

УДК 631.372.004

*А.В. Рудь, кандидат технічних наук, професор,**О.В. Думанський, асистент ПДАТУ*

## ОПТИМІЗАЦІЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ

*Викладені методи оптимізації режимів роботи машинно-тракторних агрегатів, а також оптимізація всього діапазону частот обертання колінчастого вала двигуна трактора за критеріями мінімальної витрати палива та максимальної продуктивності при оптимальних режимах роботи машинно-тракторного агрегату.*

*Ключові слова: машинно-тракторний агрегат, трактор, колінчастий вал, оптимізація, експлуатаційні показники, витрата палива, продуктивність.*

**Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичним завданнями.** Економічна робота машинно-тракторного парку сучасних сільськогосподарських підприємств значною мірою залежить від наявності тракторів різного тягового класу і комплексу сільськогосподарських машин. Відомо, що правильно скомплектований агрегат повинен забезпечувати якісне виконання робіт, високу продуктивність, оптимальне завантаження дизельного двигуна, максимально можливу механізацію допоміжних робіт, а також задовольняти вимоги комплексної механізації, тобто якість його роботи і продуктивність повинні бути взаємозв'язаними з якістю роботи і продуктивністю послідовуючих машин в технологічному циклі при вирощуванні тієї чи іншої сільськогосподарської культури [1].

Для того, щоб визначити техніко-експлуатаційні показники машинно-тракторних агрегатів, в сільськогосподарських підприємствах застосовують різні методи. Оновлення номенклатури тракторів і сільськогосподарських машин, що випускається заводами-виробниками сільськогосподарської техніки не завжди відображається в типових нормах виробітку, які відстають від ринку технічних засобів. Відсутня також інформація про оптимальні режими роботи двигуна, що не дозволяє вибрати найбільш вигідний режим роботи з метою здобуття максимальної продуктивності агрегату.

Усе це можна віднести і до проектування технічного забезпечення рослинництва з розглядом як альтернативи сільськогосподарської техніки іноземного виробництва, по якій, як правило, відсутня повна і достовірна інформація про величину змінної продуктивності та витрату палива стосовно умов вітчизняного виробництва, а також не наводяться оптимальні режими роботи двигунів мобільної техніки.

Відомо, що тяговий опір робочих машин носить імовірний (коливальний) характер. Коливання навантаження, що знижує коефіцієнт використання потужності двигуна, пояснюються наступними обставинами. Поле, по якому переміщується трактор під час виконання сільськогосподарської операції, неоднорідне за фізичними властивостями ґрунту (густина, вологість, рослинність і так далі), а його поверхня має різний мікрорельєф. Тому опір перекошування машинно-тракторного агрегату по поверхні поля і опір робочих органів сільськогосподарської машини неперервно змінюється [1, 2, 3, 4].

Імовірний несталий характер тягового опору робочих машин в поєднанні з неперервними змінами опору пересування трактора викликають коливання частоти обертання колінчастого вала двигуна, які позначаються на змінах у наповненні циліндрів зарядом, коливанні у подачі палива. Усі ці фактори впливають на потужність, але в зв'язку із запізненням процесів змінюються несинхронно зі зміною частоти обертання колінчастого вала, що веде до порушення роботи регульовальної системи, змін у процесі згорання палива, що в кінцевому результаті призводить до зменшення потужності двигуна і надмірної витрати палива [5].

Із-за нерівномірності зміни зовнішнього навантаження неможливо вибрати номінальне навантаження як робочий режим двигуна, аби його енергетичні можливості використовувалися максимально ефективно.

Тому застосовують різні критерії оптимізації для вибору найбільш вигідного режиму роботи двигуна: продуктивність агрегату, витрата палива, приведені витрати, енергоємність процесу, вартість одиниці продукції та інші показники [1, 2, 5, 6].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми.** Вибір критерію ефективності при обґрунтуванні оптимальних показників і режимів роботи машинно-тракторних агрегатів є дуже важливим, оскільки від нього залежать результати роботи агрегату та ефективність його експлуатації.

Дослідження ряду вчених [1, 4] показали, що критерії ефективності (або оптимізації) залежать від факторів, що безперервно змінюються і при виконанні технологічних операцій істотно впливають на оптимальні значення показників. Тому в умовах експлуатації машинно-тракторного агрегату необхідно здійснювати автоматичну оптимізацію режимів роботи [7].

Результати досліджень професора І.І. Водяника показують, що відхилення завантаження дизельного двигуна від оптимального значення призводить до зниження продуктивності агрегату і його техніко-економічних показників. Наприклад, при зміні коефіцієнта завантаження дизельного двигуна з 0,85 до 0,5 питома витрата палива збільшується на 20...25% [2].

При виборі завантаження двигуна необхідно враховувати те, що зі зміною моменту опору завантаження не повинно вийти за межі регуляторної гілки характеристики двигуна. Академік В.М. Болтинський запропонував формулу для визначення коефіцієнта завантаження двигуна [8]

$$\xi_z = 1 - (v_k - \xi_d), \quad (1)$$

де  $v_k$  – коефіцієнт можливого перевантаження двигуна;

$\xi_d$  – коефіцієнт допустимого перевантаження двигуна.

Учений І.І. Кісельов запропонував визначити раціональне завантаження двигуна за формулою [9]

$$\eta = \frac{(1 + \mu)}{(1 + \alpha)}, \quad (2)$$

де  $\mu$  – запас крутного моменту двигуна;

$\alpha$  – рівень нерівномірності тягового опору агрегату.

Визначення допустимого завантаження двигуна за крутним моментом із врахуванням імовірного навантаження може бути визначене за формулою [6]

$$\xi_{don} = \frac{M_{e.cер}}{M_{e.н.}} = \frac{0,97K_d}{1 + \frac{\delta_R}{2}}, \quad (3)$$

де  $M_{e.cер}$  – середнє значення моменту опору на колінчастому валу двигуна, Н·м;

$M_{e.н.}$  – номінальний крутний момент двигуна Н·м;

$K_d$  – коефіцієнт допустимого перевантаження двигуна з умови безупинної роботи;

$R$  – нерівномірність тягового опору робочих машин агрегату.

За ефективною потужністю оптимальне завантаження може бути визначене за такою формулою [5]:

$$\xi_{Ne} = \frac{N_e}{N_{e.н.}}, \quad (4)$$

де  $N_e$  – фактична ефективна потужність двигуна при даному завантаженні, кВт;

$N_{e.н.}$  – номінальна ефективна потужність двигуна, кВт.

Однак є необхідність розробки методики оптимізації режимів роботи машинно-тракторних агрегатів під час виконання сільськогосподарських технологічних операцій за критеріями мінімальної витрати палива та максимальної продуктивності агрегату.

**Мета статті:** викласти методики оптимізації режимів роботи машинно-тракторних агрегатів, а також діапазону частоти обертання колінчастого вала двигуна трактора за критеріями мінімальної витрати палива та максимальної продуктивності агрегату.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Основні показники, що характеризують роботу двигуна, це потужність, частота обертання колінчастого вала і питома витрата палива. Роботу трактора характеризує тягове зусилля, швидкість руху, тягова потужність, питома тягова витрата палива і коефіцієнт буксування. Роботу машинно-тракторного агрегату характеризує продуктивність і витрата палива. Для всього діапазону частот обертання колінчастого вала двигуна можна визначити оптимальні режими роботи машинно-тракторного агрегату за критеріями мінімальної витрати палива або за критерієм максимальної продуктивності.

Основні етапи алгоритму розрахунку за даною моделлю наступні.

**Етап 1. Вибір вихідних даних для розрахунку.**

Вихідні дані для розрахунку включають:

$g_{га.мін}$  – мінімальна питома витрата палива на гектар, г/(кВт × год.);

$W_{га.макс}$  – максимальна годинна продуктивність, га/год.

$P_{кр.макс}$  – максимальна допустима сила тяги трактора, кН;

$N_{e.макс}$  – максимальна допустима потужність двигуна, кВт;

$M_{к.макс}$  – максимальний допустимий крутний момент двигуна, Нм;

$n_{мін}, n_{макс}$  – відповідно мінімальна і максимальна допустимі частоти обертання колінчастого вала двигуна, хв.<sup>-1</sup>;

$V_{\min}, V_{\max}$  – відповідно мінімальна і максимальна допустимі швидкості руху агрегату, км/год.;  
 $i_{\text{тр}}$  – передавальне число трансмісії трактора;  
 $n_i$  – період зміни частоти обертання колінчастого вала двигуна з рівними інтервалами, хв.<sup>-1</sup>

$$n_i = \frac{n_{\max} - n_{\min}}{m}, \quad (5)$$

де  $m$  – кількість точок на проміжку частот обертання колінчастого вала двигуна від номінального до максимального значення.

### Етап 2. Розрахунок.

Ширина захвату машинно-тракторного агрегату визначається за формулою [5]:

$$B_p = n_m b_m, \quad (6)$$

де  $n_m$  – кількість сільськогосподарських машин, що входять в агрегат;  
 $b_m$  – конструктивна ширина захвату однієї сільськогосподарської машини, м.

Попередній розрахунок буксування ( $\delta$ ) трактора.

Робоча швидкість трактора визначається за формулою:

$$V_{mp} = \frac{\pi n r_k (1 - \delta)}{30 i_{mp}}, \quad (7)$$

де  $n$  – частоти обертання колінчастого вала двигуна, хв.<sup>-1</sup>;

$r_k$  – кінематичний радіус колеса, м.

Питомий тяговий опір сільськогосподарської машини з врахуванням швидкості руху визначається за формулою:

$$K = K_0 [1 + \Delta K (V - V_0)], \quad (8)$$

де  $K_0$  – питомий тяговий опір сільськогосподарської машини при швидкості  $V_0$ , кН/м;

$\Delta K$  – коефіцієнти збільшення тягового опору при збільшенні швидкості;

$V_0$  – початкова швидкість руху.  $V_0 = 4-5$  км/год.

Для плуга питомий тяговий опір визначається за формулою:

$$K_0 = k_{cp} h_{об}, \quad (9)$$

де  $k_{cp}$  – питомий опір ґрунту, кН/м;

$h_{об}$  – глибина оранки, м.

Тяговий опір машинно-тракторного агрегату знаходиться з наступних рівнянь:

$$R_{арп} = K B_p + G_{арп} \sin \alpha_1 + R_{\psi}; \quad (10)$$

$$R_{\psi} = (\sin \alpha_1 + f_p - f_0) G_{mp}, \quad (11)$$

де  $R_{\psi}$  – збільшення опору, кН;

$\alpha_1$  – нахил місцевості, град.;

$G_{арп}$  – маса сільськогосподарської машини, кН;

$G_{тр}$  – маса трактора, кН;

$f_p, f_0$  – відповідно коефіцієнти опору коченню трактора по даному ґрунті (по стерні).

Тягове зусилля трактора визначається за формулою:

$$P_{кр} = \frac{R_{арп}}{\eta_u}, \quad (12)$$

де  $\eta_u$  – коефіцієнт використання тягового зусилля, який знаходиться в межах 0,87-0,95.

Якщо ( $P_{кр} > P_{кр, \max}$ ), то необхідно прийняти  $P_{кр} = P_{кр, \max}$ .

Формула для визначення буксування має вигляд

$$\delta \% = A P_{кр}^2 + B P_{кр} + C, \quad (13)$$

де  $A, B, C$  – постійні коефіцієнти.

Якщо  $[(\delta_1 - \delta)] > \Delta \delta$ , то необхідно уточнити  $\delta$  на етапі 2 і повторити розрахунок.

Крутний момент на валу двигуна визначають за формулою

$$M_{к1} = \frac{(P_{кр} + G_{mp} f_0 + G_{mp} \sin \alpha) r_k 1000}{i_{mp} \eta_{mp}}, \quad (14)$$

де  $\eta_{mp}$  – коефіцієнт корисної дії трансмісії.

### Етап 3. Двигун.

Коефіцієнт надлишку повітря встановлюється за  $a$ . Тепловий розрахунок двигуна проводиться для визначення  $M_k$ .

Якщо  $[(M_k - M_{k1}) > \Delta M_k]$ , то необхідно уточнити  $a$  на етапі 3 і повторити розрахунок:

$$g_{кр} = \frac{G_T}{N_{кр}}; \quad (15)$$

$$W = 0,1B_p V; \quad (16)$$

$$g_{за} = \frac{G_T}{W}, \quad (17)$$

де  $g_{кр}$  – питома тягова витрата палива, кг/(кВт × год.);

$W$  – годинна продуктивність агрегату, га/год.;

$g_{ра}$  – питома витрата палива на одиницю обробленої площі, кг/га.

**Етап 4. Результат.**

Якщо  $g_{за.min} \geq g_{за}$ ;  $N_e \leq N_{e.max}$ ;  $V_{тр} \leq V_{агр.max}$ ;  $M_{к1} \leq M_{к.max}$ , то  $g_{ра.min} = g_{ра}$ .

Якщо  $W_{за.max} \leq W_{за}$ ;  $N_e \leq N_{e.max}$ ;  $V_{тр} \leq V_{агр.max}$ ;  $V_{тр} \geq V_{агр.min}$ ;  $M_{к1} \leq M_{к.max}$ , то  $W_{ра.max} = W_{ра}$ .

Якщо  $g_{е.min} \geq g_e$ ;  $N_e \leq N_{e.max}$ ;  $V_{тр} \leq V_{агр.max}$ ;  $V_{тр} \geq V_{агр.min}$ ;  $M_{к1} \leq M_{к.max}$ , то  $g_{е.min} = g_e$ .

На решті передач повторити розрахунки за розробленою блок-схемою (рис. 1).

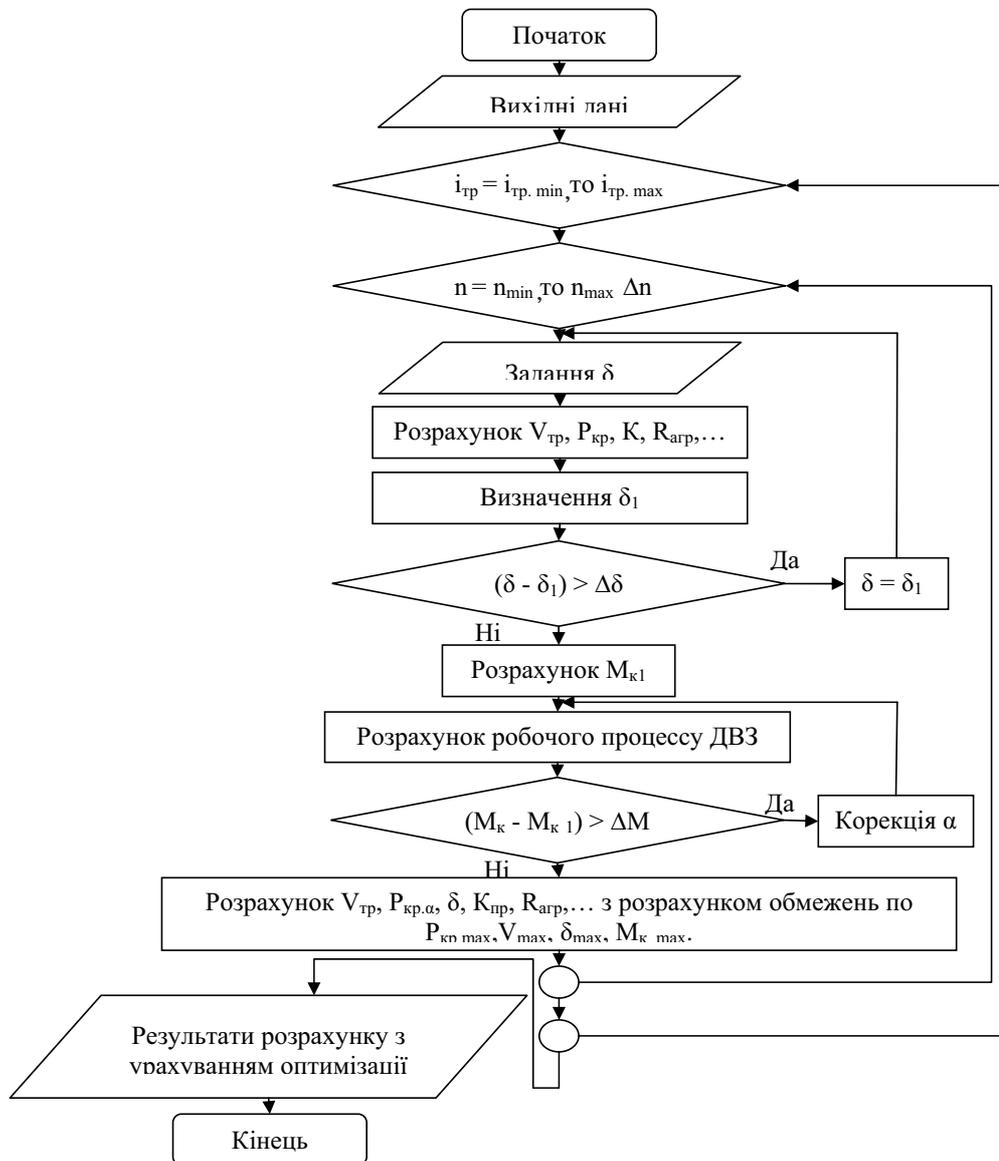


Рис. 1. Блок-схема розрахунку вихідних показників роботи машинно-тракторного агрегату

**Висновки.** Запропонована методика оптимізації експлуатаційних показників машинно-тракторного агрегату на сільськогосподарських технологічних операціях за критеріями мінімальної витрати палива та максимальної продуктивності дає можливість забезпечити якісну роботу агрегатів в складі як з тракторами вітчизняного, так і з тракторами зарубіжного виробництва.

#### Список використаних джерел

1. Эксплуатация машинно-тракторного парка. Бондаренко Н.Г. – 2-е изд., доп. и перераб. – К.: Вища школа. Головное изд-во, 1984. – 232 с.
2. Водяник І.І. Шляхи збільшення завантаження двигунів з метою підвищення паливної економічності тракторів // Наукові праці Кам'янець-Подільського державного університету. Вип. 3, том 1, 2004. – С. 218-220.
3. Николаенко А.В. Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей. – М.: Колос. 1984. – 335 с.
4. Крутов В.И. Автоматическое регулирование двигателей внутреннего сгорания – М.: Машиностроение, 1968. – 535 с.
5. 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.
6. Пособие по эксплуатации машинно-тракторного парка. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Колос, 1978. – 256 с.
7. Агеев Л.Е. Основы расчета оптимальных и допускаемых режимов работы машинно-тракторных агрегатов. – Л.: Колос, 1978. – 296 с.
8. Болтинский В.Н. Работа тракторного двигателя при неустановившейся нагрузке. – М.: Сельхозгиз, 1949. – 216 с.
9. Киселёв И.И. Резервы использования машинно-тракторного парка. – М.: Сельхозгиз, 1952. – 126 с.

**Аннотация.** Изложены методики оптимизации режимов работы машинно-тракторных агрегатов, а также оптимизация всего диапазона частот вращения коленчатого вала двигателя трактора по критериям минимального расхода топлива и максимальной производительности при оптимальных режимах работы машинно-тракторного агрегата.

**Ключевые слова:** машинно-тракторный агрегат, трактор, коленчатый вал, оптимизация, эксплуатационные показатели, расход топлива, производительность.

**Summary.** In the article the expounded methods of optimization of the modes of operations of Mashinno-traktorniy asms, and also optimization of all range of frequencies of rotation of knee vала engine of tractor, are after the criteria of minimum expense of fuel and burst performance at the optimum modes of operations of Mashinno-traktorniy asm.

**Keywords:** mashinno-traktorniy asm, tractor, crankshaft, optimization, operating indexes, expense of fuel, productivity.

УДК 631.331

*А.В. Рудь, кандидат технічних наук, професор,  
Ю.Ф. Павельчук, кандидат технічних наук, в. о. доцента,  
І.О. Мошенко, в. о. доцента,  
В.В. Нікітін, аспірант ПДАТУ*

## ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛОЩІ ЖИВЛЕННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

Викладено теоретичні дослідження площі живлення зернових культур залежно від способу сівби та агротехнологічних умов їх розвитку – земних і космічних. Зроблена графічна інтерпретація умов розвитку для окремої рослини. Встановлено та проаналізовано залежність відношення сторін прямокутника площі живлення окремої рослини від ширини міжряддя зернових культур. Проаналізована можливість точної сівби зернових культур з перспективою розробки сівалки точної координатної сівби.

**Ключові слова:** площа живлення, фактори, земні, космічні, міжряддя, крок, прямокутник, відношення сторін, квадрат, сошник, дворядковий.