

закономірності слід враховувати при визначенні потреби сільськогосподарських підприємств в тракторах.

З урахуванням викладеного та точки перегину кривої, що описує залежність $W_p=f(T_{заб})$, для тракторозабезпеченості можна визначити номінальне значення 1,25 і допуск $\pm 0,28$. Проте висловлене вимагає подальших досліджень.

Література.

1. Білоусько Я.К. Тенденції і напрями розвитку техніко-технологічного забезпечення аграрного виробництва / Я.К.Білоусько // Агроінком. – 2007. – № 5 – 6. – С. 46 – 51.
2. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. / И.Н.Бронштейн, К.А.Семендяев – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1962. – 698 с.
3. Герасимович А.И. Математическая статистика. / А.И.Герасимович – Минск: Вышэйш. шк., 1983. – 279 с.
4. Киртбая Ю.К. Анализ функционирования инженерно-технической службы сельскохозяйственного предприятия / Ю.К.Киртбая, М.М.Чеченов // Вестник сельскохозяйственной науки. - 1981. - № 9. - С. 73–82.
5. Лімонт А.С. Технічна оснащеність підприємств та урожайність льону-довгунцю / А.С.Лімонт // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка: Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні. – Харків: Вид-во ЧП Черв'як, 2007. – Вип. 67. – Т. 2. – С. 100 – 106.
6. Мельник В.И. Зависимость потребности в тракторах от площади пашни хозяйства / В.И.Мельник, С.А.Чигрина // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка: Механізація сільськогосподарського виробництва. – Харків, 2007. – Вип. 59. – Т. 2. – С. 50 – 55.
7. Методические указания по анализу и оценке уровня использования МТП в колхозах, совхозах и механизированных предприятиях «Сельхозтехники». – М.: Колос, 1976. – 66 с.
8. Нормативы для планирования сельского хозяйства. Средства механизации производства / Сост.: П.К. Рябенко, М.С. Носов. – М.: Колос, 1976. – 384 с.
9. Нормы и нормативы для планирования механизации и электрификации в отраслях АПК / Сост.: М.В. Шахмаев, В.И. Юркин; Под ред. А.И. Иевлева. – М.: Агро-промиздат, 1988. – 591 с.
10. Погорелый Л.В. Научные основы повышения производительности сельскохозяйственной техники. / Л.В.Погорелый, В.Г.Бильский, Н.П.Кононенко – К.: Урожай, 1989. – 240 с.
11. Погорелый Л.В. Инженерные методы испытаний сельскохозяйственных машин. / Л.В.Погорелый – К.: Техніка, 1991. – 157 с.
12. РТМ 44–62. Методика статистической обработки эмпирических данных. – М.: Изд-во стандартов, 1966. – 100 с.
13. Сидорчук О. Науково-методичне обґрунтування потреби сільськогосподарських підприємств у техніці / О.Сидорчук, Л.Бурилко // Техніка АПК. – 2004. – № 10 – 11. – С. 7 – 8.
14. Тум Я.В. Вопросы оценки системы машин для растениеводства / Я.В.Тум // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1979. – № 3. – С. 76 – 82.
15. Уланова Е.С. Методы статистического анализа в агрометеорологии. / Е.С.Уланова, О.Д.Сиротенко – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 200 с.

УДК 631.376.004.14

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МАШИНИХ АГРЕГАТІВ ДЛЯ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

Барабаш Г.І., Строколіс О.Г.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Комплектування раціональних машинних агрегатів (МА) в рослинництві є дуже значущим заходом в формуванні комплексів машин для вирощування та збирання сільськогосподарських культур і

машинно-тракторного парку в цілому, робота якого потім вплине на кількість, якість і вартість виробленої продукції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При рівномірному русі МА по місцевості тягове зусилля трактора $P_{тн}$ визначається за формулою [1]:

$$P'_{тн} = P'_{дн} - P_f - P_a = \frac{N_{дн}}{\omega_{дн} r_{\epsilon}} i_{тр} \cdot \eta_{тр} - G(f \pm i), \text{ кН}, \quad (1)$$

де $P'_{дн}$ – номінальне значення дотичної сили тяги трактора на j -й передачі, кН;

P_f і P_a – відповідно сила опору кочення і підйому трактора, кН;

$N_{дн}$ – номінальна потужність двигуна, кВт;

$\omega_{дн}$ – кутова швидкість колін вала, с^{-1} ;

r_{ϵ} – динамічний радіус ведучого колеса, м;

$i_{тр}$ – передаточне число трансмісії на j -й передачі;

$\eta_{тр}$ – механічний ККД трансмісії трактора;

f – коефіцієнт опору коченню трактора;

G – експлуатаційна вага трактора, кН;

i – схил місцевості в долях.

В формулі (1) дотична сила є такою, що змушує трактор рухатись в потрібному напрямку. Але в тих випадках, коли сила зчеплення рушіїв з ґрунтом $G_{зч} < P_{дн}$, то можна вважати, що (1) представляє не загальний, а обмежений характер для її використання.

Опір однієї сільськогосподарської машини $R'_м$, що агрегується з трактором:

$$R'_м = k' B_p + G_m i, \text{ кН}, \quad (2)$$

де k' – питомий опір машини на робочій швидкості, кН/м;

B_p – робоча ширина захвату машини, м;

G_m – експлуатаційна вага машини, кН.

Під час виконання технологічної операції опір робочих органів поширюється не тільки на робочу ширину захвату, але на зону перекриття, тобто на конструктивну ширину захвата, хоча цей опір дещо менший.

Крім того, більша частина робочих машин має свою ходову систему, а це змушує враховувати опір перекошенню робочих машин, а не тільки схил місцевості.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Проведення більш точних розрахунків по обґрунтуванню вибору машин при комплектуванні машинних агрегатів шляхом визначення основних параметрів та режимів роботи машинних агрегатів.

Виклад основного матеріалу досліджень. Для проведення розрахунків по обґрунтуванню оптимального складу машинного агрегату необхідно підготувати наступні вихідні матеріали:

- агротехнічні вимоги до кожної технологічної операції;
- дані про питомий опір робочих машин по видах обробітку ґрунту, виходячи із показників, що характеризують стан ґрунту;
- рекомендації щодо вибору оптимальної швидкості руху, яка б забезпечувала виконання агротехнічних вимог стосовно виду робіт;
- характеристики енергетичних засобів, робочих машин та необхідних пристроїв до них.

В ідеальному випадку для цілей правильного комплектування машинних агрегатів і вибору їх швидкісних режимів з урахуванням завантаженості двигуна бажано було б мати типові тягові характеристики енергетичних засобів (як правило, тракторів) при їх роботі в зоні використання.

Послідовність виконання розрахунків наступна:

- встановлюють допустимі межі швидкостей руху МА в відповідності до агротехнічних вимог;
- визначають тяговий опір робочих машин та допоміжних знарядь (як правило, зчіпок);
- намічають передачу, на якій може працювати трактор з урахуванням вибраного оптимального діапазону швидкостей руху;
- визначають можливу ширину захвату і кількість робочих машин в МА;
- уточнюють тяговий опір в відповідності з вибраним складом МА;
- перевіряють ступінь завантаженості двигуна та використання тягового зусилля трактора.

Вибираючи оптимальний швидкісний режим, необхідно виходити із вимог підвищення продуктивності і економічності за рахунок більш повного використання потужності трактора в відповідних умовах роботи. В багатьох випадках, як показала практика, швидкість обмежується станом поверхні поля.

На незадовільно оброблених полях робота на підвищених швидкостях тягне за собою погіршення умов і безпеку праці механізатора, супроводжується підвищеним зносом машин, зростанням простоїв через технічні несправності і необхідності виконання регулювань робочих і допоміжних органів.

В кожному конкретному випадку швидкість вибирається з урахуванням умов роботи МА.

Для типових умов кожної зони треба встановлювати найбільш доцільний швидкісний режим з відповідними допусками по якості робіт, технічними можливостями МА і з урахуванням техніки безпеки тракториста.

По мірі розробки нових конструкцій машин, розрахованих на підвищені швидкості, нормативи оптимальних швидкісних режимів повинні своєчасно переглядатись.

Оскільки швидкість є одним із факторів, що суттєво впливає на такі економічні показники, як затрати праці і прямі експлуатаційні витрати, необхідно встановити експериментальним шляхом, а при неможливості цього – використати метод математичного моделювання впливу цього фактора на згадані економічні показники по спеціально розроблених програмах.

Апріорі можна стверджувати, що заниження дійсної робочої швидкості призводить до погіршення техніко-експлуатаційних показників використання машин, а завищення – до погіршення якісних показників виконання технологічної операції та зайвим витратам енергії.

Враховуючи вищезгадане, можна записати в математичних символах:

$$V_p \rightarrow \text{opt} = \text{const}, \quad (3)$$

де V_p – дійсна робоча швидкість МА.

Визначивши типорозмір машин та знарядь, які застосовуються в вибраному варіанті технології, необхідно розрахувати тяговий опір для даної швидкості руху.

Питомий опір робочих органів k_v при заданій швидкості V_p можна визначити за формулою:

$$k_v = k_0 [1 + \Delta k (V_p^n - V_0^n)], \quad (4)$$

де k_0 – питомий опір робочих органів машин при початковій швидкості V_0 , коли ще відсутній приріст тягового опору. Одиниця виміру: для орних агрегатів - ; для інших – кН/м;

Δk – коефіцієнт, який враховує приріст питомого опору за рахунок швидкості, год.²/км²;

n – показник ступеня модуля швидкості, рівний 2 (для плугів) і 1 (для інших ґрунтообробних машин).

Наприклад, при оранці $\Delta k = 0,006 \text{ год.}^2/\text{км}^2$, а на дискуванні $\Delta k = 0,002 \text{ год.}/\text{км}$.

При відсутності відповідних даних по зоні коефіцієнт Δk визначається методом динамометрування на двох різних швидкостях:

$$\Delta k = \frac{R_v - R_o}{R_v (V_r^2 - V_o^2)}, \quad (5)$$

де R_v , R_o – відповідно тяговий опір на робочій швидкості V_p і на швидкості $V_o \leq 5 \text{ км/год}$.

Тяговий опір робочих органів R по відомих значеннях питомого опору k_v визначається за формулами:

орні агрегати

$$R = k_v \cdot b_k \cdot n_k \cdot a, \text{ кН}, \quad (6)$$

інші ґрунтообробні агрегати

$$R = k_v \cdot B_k, \text{ кН}, \quad (7)$$

де b_k – ширина захвата одного корпусу, м;

n_k – кількість корпусів, шт.;

a – глибина оранки, м;

B_k – конструктивна ширина захвата машини, м.

Тяговий опір тягово-приводних машин R_n з приводом від ВВП представляє собою суму тягового опору машин і тягового зусилля, яке міг би додатково розвивати трактор за рахунок потужності, що витрачається через ВВП:

$$R_n = R + R_{\text{ВВП}}, \text{ кН} \quad (8)$$

Величину додаткового тягового зусилля $R_{\text{ВВП}}$ визначають за формулою:

$$R_{\text{ВВП}} = \frac{60 \cdot N_{\text{ААІ}} \cdot \eta_{\text{од}} \cdot \eta_{\text{од}}}{2\pi \cdot n_{\text{од}} \cdot r_{\text{е}} \cdot \eta_{\text{ААІ}}}, \text{ кН}, \quad (9)$$

де $N_{\text{ВВП}}$ – потужність, що передається через ВВП трактора на привід механізмів робочих органів машин, кВт;

$\eta_{\text{тр}}$ – механічний ККД трансмісії трактора;

$i_{\text{тр}}$ – передаточне відношення трансмісії;

$n_{\text{ф}}$ – частота обертів колінчастого вала двигуна при даному завантаженні, хв^{-1} ;

r_k – радіус перекочування або радіус початкового кола ведучого колеса (зірочки), м;

$\eta_{\text{ВВП}}$ – механічний ККД передачі від двигуна до ВВП.

Для тракторів на пневматичних шинах:

$$r_k = r_o + k_d \cdot h_{\text{ш}}, \text{ м}, \quad (10)$$

де r_o – радіус обода колеса, м;

k_d – коефіцієнт деформації шини ($k_d = 0,7-0,8$);

$h_{\text{ш}}$ – висота поперечного профілю шини, м.

Для визначення передачі трактора, на якій буде рухатись МА, необхідно розраховувати гакове зусилля трактора P_r :

$$P_r = P_d - \frac{m_{\text{те}} \cdot g}{1000} (f \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha), \text{ кН}, \quad (11)$$

де P_d – дотична сила тяги, кН;

$m_{\text{те}}$ – експлуатаційна маса трактора, кг;

f – коефіцієнт опору перекоченню;

α – кут схилу поля, град.

Приймаючи до уваги, що експлуатаційна вага трактора $G_{\text{ет}}$ більша від конструкційної приблизно на 7%, а вираз в дужках є коефіцієнт опору переміщенню трактора ϕ , можна записати:

$$P_r = P_d - 1,07 G_{\text{кт}} \cdot \phi, \text{ кН.} \quad (12)$$

Значення дотичної сили P_d розраховують за формулою:

$$P_d = \frac{60 \cdot N_{\hat{a}_{\text{max}}} \cdot \eta_{\hat{o}\hat{o}} \cdot \overset{3}{\hat{o}\hat{o}}}{2\pi \cdot n_{\text{max}} \cdot r}, \text{ кН,} \quad (13)$$

де $N_{e \text{ max}}$ – максимальна ефективна потужність двигуна, кВт;

n_{max} – частота обертання колінчастого вала при максимальному використанні двигуна, хв^{-1} .

При передачі долі потужності на привод механізмів робочої машини через ВВП формула (13) набуде наступного вигляду:

$$P_d = \frac{60 \cdot (N_{e \text{ max}} - \frac{N_{\hat{A}\hat{I}}}{\eta_{\hat{A}\hat{I}}}) \cdot \eta_{\hat{o}\hat{o}} \cdot \overset{3}{\hat{o}\hat{o}}}{2\pi \cdot n_{\text{max}} \cdot r}, \text{ кН.} \quad (14)$$

Рух агрегату по поверхні поля забезпечує не тільки дотична сила P_d , але і сила зчеплення рушіїв з ґрунтом $P_{\text{зч}}$:

$$P_d = \mu \cdot G_{\text{зч}}, \text{ кН,} \quad (15)$$

де μ – коефіцієнт зчеплення ведучого механізму з ґрунтом;

$G_{\text{зч}}$ – зчіпна вага трактора, яка припадає на ведучі колеса, кН.

Для колісних тракторів з однією ведучою віссю

$$G_{\text{зч}} = \frac{2}{3} \cdot G_{\text{мп}} = \frac{2}{3} \cdot \frac{m_{\hat{o}\hat{o}} \cdot g}{1000}, \text{ кН,} \quad (16)$$

$$m_{\text{тр}} = 1,07 \cdot m_{\text{к}}, \text{ кг,} \quad (17)$$

де $m_{\text{к}}$ – конструкційна маса трактора, кг.

Визначають рушійну силу $F_{\text{руш}}$ порівнянням значень P_d та $P_{\text{зч}}$ на відповідних передачах з урахуванням ґрунтових умов. Сила $F_{\text{руш}}$ дорівнює меншій із них. При $P_d < P_{\text{зч}}$ зчеплення достатнє і $F_{\text{руш}} = P_d$, а при $P_d > P_{\text{зч}}$ зчеплення недостатнє і $F_{\text{руш}} = P_{\text{зч}}$. У першому випадку P_d може бути повністю використане для тягової роботи, а в другому – частково.

Максимальну ширину захвата машинного причіпного агрегату можна розрахувати за формулою:

$$B_{\text{max}} = \frac{F_{\hat{o}\hat{o}} - \frac{m_{\hat{o}\hat{o}} \cdot g}{1000} (f \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha)}{k_v + q_M (f' \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha) + q_{C \times} (f'' \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha)}, \text{ м,} \quad (18)$$

де q_M – питома вага машини, кН/м;

f' , f'' – коефіцієнт опору перекочування відповідно машини і зчіпки;

$q_{\text{зч}}$ – питома вага зчіпки, кН/м.

$$q_M = G_M / B_{\text{к}}, \text{ кН/м} \quad (19)$$

$$q_{3ч} = G_{3ч} / B, \text{ кН/м}, \quad (20)$$

де B – «фронт» зчіпки, м.

Питомий опір тягово-приводних машин $k_{вп}$ розраховують за формулою:

$$k_{вп} = R_n / B, \text{ кН/м}. \quad (21)$$

По величині $B_{\max}$ кількість машин в МА:

$$n = B_{\max} / b, \quad (22)$$

де b – ширина захвата однієї машини, м.

Значення n закругляють в меншу сторону до цілого числа.

Знаючи кількість машин в агрегаті, вибирають конкретну заїнку і виконують повторно розрахунок загального тягового опору МА R_a для випадків руху МА на підйом і на спуск.

$$R_a = k_v \cdot b \cdot n + G_m \cdot n (f' \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha) + G_{3ч} (f' \cdot \cos \alpha \pm \sin \alpha), \text{ кН}. \quad (23)$$

Так як при невеликих кутах підйому практично можна прийняти $\sin \alpha = \tan \alpha$, то $\tan \alpha = h : l = i$ (тобто відношення висоти підйому до довжини закладання) [3].

Якщо припустити, що колеса ходової системи машини і зчіпки мають аналогічну конструкцію (металеві або з шинами), а величина кута нахилу незначна, то вираз (20) можна спростити:

$$R_a = k_v \cdot b \cdot n + (G_m \cdot n + G_{3ч}) (f \pm i/100), \text{ кН}, \quad (24)$$

де i – схил місцевості, %.

По уточненому тяговому опору визначають коефіцієнт використання тягового зусилля трактора ξ_m :

$$\xi_m = R_a / P_{гн}, \quad (25)$$

де $P_{гн}$ – номінальне гакове зусилля для трактора на вибраній передачі.

Порівнюючи отримане значення коефіцієнта ξ_t з його нормативним значенням при роботі трактора в відповідних умовах, встановлюють настільки раціонально скомплектований агрегат. При необхідності вносять корективи в склад агрегату, бажаючи наблизитись до нормативного значення $\xi_{т.н.}$ (таблиця 1).

Таблиця 1

Нормативні значення коефіцієнта завантаження трактора по тяговому зусиллю ξ

Технологічна операція	МТЗ всіх модифікацій	T-150, T-150K
Оранка ґрунтів:		
легких і середніх	0,90	0,90
важких	-	0,86
ущільнених	-	0,80
Культивация суцільна	0,80	0,90
Боронування	0,85	0,92
Дискування	0,92	0,92

Фактичний коефіцієнт завантаження двигуна $\xi_{ф}$:

$$\xi_{ф} = 1 - \eta_{ф}(1 - \xi_m), \quad (26)$$

де $\eta_{ф}$ – коефіцієнт, що враховує втрати потужності на самопересування трактора (перекочування і подолання підйому).

$$\eta_{\Phi} = \frac{D_{\dot{A}I}}{D_{\dot{A}I} + D_{\Phi}} \quad (27)$$

В процесі роботи МА відбуваються безперервні зміни тягового зусилля трактора і тягового опору робочих машин, які викликані неоднорідністю фізико-механічних властивостей ґрунту і рельєфними умовами.

Для забезпечення безупинної роботи двигун трактора повинен бути завантаженим з таким розрахунком, щоб залишався необхідний запас крутного моменту для подолання можливого тимчасового опору. Допустиме завантаження двигуна по крутному моменту складає 0,97 від повного перенавантаження, що відповідає максимальному значенню крутного моменту і мінімальному числу обертів на зовнішній гільці гальмівної характеристики.

Умови безупинної роботи визначаються величиною допустимого завантаження ξ_d :

$$\xi_d = \frac{\dot{e}_{\dot{A}}}{1 + \frac{\delta_R}{2}}, \quad (28)$$

де $\kappa_d = 0,97$ км;

κ_m - коефіцієнт допустимого перенавантаження по крутному моменту;

δ_R - ступінь нерівномірного опору.

Ступінь нерівномірного опору залежить від особливостей технологічної операції, кількості робочих органів або машин в агрегаті (рис. 1).

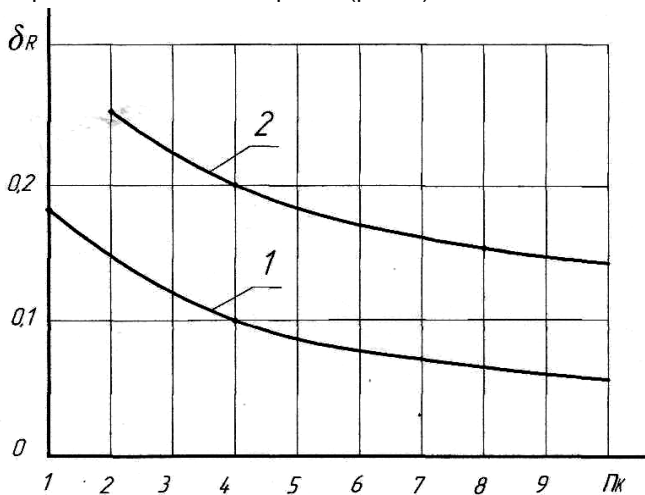


Рис. 1. Ступінь нерівномірності тягового опору δ_R в залежності від числа корпусів орного агрегату: 1 – легкі ґрунти; 2 – важкі ґрунти

Як видно із рисунка, ступінь нерівномірності тягового опору у трьохкорпусного плуга на важких ґрунтах більший практично вдвічі, ніж на легких ґрунтах (0,12 проти 0,22). У дев'ятикорпусного плуга на легких ґрунтах нерівномірність тягового опору складає близько 0,06 (удвічі менше ніж трьохкорпусного), а на важких – у 2,5 рази більше, ніж на легких. Тому завантаженість трактора при роботі його на важких ґрунтах повинна наближатись до мінімально можливого значення, а на легких – до максимально можливого.

Обрахувавши для відповідної операції ξ_d , співставляють його з фактичним завантаженням ξ_f по уточненому розрахунку агрегату. При цьому повинна бути витримана умова $\xi_f \leq \xi_d$.

Висновки. При відомих технічних характеристиках складових машинного агрегату, умов його роботи і, спираючись на агротехнічні вимоги до певної технологічної операції та користуючись наведеними формулами, можна найбільш точно обґрунтувати вибір складу МА і режими його роботи, що забезпечить хороші техніко-експлуатаційні показники роботи МА.

Література.

1. Машиновикористання в землеробстві /В.Ю.Ільченко, Ю.П.Нагірний, П.А.Джолос та ін.; За ред.. В.Ю.Ільченка і Ю.П.Нагірного. – К.: Урожай, 1996. - 384 с.
2. Орманджи К.С. Методика разработки операционной технологи механизированных полевых работ / К.С.Орманджи, Ю.К.Киртбая, Г.И.Барабаш. – М.: ПМУ ЦОПКБ ВИМ, 1982. – 192 с.
3. Веденяпин Г.В. Эксплуатация машинно-тракторного парка. / Г.В.Веденяпин, Ю.К.Киртбая, М.П.Сергеев – М.: «Колос», 1968.- 343 с.