

Тема 1.6. Основи раціонального комплектування машинно-тракторних агрегатів

Зміст

- ☐ 1. Основні вимоги до комплектування машинно-тракторних агрегатів. Режими роботи агрегату
- ☐ 2. Способи визначення кількості машин в агрегаті, їх характеристика
- ☐ 3. Порядок аналітичного розрахування складу машинно-тракторного агрегату
- ☐ 4. Розрахування складу агрегату (простого, багатоопераційного, тягово-урухомлювального, самохідного, транспортного)
- ☐ 5. Визначення коефіцієнта раціонального використання тягового зусилля та використання тягової потужності
- ☐ Питання для самоконтролю

1. Основні вимоги до комплектування машинно-тракторних агрегатів. Режими роботи агрегату

Комплектування агрегатів – науково обґрунтований процес вибору оптимального складу агрегатів і його режимів роботи згідно з вимогами запропонованої технології дотримання агрономативів під час виконання технологічних операцій.

Під час комплектування машинно-тракторних агрегатів, згідно з вимогами до них ([див. тему 1.1, питання 3](#)), слід урахувати такі вимоги:

- дотримання агротехнічних вимог щодо своєчасності виконання операцій;
- машинно-тракторний агрегат під час виконання технологічної операції має сприяти виконанню наступної технологічної операції;
- машинно-тракторний агрегат має бути маневровим, прохідним, володіти стійкістю руху, тобто зберігати заданий напрямок руху, що сприяє високоякісному виконанню технологічної операції;
- висока продуктивність за мінімальних питомих витрат ресурсів (трудових, енергетичних, паливо-мастильних матеріалів, матеріальних і фінансових);
- якнайменший вплив на навколишнє середовище;
- створення умов для довгострокової, високопродуктивної праці персоналу з обслуговування агрегатів;
- машинно-тракторні агрегати мають забезпечувати технологічну і параметричну сумісність (узгодженість за шириною захвату, шириною колії, прохідністю, продуктивністю). Параметрична сумісність МТА передбачає узгодженість за кількістю рядків або міжрядь, що обробляють агрегати до і після проведення цих операцій;
- машинно-тракторні агрегати мають забезпечувати вимоги охорони праці;
- номінальна сила тяги тракторів на обраній передачі має > використовуватися в допустимих межах.

Оптимальне агрегування – це раціональне поєднання енергетичної частини та робочої машини в заданому діапазоні робочої швидкості й ширини захвату агрегату, за якого забезпечується максимальна продуктивність за мінімальних витрат ресурсів (трудових, енергетичних, паливо-мастильних матеріалів, матеріальних і фінансових) у розрахунку на одиницю роботи.

З урахуванням цих вимог комплектують агрегат і обирають оптимальні режими роботи.

Режими роботи агрегату характеризують поступальна швидкість його руху і завантаженість двигуна за крутним моментом. Аналіз режимів завантаження агрегату здійснюють за завантажувальними режимами роботи двигуна трактора ([див. тему 1.2](#)).

Кількість машин в агрегаті має бути такою, щоб можливе збільшення тягового опору не перевищувало запасу сили тяги трактора.

2. Способи визначення кількості машин в агрегаті, їх характеристика

Для виконання будь-якої технологічної операції встановлено єдину послідовність складання агрегату:

1. Згідно з агротехнічними вимогами вибирають тип трактора, зчіпки і машини (з урахуванням їх експлуатаційних характеристик).

2. За умовами експлуатації, робочими параметрами підібраних тракторів і машин, а також рекомендованим діапазоном швидкостей руху (за показниками якості роботи) визначають кількість машин в агрегаті.
3. З урахуванням зазначених вимог регулюють трактор, зчіпку і робочі машини, а потім формують агрегат.

Якщо склад агрегату визначає конструкція машини (наприклад, глибоке розпушування начіпним глибокорозпушувачем КПГ-2-150), то за заданої глибини обробітку і відомого питомого опору ґрунтів визначають середній опір агрегату. Після цього залишається підібрати швидкість руху і робочу передачу. Якщо агрегат комплектують з кількох машин, то їх кількість визначають одним з двох способів: досвідним або розрахунковим.

Досвідний спосіб ґрунтується на нагромадженому досвіді складання агрегатів. Коли використовують нові трактори і машини, агрегат комплектують на основі заводських інструкцій або довідкових рекомендацій.

Вибравши зчіпку, приєднують до неї машини і перевіряють агрегат у роботі. На потрібній передачі, що відповідає заданому діапазону швидкостей, визначають завантаження двигуна трактора за показами приладу, розміщеного в кабіні, зокрема тахоспідометра. Якщо такого приладу немає, перевіряють завантаження шляхом переходу на вищу передачу: нормальна робота двигуна на вищій передачі свідчить про те, що до цього він був недовантажений. Тому треба збільшити кількість машин в агрегаті, щоб досягти потрібних показників. У разі перевантаження двигуна кількість машин відповідно зменшують або переходять на нижчу передачу, якщо швидкість руху на ній агротехнічно допустима.

У разі використання досвідного способу витрачається багато часу на експерименти. Тому вигідніше попередньо визначити кількість машин в агрегаті розрахунковим методом, а потім, після перевірки агрегату в роботі, внести уточнення.

Розрахунковий спосіб визначення кількості машин в агрегаті, що враховує конкретні умови, найбільш точний. За готових графіків, що відображають специфіку роботи, можливий графічний розрахунок агрегату, коли дані про кількість машин, передачу, швидкість руху, витрату палива, а інколи і змінну продуктивність, беруть із графіка.

Якщо тяговий опір агрегату визначають розрахунковим методом, а інші дані про склад агрегату беруть з графіка, то це вже графоаналітичний спосіб розрахування агрегату. Визначення складу агрегату лише за допомогою розрахування характерне для аналітичного методу.

3. Порядок аналітичного розрахування складу машинно-тракторного агрегату

Аналітичне розрахування проводять у такій послідовності:

1. Визначають агротехнічні вимоги до виконання конкретної технологічної операції.
2. Визначають агротехнічно допустимі швидкості руху агрегату під час виконання конкретної технологічної операції.
3. Вибирають тип і марку трактора.
4. Вибирають передачі трактора, які забезпечують швидкості руху в агротехнічно допустимому діапазоні швидкостей.
5. Визначають тягове зусилля трактора на вибраних передачах і для заданих ґрунтових умов роботи агрегату.
6. Вибирають марку сільськогосподарської машини; визначають тяговий опір однієї машини; визначають кількість машин в агрегаті.
7. За кількістю робочих машин визначають марку зчіпки.
8. Розраховують тяговий опір агрегату.
9. Визначають коефіцієнт використання тягового зусилля трактора, на вибраних передачах. Вибирають ту передачу, на якій коефіцієнт & тягового зусилля знаходиться в допустимих межах або наближається до них.

4. Розрахування складу агрегату (простого, багатоопераційного, тягово-урухомлювального, самохідного, транспортного)

Розраховуючи склад простого агрегату аналітичним методом, діють так:

1. Визначають агротехнічно допустимі швидкості руху для конкретної операції ([див. додатки табл. 5](#)).
2. Вибирають передачі, які забезпечують ці швидкості руху.
3. Визначають тягове зусилля трактора на передачах:

$$P_{\text{гак}} = 10 \cdot N_e \cdot i_{\text{тр}} \cdot \eta_{\text{тр}} / n_d \cdot r_0 - G_{\text{тр}} \cdot (f + i / 100), \text{кН}$$

де N_e – номінальна потужність двигуна, кВт;

$i_{\text{тр}}$ – передаточне число трансмісії на передачах;

n_d – номінальна частота обертання колінчатого вала двигуна, хв^{-1} ;

r_0 – радіус ведучої зірочки або колеса, м;

$G_{\text{тр}}$ – маса трактора, кН;

$\eta_{\text{тр}}$ – коефіцієнт корисної дії трансмісії (для гусеничного трактора $\eta_{\text{тр}} = 0,87 \dots 0,9$; для колісного $\eta_{\text{тр}} = 0,9 \dots 0,92$);

f – коефіцієнт опору коченню трактора;

i – ухил поля, %.

4. Визначають максимальну ширину захвату на передачах:

$$B_{\text{мах}} = P_{\text{гак}} - R_{\text{зч}} / K_v + R_i, \text{кН},$$

де $R_{\text{зч}}$ – опір зчіпки, який визначають за формулою:

$$R_{\text{зч}} = G_{\text{зч}} \cdot (f_{\text{зч}} + i / 100), \text{кН},$$

де $G_{\text{зч}}$ – вага зчіпки, кН;

$f_{\text{зч}}$ – коефіцієнт опору коченню зчіпки;

K_v – питомий опір культиватора на робочій швидкості, кН/м;

$$K_v = K_0 \cdot [1 + \Pi \cdot (V_p - V_0)], \text{кН/м},$$

де Π – коефіцієнт приросту питомого опору;

V_p – робоча швидкість руху агрегату, км/год;

$V_0 = 5$ км/год;

$$V_p = V_t \cdot (1 - \delta / 100), \text{км/год},$$

де δ – буксування, %;

R_i – додатковий опір, який виникає під час руху агрегату на ухилі, кН/м;

V_t – теоретична швидкість руху агрегату, км/год;

$$R_i = G_m \cdot (i \times 100) / B_k, \text{кН/м},$$

де G_m – вага с.-г. машини, кН;

B_k – конструктивна ширина захвату с.-г. машини, м.

5. Визначають кількість с.-г. машин в агрегаті (із заокругленням до цілих чисел у бік зменшення):

$$n = B_{\text{мах}} / B_k, \text{шт.}$$

6. Визначають тяговий опір агрегату:

$$R_{\text{агр}} = (K_v + R_i) \cdot B_k \cdot n + R_{\text{зч}}, \text{кН}.$$

7. Визначають коефіцієнт використання тягового зусилля трактора:

$$\eta = R_{\text{агр}} / P_{\text{гак}}$$

Нормальні значення цього коефіцієнта наведено в табл. 1.6.1.

Таблиця 1.6.1 Допустимі значення коефіцієнта використання номінального тягового зусилля, $\eta_{\text{в.т}}$

Назва операції	Значення коефіцієнту	Назва операції	Значення коефіцієнту
1	2	1	2
Оранка легких і середніх ґрунтів	0,92...0,95	Боронування	0,93...0,95
Оранка важких ґрунтів	0,88...0,90	Обробіток плоскорізами	0,90...0,93
Оранка ущільнених пересохлих та кам'янистих ґрунтів	0,80...0,92	Лущення дисковими лущильниками	0,94...0,96
Суцільна культивация	0,92...0,94	Сівба дисковими сівалками	0,95...0,97

Примітка. Коефіцієнт $\eta_{в.т}$ для інших операцій прирівнюють до подібних, які подано.

Особливість розрахування агрегату для оранки

Перші три дії під час розрахування орного агрегату залишаються такими, як і простого агрегату. У подальшому розрахування має свої особливості:

Робочий тяговий опір одного корпусу знаходять за формулою:

$$R_K = K_v \cdot a \cdot b_K, \text{кН},$$

де K_v – питомий опір плуга на робочій швидкості, кН/м^2 ;

a – глибина оранки, м;

b_K – ширина захвату корпусу плуга, м;

$$K_v = K_0 \cdot [1 + 0,006(V_p^2 - V_0^2)],$$

де V_p – робоча швидкість руху, км/год ;

$V_0 = 5 \text{ км/год}$;

$$V_p = V_t \cdot (1 - \delta/100), \text{км/год},$$

де δ – коефіцієнт буксування, %.

Кількість корпусів знаходять за формулою (із заокругленням до цілих чисел у бік зменшення):

$$n_K = P_{\text{гак}} / R_K.$$

Робочий тяговий опір плуга:

$$R_{\text{агр}} = K_v \cdot a \cdot b_K \cdot n_K \pm G_{\text{пл}} \cdot (i/100), \text{кН}.$$

Коефіцієнт використання тягового зусилля трактора знаходять за формулою:

$$\eta_{\text{тз}} = R_{\text{агр}} / P_{\text{гак}}.$$

Особливість розрахування багатоопераційного агрегату

Багатоопераційний агрегат у такому самому порядку, як і прості агрегати з причіпними машинами, за виключенням визначення максимально можливої ширини захвату та тягового опору агрегату.

Визначають максимально можливу ширину захвату:

$$B_{\max} = P_{\text{гак}} - R_{\text{зч}} / \sum (K_v + R_i), \text{м.}$$

Визначають тяговий опір агрегату:

$$R_{\text{арп}} = \sum (K_v + R_i) \cdot B_{\text{кпп}} + R_{\text{зч}}, \text{кН.}$$

Особливість розрахування тягово-урухомлювального агрегату

Перші дві дії під час розрахування тягово-урухомлювального агрегату залишаються такими, як і простого агрегату. У подальшому розрахування має свої особливості.

Визначають тягове зусилля трактора на передачах:

$$P_{\text{гак}} = 10 \cdot (N_e - N_{\text{пр}} / \eta_{\text{ВВП}}) \cdot i_{\text{тр}} \cdot \eta_{\text{тр}} / n_d \cdot r_0 - G_{\text{тр}} (f + i / 100), \text{кН},$$

де N_e – номінальна потужність двигуна, кВт;

$N_{\text{пр}}$ – потужність для урухомлення механізмів машини, кВт;

$i_{\text{тр}}$ – передаточне число трансмісії на передачах;

n_d – номінальна частота обертання колінчатого вала двигуна, хв⁻¹;

r_0 – радіус ведучої зірочки або колеса, м;

$G_{\text{тр}}$ – маса трактора, кН;

$\eta_{\text{тр}}$ – коефіцієнт корисної дії трансмісії (для гусеничного трактора $\eta_{\text{тр}} = 0,87 \dots 0,9$; для колісного $\eta_{\text{тр}} = 0,9 \dots 0,92$); $\eta_{\text{ВВП}}$ – коефіцієнт корисної дії вала відбору

потужності, $\eta_{\text{ВВП}} = 0,91 \dots 0,96$

f – коефіцієнт опору коченню трактора;

i – ухвіз поля, %.

Для роботи тягово-урухомлювального агрегату потрібно забезпечити таку умову:

$$N_{\text{пр}} < N_{\text{ВВП}},$$

де $N_{\text{ВВП}}$ – потужність, яка може передаватися через ВВП під час руху МТА, кВт;

$N_{\text{пр}}$ – потужність в кВт для урухомлення механізмів машини, кВт;

$$N_{\text{пр}} = N_{\text{п}} \cdot q, \text{кВт},$$

де $N_{\text{п}}$ – питома потужність, кВт·с/кг; кВт·с/кг;

q – секундна подача маси в машину, кг/с;

$$q = B_p \cdot V_p \cdot \gamma, \text{кг/с.}$$

Визначають потужність, яка може передаватись через ВВП під час руху МТА:

$$N_{\text{ВВП}} = N_e \cdot \eta_{\text{ВВП}} - (R_{\text{коч.тр}} + R_{\text{коч.м}}) \cdot V_p \cdot \eta_{\text{ВВП}} / 3,6 \cdot \eta_{\text{тр}} \cdot \eta_{\delta}, \text{кВт},$$

де $R_{\text{коч.тр}}$ – опір коченню трактора, кН;

$$R_{\text{коч.тр}} = G_{\text{тр}} \cdot (f + i / 100), \text{кН},$$

де $R_{\text{коч.м}}$ – опір коченню с.-г. машини, кН;

$$R_{\text{коч.м}} = G_{\text{м}} \cdot (f_{\text{м}} + i / 100), \text{кН};$$

η_{δ} – коефіцієнт буксування:

$$\eta_{\delta} = 1 - \delta / 100.$$

Якщо умова $N_{\text{пр}} < N_{\text{ВВП}}$ задовольняється, то укомплектований агрегат працюватиме нормально.

Для оцінювання раціонального комплектування агрегату потрібно визначити коефіцієнт використання тягового зусилля трактора:

$$\eta = R_{\text{арп}} / P_{\text{гак}},$$

де $R_{\text{арп}}$ – зведений опір тягово-урухомлювального агрегату, кН.

Визначають зведений опір тягово-урухомлювального агрегату:

$$R_{\text{арп}} = R_f + R_i + R_d + R_p, \text{кН},$$

де R_f – опір машини на пересування, кН;

$$R_f = G_m \cdot f_m, \text{кН},$$

де G_m – маса машини, кН;

f_m – коефіцієнт опору кочення;

R_i – опір машини на підйом, кН;

$$R_i = G_m \cdot i / 100, \text{кН},$$

де i – величина підйому, %;

R_d – додатковий опір від вала відбору потужності, кН;

$$P_d = 3,6 \cdot N_{пр} \cdot \eta_{тр} / V_p \cdot \eta_{ВВП}, \text{кН},$$

де $N_{пр}$ – потужність для урахування механізмів машини, кВт;

V_p – робоча швидкість, км/год;

$\eta_{ВВП}$ – коефіцієнт корисної дії вала відбору потужності;

$\eta_{тр}$ – коефіцієнт корисної дії трансмісії трактора;

R_p – робочий опір машини, кН (для машин, робочі органи яких мають контакт з ґрунтом: бурякозбиральних, картоплезбиральних тощо).

$$R_p = K_v \cdot B_k, \text{кН},$$

де K_v – питомий опір машини з урахуванням швидкості руху, кН/м;

B_k – конструктивна ширина захвату машини, м.

Особливість розрахування самохідного агрегату

Порядок розрахування розглянемо на прикладі зернозбирального комбайну. Аналітичне розрахування збирального агрегату полягає у визначенні швидкості за допустимою пропускною здатністю молотарки.

Допустиму пропускну здатність можна визначити за формулою:

$$q_d = q_v \cdot [1 - 0,03 \cdot (W_\phi - 15)],$$

де q_v – можлива пропускна здатність, кг/с;

W_ϕ – фактична вологість маси, яку обмолочують, %;

$$q_v = 0,6 \cdot q_m \cdot (1 + 1/\delta_c),$$

де q_m – пропускна здатність комбайна, кг/с;

δ_c – коефіцієнт соломистості;

$$\delta_c = \gamma_c / \gamma_z,$$

де γ_c – урожайність соломи, т/га;

γ_z – урожайність зерна, т/га;

$$q_m = a_1 \cdot q_e \cdot [1 + b_1 \cdot (q_z - 4) / 4],$$

де a_1 – коефіцієнт, який пристосований до обмолоту зернових культур (рівний 1,0 для культур, які легко обмолочують і 0,7 – для культур, які важко обмолочують під час обмолоту однобарабаним молотильним апаратом; $a_1 = 0,75$ – під час обмолоту двобарабаним молотильним апаратом;

b_1 – коефіцієнт, який враховує тип молотильного пристрою (для однобарабанного, $b_1 = 0,3$, а для двобарабанних 0,27);

q_e – еталонна пропускна здатність, кг/с [додатки, табл. 24].

Визначити швидкість за пропускною здатністю

$$V_{рпз} = 36 \cdot q_d / B_p \cdot \gamma_m,$$

де B_p – робоча ширина захвату жатки, м;

γ_m – урожайність маси, т/га;

$$\gamma_m = \gamma_z + \gamma_c,$$

$$B_p = B_k \cdot \beta,$$

де B_k – конструктивна ширина захвату жатки, м [додатки, табл. 12];

β – коефіцієнт використання ширини захвату жатки.

Особливість розрахування транспортного агрегату

Основними факторами, що визначають склад тракторного транспортного агрегату, є тягові можливості трактора за потужністю двигуна і зчеплення ведучих коліс з ґрунтом, стан опірної поверхні шляхів. Ці фактори і враховуються в першу чергу під час розрахування.

Метод комплектування транспортного агрегату, як правило, такий, як під час розрахунку машинно-тракторних агрегатів, що виконують технологічні операції. Замість кількості машин тут визначають кількість причіпних візків, що може тягнути трактор на одній із вищих передач.

Перші три дії під час розрахунку транспортного агрегату залишаються такими, як і простого агрегату. У подальшому розрахунок має свої особливості:

Визначають загальну допустиму масу агрегованих причепів (маса причепів + вантаж) з урахуванням тягових властивостей трактора і стану шляхів:

$$G_{\text{пр.мах}} = P_{\text{гак}} - G_{\text{тр}} \cdot f \cdot \alpha_{\text{тр}} / f \cdot \alpha_{\text{пр}}, \text{ кН},$$

де $P_{\text{гак}}$ – тягове зусилля на гаку трактора, кН;

$G_{\text{тр}}$ – вага трактора, кН;

f – коефіцієнт опору кочення [\[додатки, табл. 16\]](#);

$\alpha_{\text{тр}}$ – відповідно коефіцієнти, що враховують підвищення опору руху трактора і причепа під час рухання з місця [\[додатки, табл. 19\]](#).

Визначають кількість причепів в агрегаті

$$n_{\text{пр}} = G_{\text{пр.мах}} / G_0 + g_{\text{пр}} \cdot \gamma, \text{ шт.},$$

де G_0 – вага причепа без вантажу, кН [\[додатки, табл. 12\]](#);

$g_{\text{пр}}$ – вантажність причепа, кН [\[додатки, табл. 20\]](#);

γ – коефіцієнт використання вантажності.

Визначають опір транспортного агрегату в конкретних умовах, враховуючи величину підйому

$$R_{\text{агр}} = (G_0 + g_{\text{пр}} \cdot \gamma) \cdot (f + i / 100) \cdot n_{\text{пр}}, \text{ кН},$$

де i – величина підйому, %.

Визначають коефіцієнт використання тягового зусилля трактора

$$\eta_{\text{т.з.}} = R_{\text{агр}} / P_{\text{гак}}.$$

Коефіцієнт використання тягового зусилля для транспортних агрегатів може бути в межах 0,90...0,95. Для подолання важких шляхових перешкод переходять на нижчу передачу.

5. Визначення коефіцієнта раціонального використання тягового зусилля та використання тягової потужності

Співвідношення агротехнічно корисної потужності $N_{\text{а.к.}}$ до загальної потужності $N_{\text{е}}$, використаної на виконання технологічної операції, називають коефіцієнтом корисної дії (ККД) агрегату:

$$\eta_{\text{а}} = N_{\text{а.к.}} / N_{\text{е}} = N_{\text{а.к.}} / N_{\text{гак}} \cdot N_{\text{гак}} / N_{\text{е}} = \eta_{\text{т}} \cdot \eta_{\text{м}},$$

де $\eta_{\text{т}}$ – коефіцієнт корисної дії трактора;

$\eta_{\text{м}}$ – коефіцієнт корисної дії сільськогосподарської машини.

Якщо машин кілька, то беруть добуток їх ККД. Значення $\eta_{\text{а}}$ може змінюватись і залежить від багатьох факторів, тому числові значення цього ККД в технічних характеристиках не наводять. Орієнтовно ККД різних машин знаходяться в широких межах – від 0,20 до 0,80. Частіше бувають менші значення.

Підвищення ККД машин можливе в разі зменшення їх мас, скорочення витрат на тертя, суміщення функцій рушіїв і робочих органів. Будь-які шляхи зниження шкідливих складових тягових опорів машин сприяють підвищенню коефіцієнта корисної дії.

Питання для самоконтролю

1. [Які основні вимоги потрібно врахувати під час вибору складу машинно-тракторних агрегатів?](#)
2. [Поясніть, як правильно вибрати допустимий діапазон робочих швидкостей під час виконання технологічних операцій?](#)
3. [Назвіть способи розрахунку кількості машин в агрегаті.](#)
4. [Поясніть суть аналітичного методу розрахунку складу агрегату.](#)
5. [Поясніть порядок розрахунку простого тягового агрегату?](#)
6. [Поясніть особливості розрахунку складу багатоопераційного, орного, тягово-урухомлювального, самохідного та транспортного агрегатів.](#)
7. [Як визначають коефіцієнт корисної дії агрегату?](#)

