text{ар}}) \left(1 + \frac{\delta}{100}\right) + \frac{N_{\text{ВВП}}}{\eta_{\text{м}}}. \quad (20)$$

Другий варіант. Якщо розрахункова швидкість $V_{N_{\text{кр}}^{\text{н}}}$ виходить за межі допустимого діапазону робочих швидкостей у зоні достатнього зчеплення рушіїв трактора із ґрунтом, тобто $(V_{\text{min}} \dots V_{\text{max}}) > V_{N_{\text{кр}}^{\text{н}}}$, то максимально можлива тягова потужність $N_{\text{кр}}^{\text{дmax}}$ досягається при мінімально агротехнічно допустимій швидкості V_{min} (рис. 3) і визначається за рівнянням:

$$N_{\text{к}}^{\text{дmax}} = N_{\text{е}}^{\text{н}} \eta_{\text{м}} \left(1 - \frac{\delta}{100}\right) - \frac{fGV_{\text{min}}}{3,6}. \quad (21)$$

Оптимальна ширина захвата $B_{\text{опт}}$ тягово-привідних агрегатів в цьому випадку розраховується за рівнянням:

$$B_{\text{опт}} = \frac{N_{\text{к}}^{\text{дmax}}}{N_{\text{пит}} + N_{\text{пит}}^{\text{ВВП}}}, \quad (22)$$

де $N_{\text{пит}}^{\text{ВВП}}$ – питома потужність, яка витрачається на привід робочих органів агрегату, кВт/м;

$N_{\text{пит}}$ – питома потужність, необхідна для переміщення тягово-привідного агрегату, кВт/м;

$$N_{\text{пит}} = \frac{V_{\text{min}} q_M f_M}{3,6}, \quad (23)$$

де f_M – коефіцієнт опору коченню сільськогосподарської машини по полю;

q_M – питома вага сільськогосподарської машини, що припадає на 1 м її ширини захвата, кН/м.

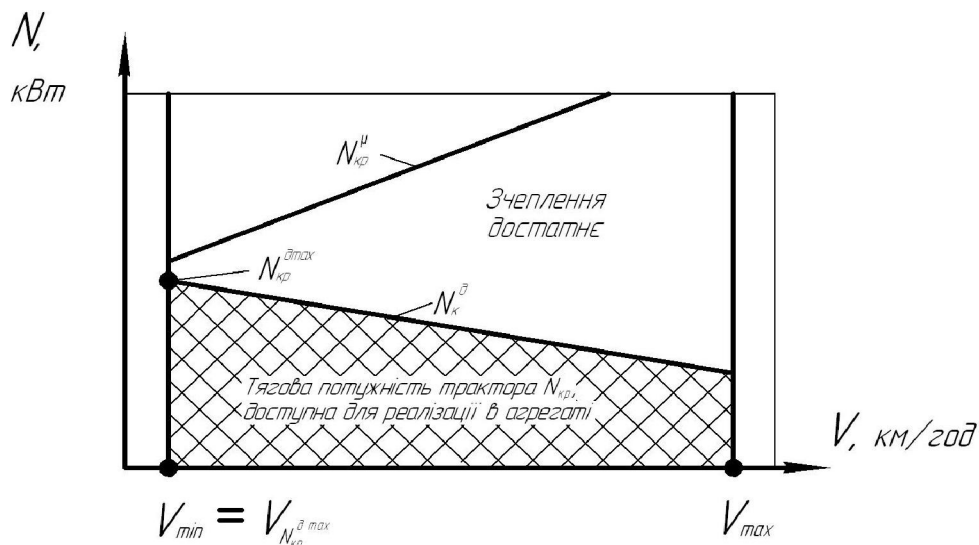


Рисунок 3 – Графік залежності тягової потужності $N_{кр}$ від швидкості руху V в зоні достатнього зчеплення рушіїв трактора із ґрунтом

За отриманою величиною V_{opt} обирається конкретна машина (або група машин), у якої ширина захвата $B_{\text{ар}}$ найбільш близька (але не більша) за оптимальну, тобто

$$B_{\text{ар}} \leq V_{\text{opt}}. \quad (24)$$

Після вибору машини (машин) визначається потужність $N_{\text{ар}}$, яка необхідна для роботи агрегату при мінімально агротехнічно допустимій швидкості V_{min} . Для роботи тягово-привідного агрегату вона складається з тягової потужності та потужності, яка передається через ВВП трактора, тобто

$$N_{\text{ар}}^{\text{min}} = \frac{R_{\text{ар}} V_{\text{min}}}{3,6} + N_{\text{ВВП}}, \quad (25)$$

де $N_{\text{ВВП}}$ – потужність, яка витрачається на привід робочих органів конкретного (обраного) агрегату, кВт, розраховується:

$$N_{\text{ВВП}} = N_{\text{пит}}^{\text{ВВП}} \cdot B_{\text{ар}}, \quad (26)$$

$R_{\text{ар}}$ – тяговий опір обраного агрегату, кН.

Для тягово-привідних агрегатів в залежності від виду агрегату тяговий опір $R_{\text{ар}}$ можна розрахувати за однією із рівнянь:

$$R_{\text{ар}} = B_{\text{ар}} k_M, \quad (27)$$

$$R_{\text{ар}} = G_M f_M, \quad (28)$$

де k_M – значення питомого тягового опору сільськогосподарської машини, кН/м;

G_m – вага сільськогосподарської машини, кН.

Тяговий η_t та повний η ККД трактора визначаються за рівняннями:

$$\eta_t = \frac{N_{ar} - N_{BBП}}{N_e^H}, \quad (29)$$

$$\eta = \frac{N_{ar}}{N_e^H}. \quad (30)$$

Коефіцієнт завантаження двигуна трактора η_z обчислюється за рівнянням:

$$\eta_z = \frac{N_e}{N_e^H}, \quad (31)$$

де N_e - потужність двигуна трактора, яка використовується, кВт. Вказана потужність визначається після вибору конкретного агрегату за рівнянням:

$$N_e = \frac{V_{min}}{3,6\eta_m} (Gf + R_{ar}) \left(1 + \frac{\delta}{100} \right) + \frac{N_{BBП}}{\eta_m}. \quad (32)$$

Третій варіант. Якщо розрахункова швидкість $V_{N_{кр}^{max}}$ виходить за межі припустимого діапазону робочих швидкостей у зоні недостатнього зчеплення рушія трактора із ґрунтом, тобто $(V_{min} \dots V_{max}) \leq V_{N_{кр}^{max}}$, то максимально можлива тягова потужність $N_{кр}^{\mu max}$ досягається при максимально агротехічно допустимій швидкості V_{max} (рис. 4) і визначається за рівнянням:

$$N_{кр}^{\mu max} = \frac{GV_{max}(\lambda\mu - f)}{3,6} - N_e^H \eta_m \frac{\delta}{100}. \quad (33)$$

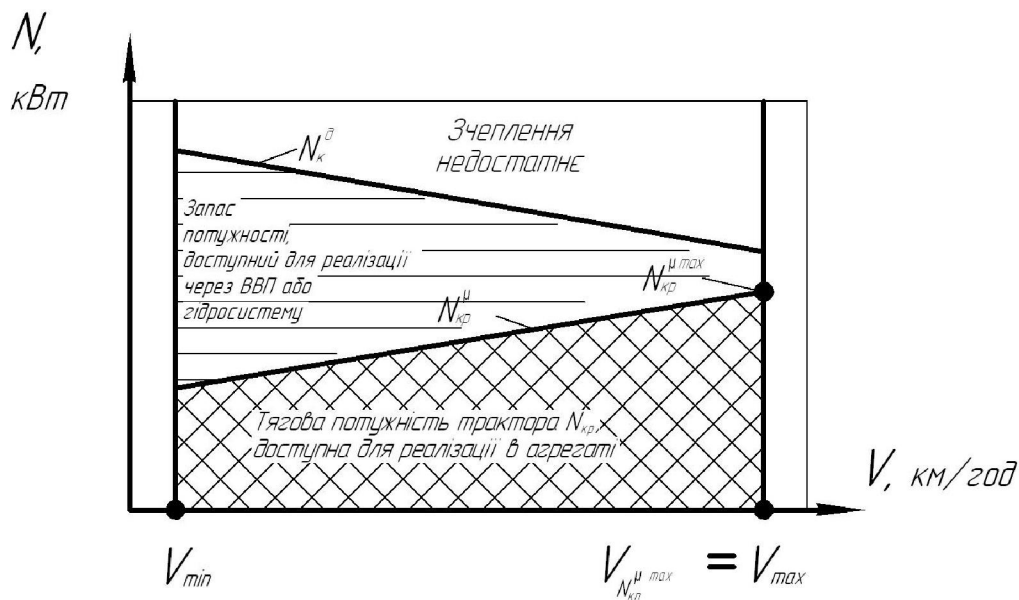


Рисунок 4 – Графік залежності тягової потужності $N_{кр}$ від швидкості руху V в зоні недостатнього зчеплення рушія трактора із ґрунтом

За рис. 4 частину корисної потужності двигуна трактора, яка недовикористовується на подолання тягового опору агрегату, може бути передана через ВВП або гідросистему трактора на привід робочих органів машин.

Оптимальна ширина захвата $B_{\text{опт}}$ тягово-привідних агрегатів в цьому випадку розраховується за рівнянням:

$$B_{\text{опт}} = \frac{N_{\text{кр}}^{\text{max}}}{N_{\text{пит}} + N_{\text{ВВП}}^{\text{ВВП}}}, \quad (34)$$

де $N_{\text{пит}}^{\text{ВВП}}$ – питома потужність, яка витрачається на привід робочих органів агрегату, кВт/м;

$N_{\text{пит}}$ – питома потужність, необхідна для переміщення тягово-привідного агрегату, кВт/м:

$$N_{\text{пит}} = \frac{V_{\text{max}} q_m f_m}{3,6}, \quad (35)$$

де f_m – коефіцієнт опору коченню сільськогосподарської машини по полю;

q_m – питома вага сільськогосподарської машини, що припадає на 1 м її ширини захвата, кН/м.

За отриманою величиною $B_{\text{опт}}$ обирається конкретна машина (або група машин), у якої ширина захвата $B_{\text{ар}}$ найбільш близька (але не більша) за оптимальну, тобто

$$B_{\text{ар}} \leq B_{\text{опт}}. \quad (36)$$

Після вибору машини (машин) визначається потужність $N_{\text{ар}}$, яка необхідна для роботи агрегату при максимально агротехнічно допустимій швидкості V_{max} . Для роботи тягово-привідного агрегату вона складається з тягової потужності та потужності, яка передається через ВВП трактора, тобто

$$N_{\text{ар}}^{\text{max}} = \frac{R_{\text{ар}} V_{\text{max}}}{3,6} + N_{\text{ВВП}}. \quad (37)$$

де $N_{\text{ВВП}}$ – потужність, яка витрачається на привід робочих органів конкретного (обраного) агрегату, кВт;

$R_{\text{ар}}$ – тяговий опір обраного агрегату, кН.

Для тягово-привідних агрегатів в залежності від виду агрегату тяговий опір $R_{\text{ар}}$ можна розрахувати за однією із рівнянь:

$$R_{\text{ар}} = B_{\text{ар}} k_m, \quad (38)$$

$$R_{\text{ар}} = G_m f_m, \quad (39)$$

де k_m – значення питомого тягового опору сільськогосподарської машини, кН/м;

G_m – вага сільськогосподарської машини, кН.

Тяговий η_t та повний η ККД трактора визначаються за рівняннями:

$$\eta_t = \frac{N_{\text{ар}} - N_{\text{ВВП}}}{N_e^H}, \quad (40)$$

$$\eta = \frac{N_{\text{ар}}}{N_e^H}. \quad (41)$$

Коефіцієнт завантаження двигуна трактора η_z обчислюється за рівнянням:

$$\eta_3 = \frac{N_e}{N_H}, \quad (42)$$

де N_e - потужність двигуна трактора, яка використовується, кВт. Вказана потужність визначається після вибору конкретного агрегату за рівнянням:

$$N_e = \frac{V_{\max}}{3,6\eta_m} (Gf + R_{ar}) \left(1 + \frac{\delta}{100} \right) + \frac{N_{\text{ВВП}}}{\eta_m}. \quad (43)$$

3.2 Підбір трактора до відомої сільськогосподарської машини для виконання заданої технологічної операції. (Другий напрямок)

Завдання 2. Для заданої сільськогосподарської машини (або групи машин) необхідно підібрати трактор, який забезпечує максимальну продуктивність агрегату при мінімальних енерговитратах на виконання заданої технологічної операції.

Для рішення завдань цього напрямку додатково потрібні відомості про технічну характеристику відомої сільськогосподарської машини. Крім того, варто визначитися з типом рушія обираємого трактора (гусеничний або колісний з його колісною формулою).

Алгоритм рішення завдань другого напрямку.

Спочатку визначають тяговий опір агрегату R_{ar} . Для тягово-привідних агрегатів в залежності від виду агрегату тяговий опір R_{ar} можна розрахувати за однією із рівнянь:

$$R_{ar} = B_{ar} k_m, \quad (44)$$

$$R_{ar} = G_m f_m, \quad (45)$$

де B_{ar} – ширина захвата агрегату, м;

k_m - значення питомого тягового опору сільськогосподарської машини, кН/м;

G_m – вага сільськогосподарської машини, кН.

Далі розраховують необхідну потужність для роботи відомої сільськогосподарської машини в агротехнічно допустимому діапазоні швидкостей руху ($V_{\min} \dots V_{\max}$). Для роботи тягово-привідного агрегату вона складається з тягової потужності та потужності, яка передається через ВВП трактора, тобто

$$N_{ar}^{\min} = \frac{R_{ar} V_{\min}}{3,6} + N_{\text{ВВП}}, \quad (46)$$

$$N_{ar}^{\max} = \frac{R_{ar} V_{\max}}{3,6} + N_{\text{ВВП}}, \quad (47)$$

де $N_{\text{ВВП}}$ – потужність, яка витрачається на привід робочих органів відомого агрегату, кВт.

Потім розраховують діапазон необхідної ефективної потужності двигуна трактора у встановленому діапазоні швидкостей:

$$N_e^{\min} = \frac{N_{ar}^{\min}}{\eta_m \left(1 - \frac{\delta}{100} - \frac{f}{\lambda \mu} \right)}, \quad (48)$$

$$N_e^{\max} = \frac{N_{ar}^{\max}}{\eta_m \left(1 - \frac{\delta}{100} - \frac{f}{\lambda \mu} \right)}, \quad (49)$$

де λ – частка експлуатаційної ваги трактора, що припадає на рушій, (для колісних тракторів 4К4 і для гусеничних тракторів $\lambda = 1$);

μ – коефіцієнт зчеплення рушія трактора із ґрунтом.

Далі визначають діапазон експлуатаційної ваги трактора G , яка забезпечує достатні зчіпні властивості в розглянутих умовах. Для чого достатньо розрахувати два значення:

1) $G_{\min}$ при $V_{\min}$ і $N_e^{\min}$:

$$G_{\min} = 3,6 \frac{(N_e^{\min} - N_{\text{ВВП}}) \eta_m}{V_{\min} \lambda \mu}. \quad (50)$$

2) $G_{\max}$ при $V_{\max}$ і $N_e^{\max}$:

$$G_{\max} = 3,6 \frac{(N_e^{\max} - N_{\text{ВВП}}) \eta_m}{V_{\max} \lambda \mu}. \quad (51)$$

За результатами розрахункових значень $N_e^{\min} \dots N_e^{\max}$ і $G_{\min} \dots G_{\max}$ обирають трактор.

Максимально можлива тягова потужність цього трактора в заданих умовах дорівнюватиме:

$$N_{\text{кр}}^{\max} = N_e^H \eta_m \left(1 - \frac{\delta}{100} - \frac{f}{\lambda \mu} \right), \quad (52)$$

N_e^H – номінальна потужність двигуна трактора, кВт.

Після вибору трактора визначають раціональну швидкість руху агрегату $V_{\text{рац}}$:

$$V_{\text{рац}} = 3,6 \frac{N_e^H \eta_m \left(1 - \frac{\delta}{100} \right) - N_{\text{ВВП}}}{R_{ar} + Gf}, \quad (53)$$

де G – вага трактора, кН.

Якщо розрахункова швидкість $V_{\text{рац}}$ виходить за межі припустимого діапазону робочих швидкостей, тобто $V_{\text{рац}} > (V_{\min} \dots V_{\max})$, то за агротехнічними умовами приймаємо $V_{\text{рац}} = V_{\max}$.

Далі розраховують необхідну потужність N_{ar} для роботи тягово-привідного агрегату:

$$N_{ar} = \frac{R_{ar} V_{\text{рац}}}{3,6} + N_{\text{ВВП}}. \quad (54)$$

Представимо для прикладу рішення розглядаємої задачі в графоаналітичній формі на рис. 5.

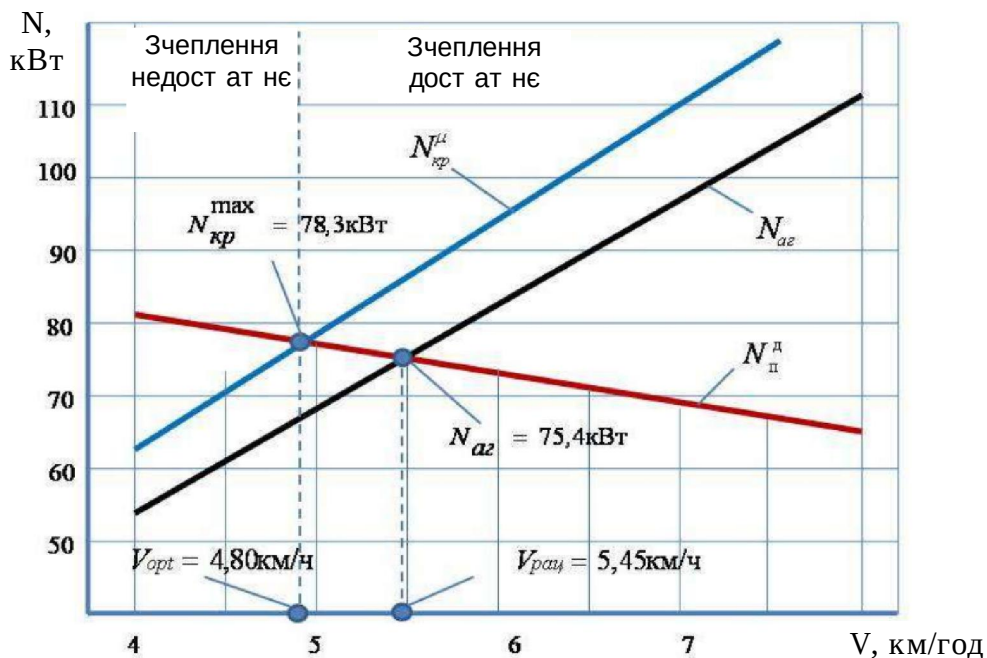


Рисунок 5 – Приклад графоаналітичного визначення раціональної швидкості руху орного агрегату в складі трактора Т-402А з плугом Квернеланд РН-100 в певних умовах

Тяговий η_t та повний η ККД трактора визначаються за рівняннями:

$$\eta_t = \frac{N_{ag} - N_{ВВП}}{N_e^H}, \quad (55)$$

$$\eta = \frac{N_{ag}}{N_e^H}. \quad (56)$$

Коефіцієнт завантаження двигуна трактора η_z обчислюється за рівнянням:

$$\eta_z = \frac{N_e}{N_e^H}, \quad (57)$$

де N_e - потужність двигуна трактора, яка використовується, кВт. Вказана потужність визначається після вибору конкретного агрегату і розрахунку раціональної швидкості $V_{рац}$ його руху з балансу потужності трактора за рівнянням:

$$N_e = \frac{V_{рац}}{3,6\eta_m} (Gf + R_{ар}) \left(1 + \frac{\delta}{100} \right) + \frac{N_{ВВП}}{\eta_m}. \quad (58)$$

3.3 Визначення раціональної швидкості руху машинно-тракторного агрегату за відомим його складом. (Третій напрямок)

При агрегуванні заданого трактора з конкретною сільськогосподарською машиною завдання зводиться до визначення раціональної швидкості руху агрегату, за якою найбільш повно використовуються тягові можливості трактора в розглянутих умовах. Тобто,

тяговий ККД трактора η_T наближається до максимально можливого значення в заданих умовах, а завантаження двигуна трактора η_3 наближається до 1.

Алгоритм рішення завдань третього напрямку.

Спочатку визначають тягові можливості трактора в агротехнічно допустимому діапазоні швидкостей при заданих умовах роботи. При цьому, розраховують діапазон корисної потужності N_K^D двигуна трактора, яку можна реалізувати в агрегаті при виконанні технологічного процесу в межах агротехнічно-допустимої швидкості руху:

$$N_{K \min}^D = N_e^H \eta_m \left(1 - \frac{\delta}{100}\right) - \frac{fGV_{\min}}{3,6}, \quad (59)$$

$$N_{K \max}^D = N_e^H \eta_m \left(1 - \frac{\delta}{100}\right) - \frac{fGV_{\max}}{3,6}. \quad (60)$$

де N_e^H – номінальна потужність двигуна трактора, кВт;

G – вага трактора, кН;

η_m – механічний ККД трансмісії трактора (для колісних тракторів $\eta_m=0,91...0,92$; для гусеничних $\eta_m=0,86...0,88$);

f – коефіцієнт опору коченню коліс трактора;

δ – буксування рушіїв трактора, %.

Діапазон тягової потужності $N_{кр}^\mu$, яка обумовлена зчіпними властивостями трактора, з урахуванням втрат на буксування і кочення в межах агротехнічно-допустимої швидкості руху визначається за залежністю

$$N_{кр \min}^\mu = \frac{GV_{\min}(\lambda\mu - f)}{3,6} - N_e^H \eta_m \frac{\delta}{100}, \quad (61)$$

$$N_{кр \max}^\mu = \frac{GV_{\max}(\lambda\mu - f)}{3,6} - N_e^H \eta_m \frac{\delta}{100}, \quad (62)$$

де λ – частка експлуатаційної ваги трактора, що припадає на рушій, (для колісних тракторів 4К4 і для гусеничних тракторів $\lambda=1$);

μ – коефіцієнт зчеплення рушія трактора із ґрунтом.

Далі визначають тяговий опір агрегату $R_{ар}$. Для тягово-привідних агрегатів в залежності від виду агрегату тяговий опір $R_{ар}$ можна розрахувати за однією із рівнянь:

$$R_{ар} = B_{ар} k_m, \quad (63)$$

$$R_{ар} = G_m f_m, \quad (64)$$

де $B_{ар}$ – ширина захвата агрегату, м;

k_m – значення питомого тягового опору сільськогосподарської машини, кН/м;

G_m – вага сільськогосподарської машини, кН.

Розраховують необхідну потужність для роботи відомої сільськогосподарської машини в агротехнічно допустимому діапазоні швидкостей руху ($V_{\min}...V_{\max}$). Для роботи тягово-привідного агрегату вона

складається з тягової потужності та потужності, яка передається через ВВП трактора, тобто

$$N_{ar}^{min} = \frac{R_{ar} V_{min}}{3,6} + N_{ВВП}, \quad (65)$$

$$N_{ar}^{max} = \frac{R_{ar} V_{max}}{3,6} + N_{ВВП}. \quad (66)$$

Максимальна швидкість трактора $V_{N_{кр}^{max}}$ при якій досягається максимальна тягова потужність:

$$V_{N_{кр}^{max}} = 3,6 \frac{N_e^H \eta_M}{G \lambda \mu}. \quad (67)$$

Потім визначають раціональну швидкість руху агрегату $V_{рац}$.

При визначенні раціональної швидкості руху агрегату можливі наступні варіанти.

Перший варіант. Якщо інтервал агротехнічно-допустимої швидкості руху входить в зону достатнього зчеплення рушіїв трактора із ґрунтом, тобто $(V_{min} \dots V_{max}) > V_{N_{кр}^{max}}$, то:

1) при $N_{ar}^{max} > N_{кр}^D$ (рис. 6), раціональну швидкість $V_{рац}$ визначають за рівнянням:

$$V_{рац} = 3,6 \frac{N_e^H \eta_M \left(1 - \frac{\delta}{100}\right) - N_{ВВП}}{R_{ar} + Gf}. \quad (68)$$

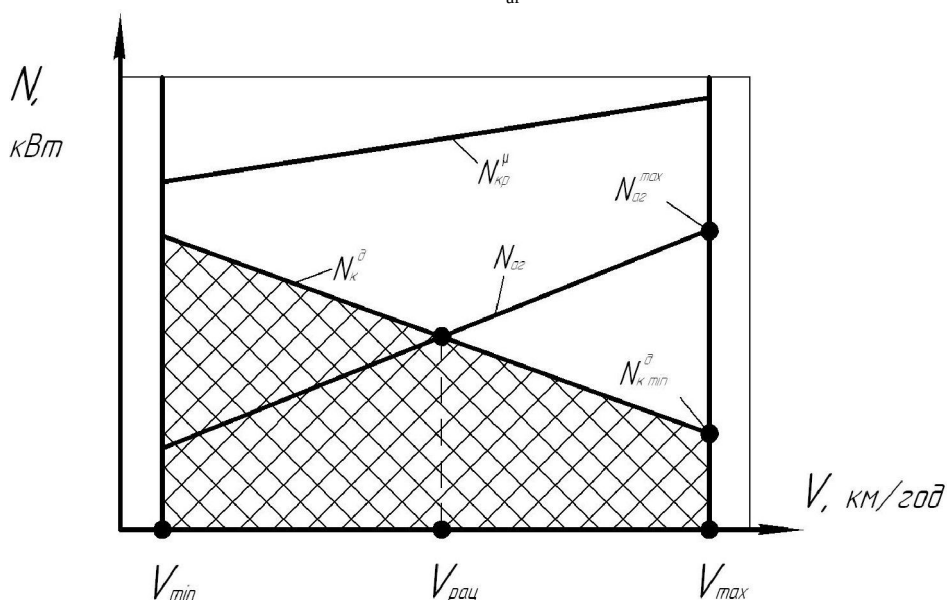


Рисунок 6 – Визначення раціональної швидкості руху агрегату в умовах достатнього зчеплення при $N_{ar}^{max} > N_{кр}^D$

2) при $N_{ар}^{max} \leq N_{к min}^{\mu}$ (рис. 7), раціональна швидкість $V_{рац}$ дорівнює максимально допустимій швидкості руху агрегату за агротехнічними вимогами V_{max} .

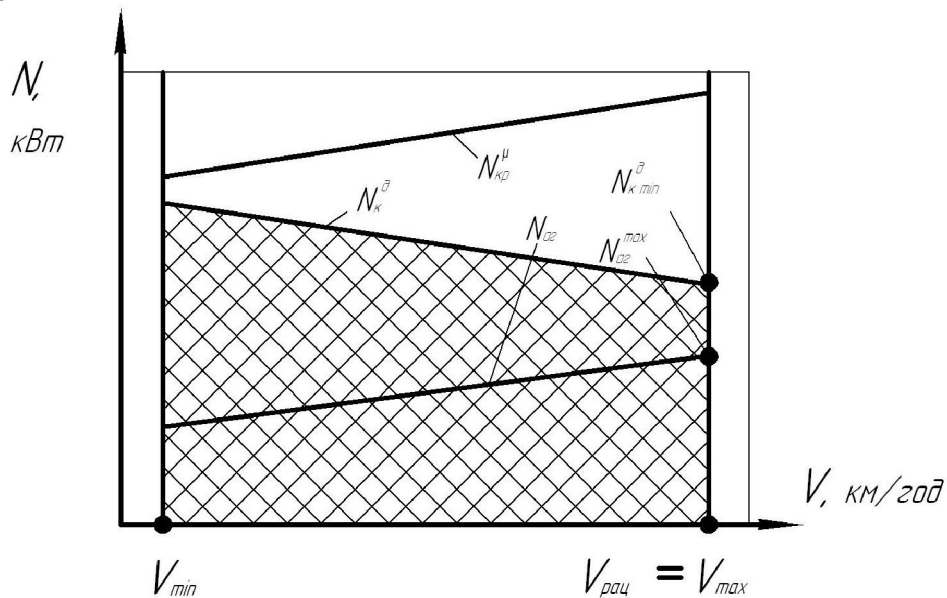


Рисунок 7 – Визначення раціональної швидкості руху агрегату в умовах достатнього зчеплення при $N_{ар}^{max} \leq N_{к min}^{\mu}$

Другий варіант. Якщо інтервал агротехнічно-допустимої швидкості руху входить в зону недостатнього зчеплення рушіїв трактора із ґрунтом, тобто $(V_{min} \dots V_{max}) \leq V_{N_{кр}^{max}}$, то:

1) при $N_{ар}^{max} > N_{кр max}^{\mu}$ (рис. 8), раціональну швидкість $V_{рац}$ визначають за рівнянням:

$$V_{рац} = 3,6 \frac{N_e \eta_m \frac{\delta}{100} + N_{ввп}}{G(\lambda \mu - f) - R_{ар}}; \quad (69)$$

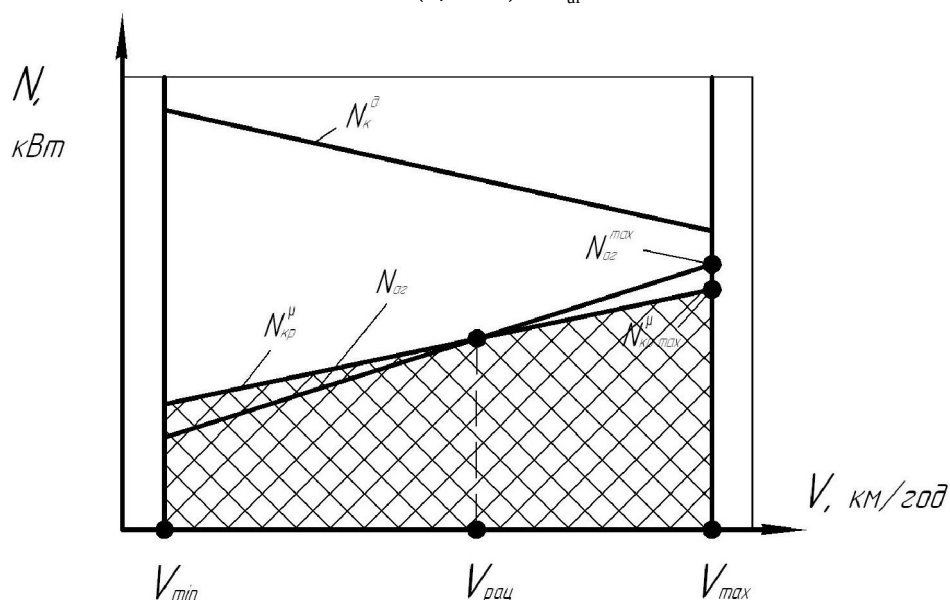


Рисунок 8 – Визначення раціональної швидкості руху агрегату в умовах недостатнього зчеплення при $N_{ар}^{max} > N_{кр max}^{\mu}$

2) при $N_{\text{ар}}^{\text{max}} \leq N_{\text{кр max}}^{\mu}$ (рис. 9), раціональна швидкість $V_{\text{рац}}$ дорівнює максимально допустимій швидкості руху агрегату за агротехнічними вимогами V_{max} .

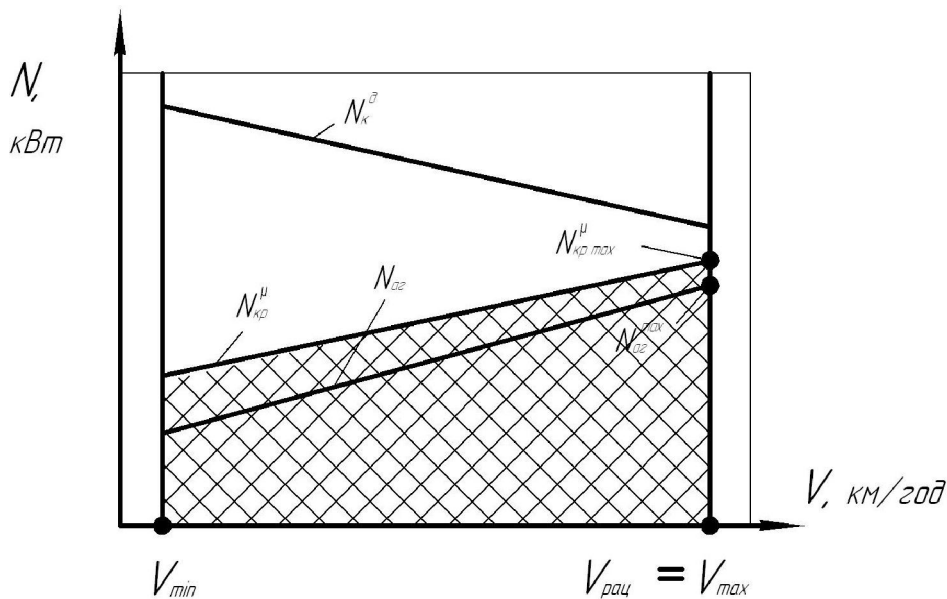


Рисунок 9 – Визначення раціональної швидкості руху агрегату в умовах недостатнього зчеплення при $N_{\text{ар}}^{\text{max}} \leq N_{\text{кр max}}^{\mu}$

Далі розраховують необхідну потужність $N_{\text{ар}}$ для роботи тягово-привідного агрегату:

$$N_{\text{ар}} = \frac{R_{\text{ар}} V_{\text{рац}}}{3,6} + N_{\text{ВВП}}. \quad (70)$$

Тяговий $\eta_{\text{т}}$ та повний η ККД трактора визначаються за рівняннями:

$$\eta_{\text{т}} = \frac{N_{\text{ар}} - N_{\text{ВВП}}}{N_{\text{е}}^{\text{н}}}, \quad (71)$$

$$\eta = \frac{N_{\text{ар}}}{N_{\text{е}}^{\text{н}}}. \quad (72)$$

Коефіцієнт завантаження двигуна трактора $\eta_{\text{з}}$ обчислюється за рівнянням:

$$\eta_{\text{з}} = \frac{N_{\text{е}}}{N_{\text{е}}^{\text{н}}}, \quad (73)$$

де $N_{\text{е}}$ - потужність двигуна трактора, яка використовується, кВт. Вказана потужність визначається після розрахунку раціональної швидкості $V_{\text{рац}}$ його руху з балансу потужності трактора за рівнянням:

$$N_{\text{е}} = \frac{V_{\text{рац}}}{3,6 \eta_{\text{м}}} (Gf + R_{\text{ар}}) \left(1 + \frac{\delta}{100} \right) + \frac{N_{\text{ВВП}}}{\eta_{\text{м}}}. \quad (74)$$

Третій варіант. Якщо за результатами розрахунків всі значення потужності, необхідної для виконання роботи в заданих умовах ($N_{\text{ар}}^{\text{min}} \dots N_{\text{ар}}^{\text{max}}$) перевищують значення корисної потужності двигуна трактора ($N_{\text{к min}}^{\text{д}} \dots N_{\text{к max}}^{\text{д}}$), або тягової потужності ($N_{\text{кр min}}^{\mu} \dots N_{\text{кр max}}^{\mu}$), що визначена зчірними властивостями

трактора, то слід констатувати, що розглядає мий агрегат непрацездатен в заданих умовах.

В першому випадку потужні можливості двигуна трактора недостатні для додання тягового опору агрегатуємої з ним с.-г. машини, в другому – зчіпні властивості трактора в розглядаємих умовах не забезпечують реалізацію в агрегаті корисної потужності його двигуна.

Представимо для прикладу рішення розглядаємої задачі в графоаналітичній формі на рис. 10

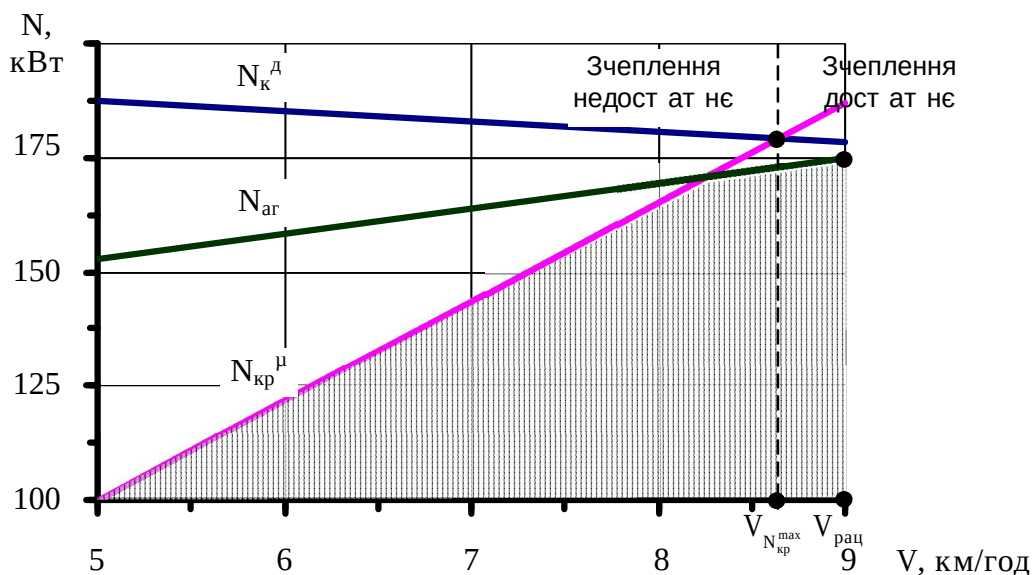


Рисунок 10 – Приклад визначення раціональної швидкості руху агрегату в умовах, якщо $V_{N_{кр}^{max}}$ входить в інтервал агротехнічно-допустимої швидкості руху

3.2 Постановка завдання

Завдання 1. Підбір сільськогосподарської машини під відомий (наявний) трактор.

Задача: Необхідно обґрунтувати склад машинно-тракторного агрегату для культивації ґрунту горизонтально-фрезерними робочими органами на глибину до 0,25 м на базі трактора BELARUS-3525.6.

Вхідні данні.

В якості прототипу сільськогосподарської машини розглянемо характеристику італійського горизонтально-фрезерного культиватора моделі TIGER 360P (рис. 11), для якого середнє значення питомого тягового опору складає $k_m=4,0$ кН/м, а питома вага $q_m=3,5$ кН/м. Агротехнічна допустима швидкість руху ($V_{min}...V_{max}$) для такого типу агрегатів знаходиться в межах

5...9 км/год. При цьому середнє значення потужності, яка необхідна на активний привід робочих органів $N_{\text{пит}}^{\text{ВВП}}=25\text{кВт/м}$.

Необхідні данні для трактора BELARUS-3525.6: номінальна ефективна потужність двигуна 261 кВт, експлуатаційна вага 117,7 кН, механічний ККД трансмісії трактора $\eta_m=0,92$, допустимий коефіцієнт буксування рушіїв $\delta=15\%$, частка експлуатаційної ваги трактора, що припадає на рушій $\lambda=1$.

Умови роботи агрегату.

Агрофон – стерня колосових культур, коефіцієнт опору коченню коліс трактора $f=0,1$; коефіцієнт зчеплення рушіїв трактора із ґрунтом $\mu=0,7$. Оскільки культиватор навісний, тому величину його опору коченню можна прийняти $f_m=0$.

Завдання 2. Підбір трактора для роботи із відомою машиною.

Задача: Необхідно обґрунтувати склад машинно-тракторного агрегату для культивації ґрунту на глибину до 0,25 м італійським горизонтально-фрезерним культиватором SUPER TIGER 360P (Т360P) (рис. 11).

Вхідні данні.

Ширина захвату горизонтально-фрезерного культиватора SUPER TIGER 360P (Т360P) $B_{\text{аг}}=6\text{м}$, середнє значення питомого тягового опору складає $k_m=4,0\text{кН/м}$, а питома вага $q_m=3,5\text{кН/м}$. Агротехнічна допустима швидкість руху ($V_{\text{min}}...V_{\text{max}}$) для такого типу агрегатів знаходиться в межах 5...9 км/год. При цьому середнє значення потужності, яка витрачається на активний привід робочих органів $N^{\text{ВВП}}=150\text{кВт}$.

Умови використання трактора.

Передбачається використовувати колісний повнопривідний трактор, у якого механічний ККД трансмісії трактора $\eta_m=0,91...0,92$, допустимий коефіцієнт буксування рушіїв $\delta=15\%$, частка експлуатаційної ваги трактора, що припадає на рушій $\lambda=1$.

Умови роботи агрегату.

Агрофон – стерня колосових культур, коефіцієнт опору коченню коліс трактора $f=0,1$, коефіцієнт зчеплення рушіїв трактора із ґрунтом $\mu=0,7$. Оскільки культиватор навісний, тому величину його опору коченню можна прийняти $f_m=0$.

Завдання 3. Визначення раціонального режиму роботи відомого агрегату в заданих умовах.

Задача: Необхідно визначити раціональний режим роботи агрегату, який складається із гусеничного трактора CHALLENGER MT765C і горизонтально-фрезерного культиватора SUPER TIGER 360P (Т360P) (рис. 11).

Умови роботи агрегату.

Агрофон – стерня колосових культур, коефіцієнт опору коченню коліс трактора $f=0,08$, коефіцієнт зчеплення рушіїв трактора із ґрунтом $\mu =0,85$. Оскільки культиватор навісний, тому величину його опору коченню можна прийняти $f_m=0$.

Необхідні данні для трактора: номінальна ефективна потужність двигуна 235 кВт, експлуатаційна вага 101,3 кН, механічний ККД трансмісії трактора $\eta_m=0,88$, допустимий коефіцієнт буксування рушіїв $\delta=4\%$, частка експлуатаційної ваги трактора, що припадає на рушій $\lambda =1$.

Необхідні данні для сільськогосподарської машини: Ширина захвату горизонтально-фрезерного культиватора SUPER TIGER 360P (Т360P) $B_{ag}=5$ м, середнє значення питомого тягового опору складає $k_m=4,0$ кН/м, а питома вага $q_m=3,5$ кН/м. Агротехнічна допустима швидкість руху ($V_{min}...V_{max}$) для такого типу агрегатів знаходиться в межах 5...9 км/год. При цьому середнє значення потужності, яка витрачається на активний привід робочих органів $N^{ВВП}=125$ кВт.



Модель		Ширина захвату, м	Кількість ножів
SUPER TIGER 360P (Т360P)	500	0,491	114
	550	0,541	126
	600	0,591	138

Горизонтально-фрезерний культиватор TIGER 360P є сьогодні найпотужнішою машиною цього типу на ринку і призначений для трактора потужністю до 360 к. с.

Технічні характеристики:

2-х швидкісний редуктор для ВВП на 1000 об/хв.,

швидкість обертання ротора 230 і 260 об/хв.,

L-подібні ножі 80x10 мм (по 6 ножів на кожному з'єднанні),

глибина обробітку ґрунту - до 25 см.

Рисунок 11 – Горизонтально-фрезерний культиватор SUPER TIGER 360P (Т360P)

4 ФОРМА ЗВІТУ ДО РОБОТИ

Після виконання роботи, студент складає звіт, зміст якого включає:

- 1) Номер, найменування та мета роботи.
- 2) Методологію розв'язання трьох поставлених завдань.
- 3) Висновок, в якому за критеріями тягового та повного ККД трактора, а також коефіцієнту завантаження двигуна необхідно надати інформацію щодо ефективності результатів науково обґрунтованого процесу вибору складу агрегату і раціональної швидкості відповідно до агротехнічних вимог.

5 КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. В чому полягає аналіз тягових властивостей тракторів?
2. В чому полягає відмінність тягових властивостей тракторів тягово-енергетичної концепції від тягової?

6 МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕОМ

Необхідні розрахунки для виконання практичного завдання рекомендується виконати у середовищі Excel. Для цього необхідно:

- 1) Сформувати певний інтерфейс робочої сторінки у середовищі Excel, у якому слід відокремити вхідні та вихідні розрахункові параметри (наприклад за рис. 12).
- 2) У відповідні комірки сформованої таблиці внести кількісні значення вхідних параметрів та формули для обчислення проміжних розрахунків та вихідних параметрів.

Робота 1	Робота 2	Робота 3
Вхідні	Вхідні	Вхідні
Не	Не	Не
кВт	кВт	кВт
261	261	235
0.92	0.92	101.3
15	15	0.88
0.1	0.1	0.08
117.7	117.7	4
5	9	4
0.7	0.7	0.85
4	4	4
137.5	137.5	125
187.7548	174.677	187.2724
62.06533	140.532	100.082722
10.49195	10.49195	178.268
0	0	20
5.62128	5.5	152.7778
188.0556	22	8.646188
12.8479	192.5	9
0.210728	0.210728	0.157895
0.737548	0.737548	0.552632
254.9878	254.9878	288.606
0.978965	0.978965	0.759489

Рисунок 12 – Інтерфейс формування таблиці для розрахунків у середовищі Excel

ІНСТРУКЦІЯ З ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ РОБОТІ НА ЕОМ

1. Загальні вимоги безпеки

1.1. До роботи із ЕОМ допускаються особи у віці не молодші 18 років, що пройшли інструктаж з охорони праці, не мають протипоказань за станом здоров'я.

1.2. Користувачі ЕОМ повинні дотримувати правил внутрішнього трудового розпорядку, установлені режими праці й відпочинку.

1.3. Користувачі ЕОМ зобов'язані дотримуватись правил пожежної безпеки, знати місця розташування первинних засобів пожежогасіння.

1.4. Про кожний нещасний випадок із працівником потерпілий або очевидець нещасних випадків зобов'язаний негайно повідомити ректора або проректора. При несправності устаткування припинити роботу й повідомити адміністрацію.

1.5. У процесі роботи користувачі ЕОМ повинні дотримувати правил використання засобів індивідуального й колективного захисту, дотримувати правил особистої гігієни, утримувати в чистоті робоче місце.

1.6. Особи, що допустили невиконання або порушення інструкції з охорони праці, притягуються до дисциплінарної відповідальності відповідно до правил внутрішнього трудового розпорядку.

2. Вимоги безпеки під час роботи

2.1. При роботі із ЕОМ значення візуальних параметрів повинні знаходитися в межах оптимального діапазону.

2.2. Клавіатуру розташовувати на поверхні стола на відстані 100-300 мм від краю, зверненого до користувача.

2.3. При працюючому відеотерміналі відстань від очей до екрана повинна бути 0,6 - 0,7 м, рівень очей повинен припадати на центр екрана або на 2/3 його висоти.

2.4. Зображення на екранах відеомоніторів повинне бути стабільним, ясным і гранично чітким, не мати мерехтінь символів і фону, на екранах не повинно бути відблисків і відбиття світильників, вікон і навколишніх предметів.

2.5. Тривалість безперервної роботи із ЕОМ без регламентованої перерви не повинна перевищувати 2-х годин. Щогодини при роботі слід робити регламентовану перерву тривалістю 15 хв.

2.6. При ураженні користувача електричним струмом негайно вимкнути електромережу, надати першу допомогу потерпілому, при необхідності відправити його в найближчу лікувальну установу.