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

Кафедра “Машиновикористання в землеробстві”

КОМПЛЕКТУВАННЯ ТЯГОВО-ПРИВІДНИХ ҐРУНТООБРОБНИХ АГРЕГАТІВ В СКЛАДІ ЕНЕРГОНАСИЧЕНИХ ТРАКТОРІВ

Методичні вказівки до практичної роботи №6

з дисципліни «Використання техніки в АПК МВР»

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

Мелітополь, 2019

УДК 631.5

Використання техніки в АПК МВР. Комплектування тягово-привідних грунтообробних 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, 2019. – 24 с.

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

Рецензент: к.т.н. ***Мітков Василь Борисович***

Розглянуто та рекомендовано до друку на засіданні кафедри МВЗ, протокол № 4 від 11.11.2019 р.

Затверджено методичною комісією механіко-технологічного факультету, протокол № 3 від 28.11.2019 р.

© ТДАТУ, 2019

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 тягові 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, культивації, 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 $k_м$ (кН/м);
- питомої ваги сільськогосподарської машини, що припадає на 1 м її ширини захвата $q_м$ (кН/м);
- значення коефіцієнтів зчеплення рушія трактора із ґрунтом μ, опору коченню трактора f і машини $f_м$;
- 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 ($V_{min}...V_{max}$) для заданих умов роботи. При цьому, розраховують діапазон корисної потужності $N_к^д$ двигуна трактора, яку можна реалізувати в агрегаті при виконанні технологічного процесу в межах агротехнічно-допустимої швидкості руху:

$$N_{к\,min}^{д} = N_e^н \eta_м \left(1 - \frac{\delta}{100}\right) - \frac{fGV_{min}}{3,6}, \quad (1)$$

$$N_{к\,max}^{д} = N_e^н \eta_м \left(1 - \frac{\delta}{100}\right) - \frac{fGV_{max}}{3,6}, \quad (2)$$

де $N_e^н$ – номінальна потужність двигуна трактора, кВт;

G – вага трактора, кН;

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

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

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

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

μ – коефіцієнт зчеплення рушія трактора із ґрунтом.

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

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

Далі можливі три варіанти.

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

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

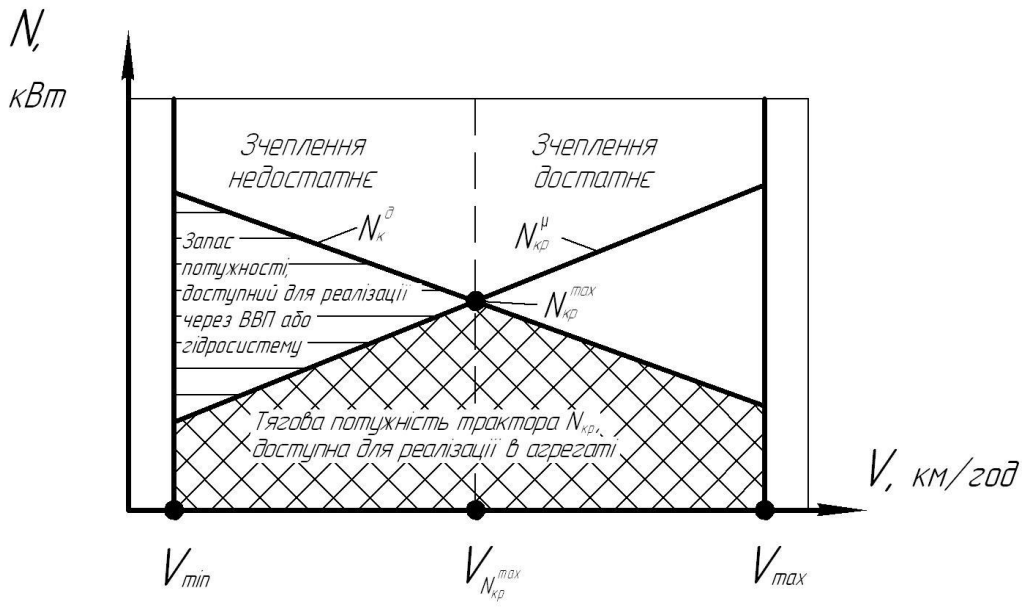


Рисунок 1 – Графік зміни корисної потужності $N_к^д$ двигуна і тягової потужності $N_{кр}^м$ трактора в робочому діапазоні швидкостей руху

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

$$B_{opt} = \frac{N_{кр}^{max}}{N_{пит} + N_{пит}^{ВВП}}, \tag{6}$$

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

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

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

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

$$N_{пит} = \frac{V_{N_{кр}^{max}} q_м f_м}{3{,}6}, \tag{8}$$

де $f_м$ – коефіцієнт опору коченню сільськогосподарської машини по полю;

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

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

$$B_{аг} \le B_{opt}. \tag{9}$$

Після вибору машини (машин) визначається потужність $N_{аг}$, яка необхідна для роботи агрегату 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

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

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

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

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

$R_{аг}$ - тяговий опір обраного агрегату, кН.

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

$$R_{аг} = B_{аг}k_{м}, \quad (13)$$

$$R_{аг} = G_{м}f_{м}, \quad (14)$$

де $k_м$ - значення питомого тягового опору сільськогосподарської машини, кН/м;

$G_м$ – вага сільськогосподарської машини, кН.

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

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

Графоаналітичне рішення задачі представимо на прикладі рис. 2

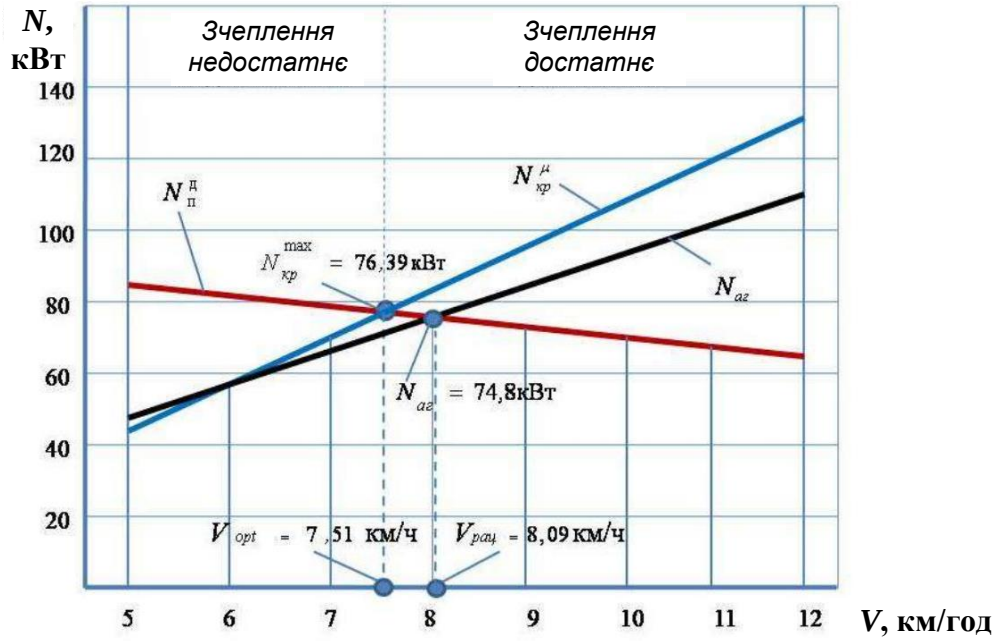


Рисунок 2 – Приклад графоаналітичного визначення раціонального режиму роботи агрегату в складі трактора New Holland (Т-7030) з бороною БДТ-7 в певних умовах

В умовах **достатнього зчеплення** рушіїв трактора із ґрунтом $V_{рац}$ визначається за умовою $N_{аг}= N_к^{д}$ і розраховується за рівнянням:

$$V_{рац} = 3{,}6\frac{N_e^н \eta_м \left(1-\frac{\delta}{100}\right) - N_{ВВП}}{R_{аг}+Gf}. \quad (16)$$

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

$$V_{рац} = 3{,}6\frac{N_e^н \eta_м \frac{\delta}{100} + N_{ВВП}}{G(\lambda\mu - f) - R_{аг}}. \quad (17)$$

Тяговий η_m та повний η ККД трактора визначаються за рівняннями:

$$\eta_m = \frac{N_{аг} - N_{ВВП}}{N_e^н}, \quad (18)$$

$$\eta = \frac{N_{аг}}{N_e^н}. \quad (19)$$

Коефіцієнт завантаження двигуна трактора $\eta_з$ обчислюється за рівнянням:

$$\eta_з = \frac{N_e}{N_e^н}$$

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:

$$N_e = \frac{V_{рац}}{3{,}6\eta_м}(Gf + R_{аг})\left(1+\frac{\delta}{100}\right) + \frac{N_{ВВП}}{\eta_м}. \quad (20)$$

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

$$N_к^{дmax} = N_e^н \eta_м \left(1-\frac{\delta}{100}\right) - \frac{fGV_{min}}{3{,}6}. \quad (21)$$

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

$$B_{opt} = \frac{N_к^{дmax}}{N_{пит} + N_{пит}^{ВВП}}, \quad (22)$$

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

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

$$N_{пит} = \frac{V_{min} q_м f_м}{3{,}6}, \qquad (23)$$

де $f_м$ – коефіцієнт опору коченню сільськогосподарської машини по полю;

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

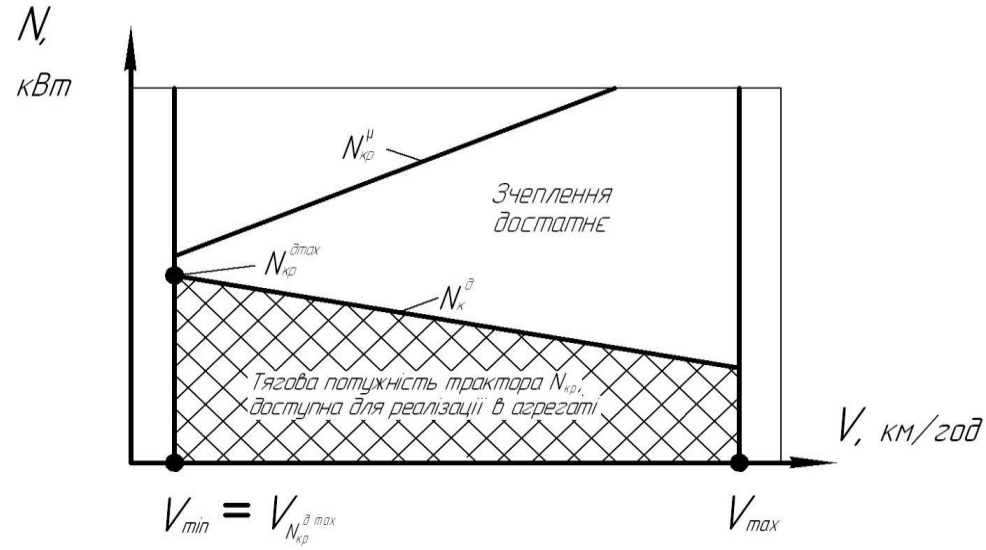


Рисунок 3 – Графік залежності тягової потужності $N_{кр}$ від швидкості руху V в зоні достатнього зчеплення рушіїв трактора із ґрунтом

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

$$B_{аг} \le B_{opt}. \qquad (24)$$

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

$$N_{аг}^{min} = \frac{R_{аг} V_{min}}{3{,}6} + N_{ВВП}, \qquad (25)$$

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

$$N_{ВВП} = N_{пит}^{ВВП} \cdot B_{аг}, \qquad (26)$$

$R_{аг}$ - тяговий опір обраного агрегату, кН.

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

$$R_{аг} = B_{аг} k_м, \qquad (27)$$

$$R_{аг} = G_м f_м, \qquad (28)$$

де $k_м$ - значення питомого тягового опору сільськогосподарської машини, кН/м;

$G_м$ – вага сільськогосподарської машини, кН.

Тяговий η_m та повний η ККД трактора визначаються за рівняннями:

$$\eta_m = \frac{N_{аг} - N_{ВВП}}{N_e^н}, \tag{29}$$

$$\eta = \frac{N_{аг}}{N_e^н}. \tag{30}$$

Коефіцієнт завантаження двигуна трактора $\eta_з$ обчислюється за рівнянням:

$$\eta_з = \frac{N_e}{N_e^н}, \tag{31}$$

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

$$N_e = \frac{V_{min}}{3{,}6\eta_м}\left(Gf + R_{аг}\right)\left(1 + \frac{\delta}{100}\right) + \frac{N_{ВВП}}{\eta_м}. \tag{32}$$

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 $(V_{min} \ldots V_{max}) \leq V_{N_{кр}^{max}}$, то максимально можлива тягова потужність $N_{кр}^{\mu max}$ досягається при максимально агротехічно допустимої швидкості V_{max} (рис. 4) і визначається за рівнянням:

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

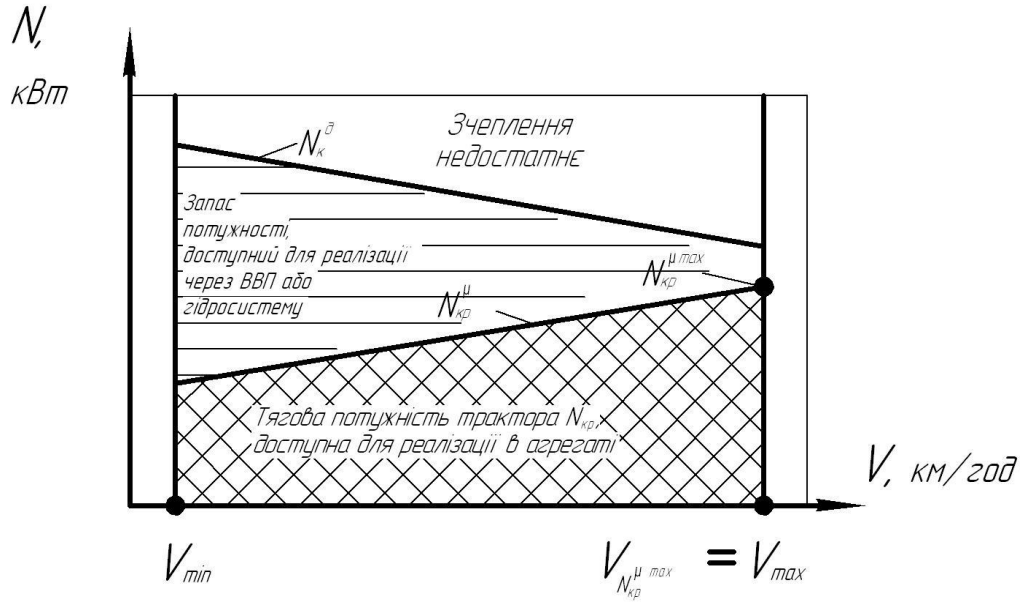


Рисунок 4 – Графік залежності тягової потужності $N_{кр}$ від швидкості руху V в зоні недостатнього зчеплення рушіїв трактора із ґрунтом

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 $B_{опт}$ тягово-привідних агрегатів в цьому випадку розраховується за рівнянням:

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

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

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

$$N_{пит} = \frac{V_{max} q_м f_м}{3{,}6}, \quad (35)$$

де $f_м$ – коефіцієнт опору коченню сільськогосподарської машини по полю;

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

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

$$B_{аг} \le B_{opt}. \quad (36)$$

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

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

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

$R_{аг}$ - тяговий опір обраного агрегату, кН.

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

$$R_{аг} = B_{аг} k_м, \quad (38)$$

$$R_{аг} = G_м f_м, \quad (39)$$

де $k_м$ - значення питомого тягового опору сільськогосподарської машини, кН/м;

$G_м$ – вага сільськогосподарської машини, кН.

Тяговий η_m та повний η ККД трактора визначаються за рівняннями:

$$\eta_m = \frac{N_{аг} - N_{ВВП}}{N_e^н}, \quad (40)$$

$$\eta = \frac{N_{аг}}{N_e^н}. \quad (41)$$

Коефіцієнт завантаження двигуна трактора $\eta_з$ обчислюється за рівнянням:

$$\eta_з = \frac{N_e}{N_e^н}, \tag{42}$$

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

$$N_e = \frac{V_{max}}{3{,}6\eta_м}\left(Gf + R_{аг}\right)\left(1 + \frac{\delta}{100}\right) + \frac{N_{ВВП}}{\eta_м}. \tag{43}$$

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

$$R_{аг} = B_{аг}k_м, \tag{44}$$

$$R_{аг} = G_м f_м, \tag{45}$$

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

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

$G_м$ – вага сільськогосподарської машини, кН.

Далі 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

$$N_{аг}^{min} = \frac{R_{аг}V_{min}}{3{,}6} + N_{ВВП}, \tag{46}$$

$$N_{аг}^{max} = \frac{R_{аг}V_{max}}{3{,}6} + N_{ВВП}, \tag{47}$$

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

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

$$N_e^{min} = \frac{N_{аг}^{min}}{\eta_м\left(1 - \frac{\delta}{100} - \frac{f}{\lambda\mu}\right)}, \tag{48}$$

$$N_e^{max} = \frac{N_{аг}^{max}}{\eta_м\left(1 - \frac{\delta}{100} - \frac{f}{\lambda\mu}\right)}, \tag{49}$$

де λ – частка експлуатаційної ваги трактора, що припадає на рушій, (для колісних тракторів 4К4 і для гусеничних тракторів λ =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}:

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

2) G_{max} при V_{max} і N_e^{max}:

$$G_{max} = 3{,}6\frac{(N_e^{min} - N_{ВВП})\eta_м}{V_{max}\lambda\mu}. \tag{51}$$

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

Максимально можлива тягова потужність цього трактора в заданих умовах дорівнюватиме:

$$N_{кр}^{max} = N_e^н \eta_м\left(1 - \frac{\delta}{100} - \frac{f}{\lambda\mu}\right), \tag{52}$$

$N_e^н$ – номінальна потужність двигуна трактора, кВт.

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

$$V_{рац} = 3{,}6\frac{N_e^н \eta_м\left(1 - \frac{\delta}{100}\right) - N_{ВВП}}{R_{аг} + Gf}, \tag{53}$$

де G – вага трактора, кН.

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

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

$$N_{аг} = \frac{R_{аг} V_{рац}}{3{,}6} + N_{ВВП}. \tag{54}$$

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

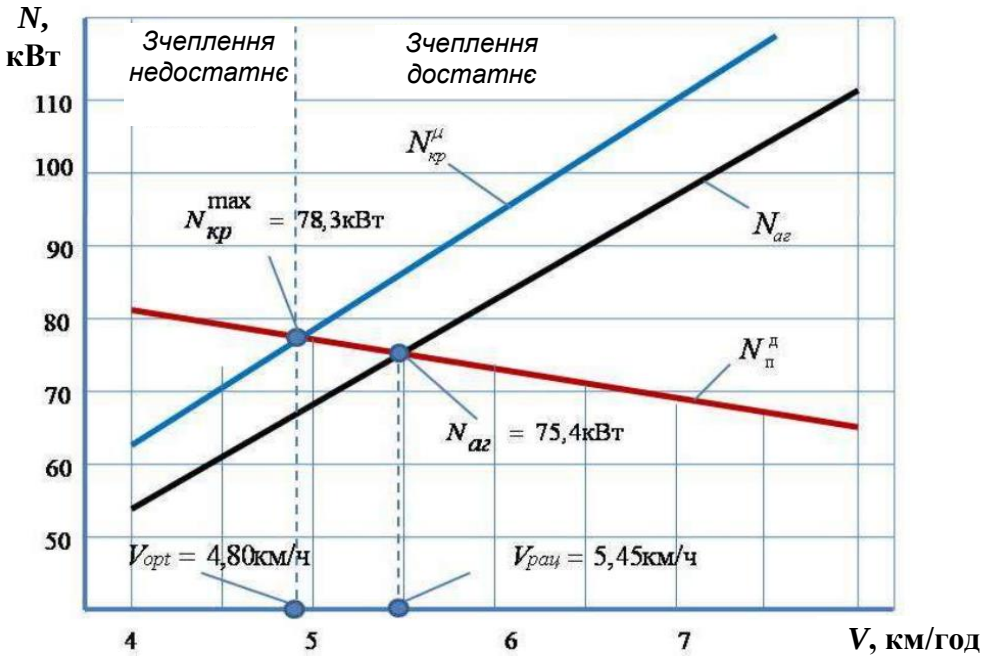


Рисунок 5 – Приклад графоаналітичного визначення раціональної швидкості руху орного агрегату в складі трактора Т-402А з плугом Квернеланд PN–100 в певних умовах

Тяговий η_m та повний η ККД трактора визначаються за рівняннями:

$$\eta_m = \frac{N_{аг} - N_{ВВП}}{N_e^н}, \tag{55}$$

$$\eta = \frac{N_{аг}}{N_e^н}. \tag{56}$$

Коефіцієнт завантаження двигуна трактора $\eta_з$ обчислюється за рівнянням:

$$\eta_з = \frac{N_e}{N_e^н}, \tag{57}$$

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:

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

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

При агрегатуванні 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_m наближається до максимально можливого значення в заданих умовах, а завантаження двигуна трактора $\eta_з$ 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 $N_{\hat{e}}^{\ddot{a}}$ двигуна трактора, яку можна реалізувати в агрегаті при виконанні технологічного процесу в межах агротехнічно-допустимої швидкості руху:

$$N_{к\,min}^{д} = N_e^{н}\eta_м\left(1-\frac{\delta}{100}\right)-\frac{fGV_{min}}{3,6}, \tag{59}$$

$$N_{к\,max}^{д} = N_e^{н}\eta_м\left(1-\frac{\delta}{100}\right)-\frac{fGV_{max}}{3,6}. \tag{60}$$

де $N_e^{н}$ – номінальна потужність двигуна трактора, кВт;

G – вага трактора, кН;

$\eta_м$ – механічний ККД трансмісії трактора (для колісних тракторів $\eta_м$=0,91...0,92; для гусеничних $\eta_м$=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

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

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

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

μ – коефіцієнт зчеплення рушія трактора із ґрунтом.

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

$$R_{аг} = B_{аг}k_м, \tag{63}$$

$$R_{аг} = G_м f_м, \tag{64}$$

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

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

$G_м$ – 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

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

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

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

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

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 ($V_{min} \ldots V_{max}$) > $V_{N_{кр}^{max}}$, то:

1) при $N_{аг}^{max} > N_{к\,min}^{д}$ (рис. 6), раціональну швидкість $V_{рац}$ визначають за рівнянням:

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

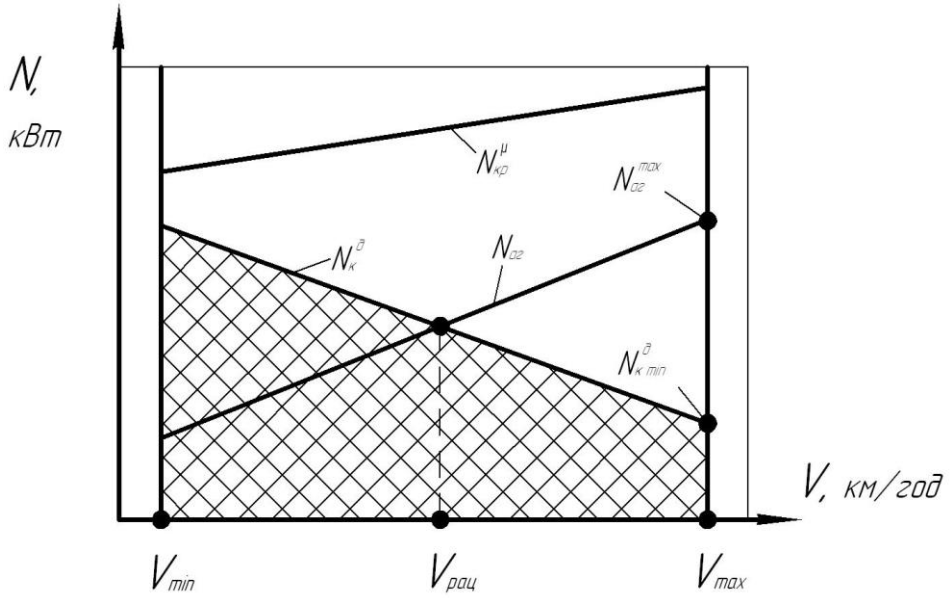


Рисунок 6 – Визначення раціональної швидкості руху агрегату в умовах достатнього зчеплення при $N_{аг}^{max} > N_{к\,min}^{д}$

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

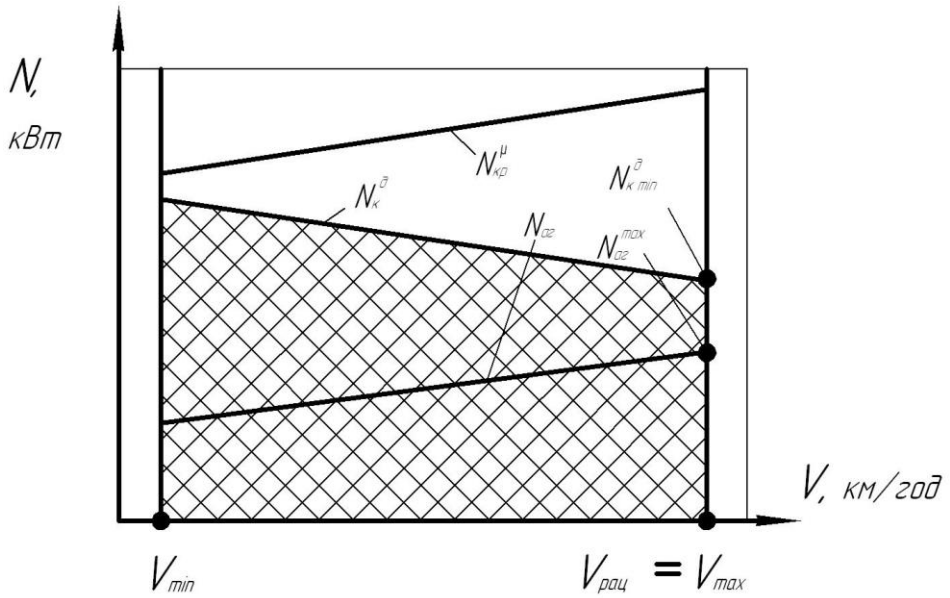


Рисунок 7 – Визначення раціональної швидкості руху агрегату в умовах достатнього зчеплення при $N_{аг}^{max} \leq N_{к\,min}^{д}$

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

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

$$V_{рац} = 3{,}6 \frac{N_e^{н} \eta_м \frac{\delta}{100} + N_{ВВП}}{G(\lambda\mu - f) - R_{аг}}; \qquad (69)$$

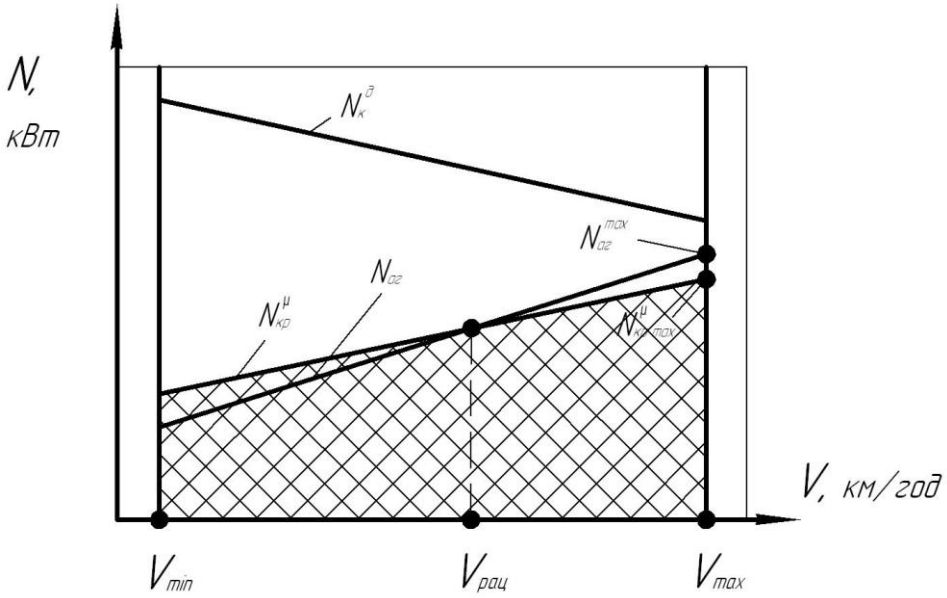


Рисунок 8 – Визначення раціональної швидкості руху агрегату в умовах недостатнього зчеплення при $N_{аг}^{max} > N_{кр\,max}^{м}$

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

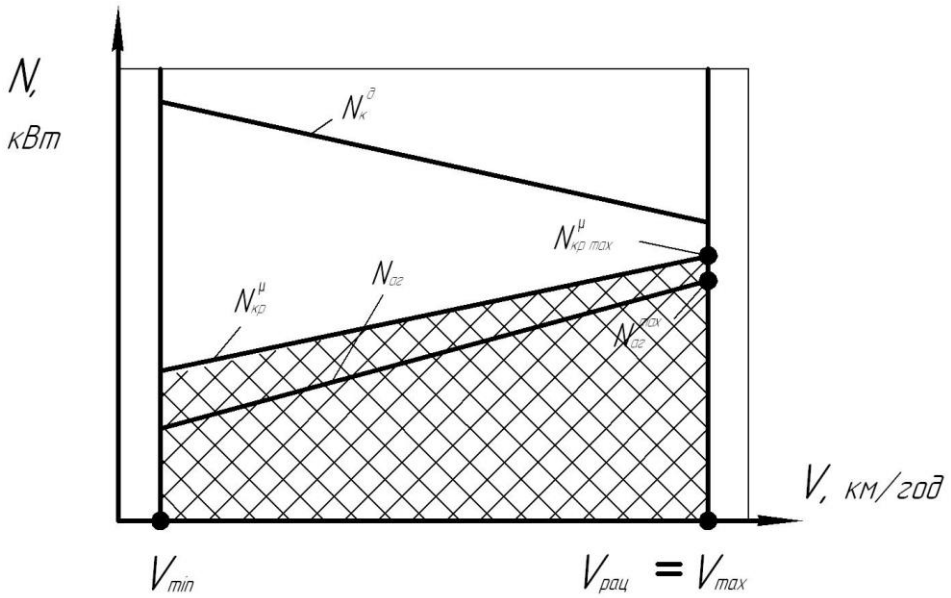


Рисунок 9 – Визначення раціональної швидкості руху агрегату в умовах недостатнього зчеплення при $N_{аг}^{max} \leq N_{кр\,max}^{\mu}$

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

$$N_{аг} = \frac{R_{аг} V_{рац}}{3{,}6} + N_{ВВП}\,. \tag{70}$$

Тяговий η_m та повний η ККД трактора визначаються за рівняннями:

$$\eta_m = \frac{N_{аг} - N_{ВВП}}{N_e^н}\,, \tag{71}$$

$$\eta = \frac{N_{аг}}{N_e^н}\,. \tag{72}$$

Коефіцієнт завантаження двигуна трактора $\eta_з$ обчислюється за рівнянням:

$$\eta_з = \frac{N_e}{N_e^н}\,, \tag{73}$$

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

$$N_e = \frac{V_{рац}}{3{,}6\eta_м}\left(Gf + R_{аг}\right)\left(1 + \frac{\delta}{100}\right) + \frac{N_{ВВП}}{\eta_м}\,. \tag{74}$$

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

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

В першому випадку потужні можливості двигуна трактора недостатні для долання 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

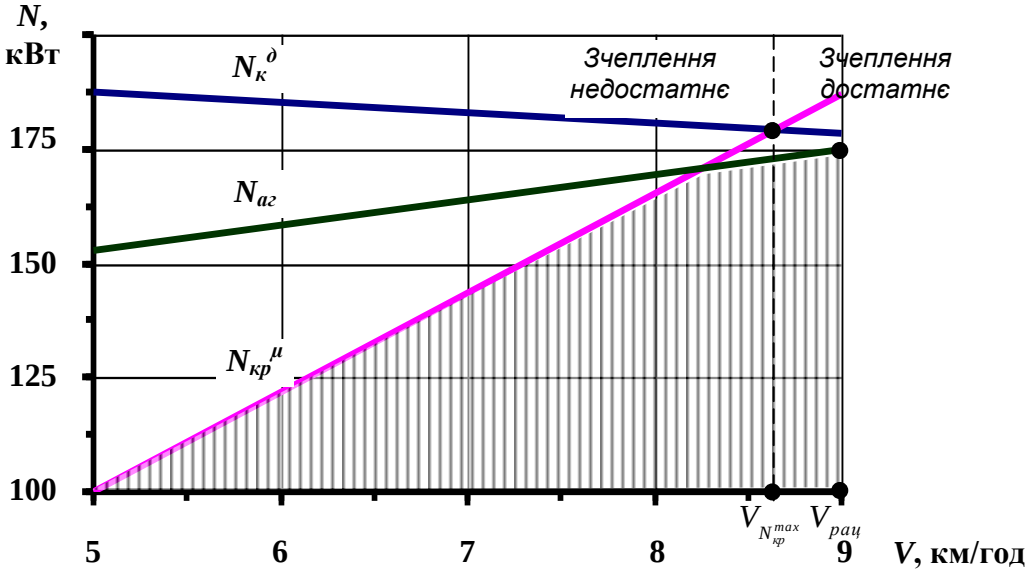


Рисунок 10 – Приклад визначення раціональної швидкості руху агрегату в умовах, якщо $V_{N_{кр}^{max}}$ входить в інтервал агротехнічно-допустимої швидкості руху

3.2 Постановка завдання

<u>Завдання 1.</u> 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 $k_м$=4,0 кН/м, а питома вага $q_м$=3,5кН/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 $N^{ВВП}_{пит}$=25кВт/м.

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

Умови роботи агрегату.

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

<u>Завдання 2.</u> 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 (T360P) (рис. 11).

Вхідні данні.

Ширина захвату горизонтально-фрезерного культиватора SUPER TIGER 360P (T360P) $B_{аг}$=6м, середнє значення питомого тягового опору складає $k_м$=4,0 кН/м, а питома вага $q_м$=3,5кН/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 $N^{ВВП}$=150кВт.

Умови використання трактора.

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

Умови роботи агрегату.

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

<u>Завдання 3.</u> 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 (T360P) (рис. 11).

Умови роботи агрегату.

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

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

Необхідні данні для сільськогосподарської машини: Ширина захвату горизонтально-фрезерного культиватора SUPER TIGER 360P (T360P) $B_{аг}$=5м, середнє значення питомого тягового опору складає $k_м$=4,0 кН/м, а питома вага $q_м$=3,5кН/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 $N^{ВВП}$=125кВт.

Модель		Ширина захвата, м	Кількість ножів
SUPER TIGER 360P (T360P)	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 80х10 мм (по 6 ножів на кожному з'єднанні),

глибина обробітку ґрунту - до 25 см.

Рисунок 11 – Горизонтально-фрезерний культиватор SUPER TIGER 360P (T360P)

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?

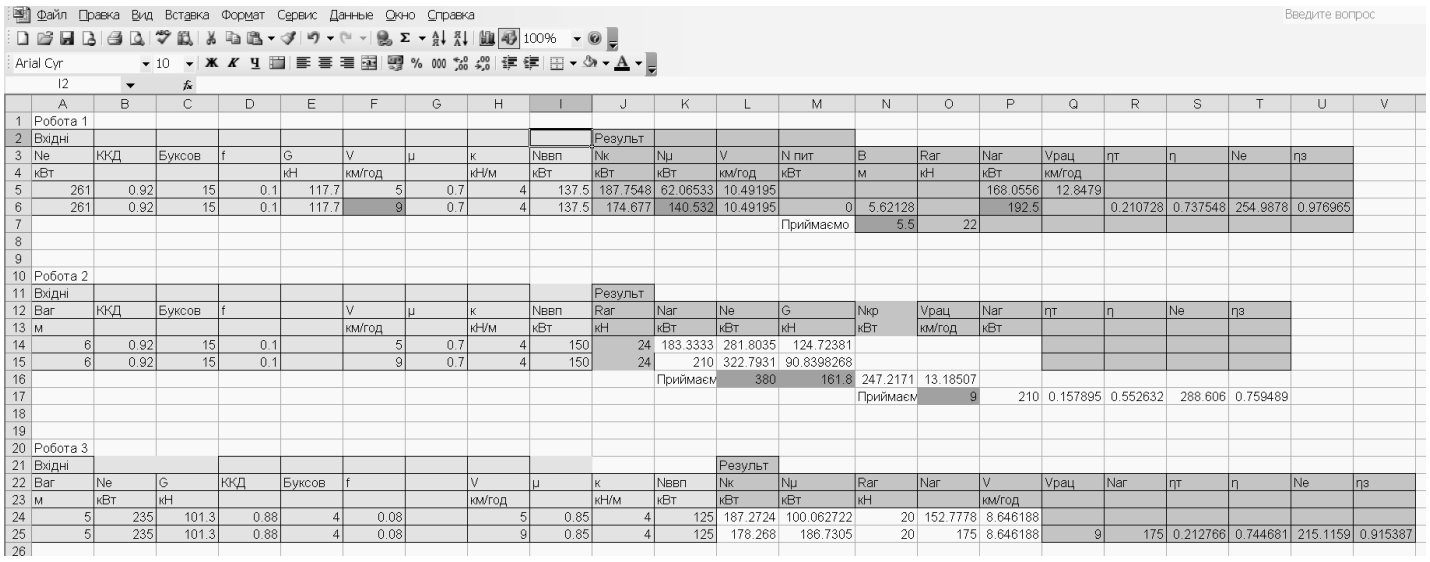
2. В чому полягає відмінність тягових властивостей тракторів тягово-енергетичної концепції від тягової?

6 МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕОМ

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

1) Сформувати певний інтерфейс робочої сторінки у середовищі Excell, 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.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V
1	Робота 1																					
2	Вхідні									Результ												
3	Ne	ККД	Буксов	f	G	V	μ	к	Nввп	Nк	Nμ	V	N пит	B	Rаг	Nаг	Vрац	ηт	η	Ne	ηз	
4	кВт				кН	км/год		кН/м	кВт	кВт	кВт	км/год	кВт	м	кН	кВт	км/год					
5	261	0.92	15	0.1	117.7	5	0.7	4	137.5	187.7548	62.06533	10.49195				168.0556	12.8479					
6	261	0.92	15	0.1	117.7	9	0.7	4	137.5	174.677	140.532	10.49195	0	5.62128		192.5		0.210728	0.737548	254.9878	0.976965	
7													Приймаємо	5.5	22							
8																						
9																						
10	Робота 2																					
11	Вхідні									Результ												
12	Ваг	ККД	Буксов	f		V	μ	к	Nввп	Rаг	Nаг	Ne	G	Nкр	Vрац	Nаг	ηт	η	Ne	ηз		
13	м					км/год		кН/м	кВт	кН	кВт	кВт	кН	кВт	км/год	кВт						
14	6	0.92	15	0.1		5	0.7	4	150	24	183.3333	281.8035	124.72381									
15	6	0.92	15	0.1		9	0.7	4	150	24	210	322.7931	90.8398268									
16											Приймаєм	380	161.8	247.2171	13.18507							
17														Приймаєм	9	210	0.157895	0.552632	288.606	0.759489		
18																						
19																						
20	Робота 3																					
21	Вхідні											Результ										
22	Ваг	Ne	G	ККД	Буксов	f		V	μ	к	Nввп	Nк	Nμ	Rаг	Nаг	V	Vрац	Nаг	ηт	η	Ne	ηз
23	м	кВт	кН					км/год		кН/м	кВт	кВт	кВт	кН		км/год						
24	5	235	101.3	0.88	4	0.08		5	0.85	4	125	187.2724	100.062722	20	152.7778	8.646188						
25	5	235	101.3	0.88	4	0.08		9	0.85	4	125	178.268	186.7305	20	175	8.646188	9	175	0.212766	0.744681	215.1159	0.915387
26																						

Рисунок 12 – Інтерфейс формування таблиці для розрахунків у середовищі Excell

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, ясним 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.