

## ТЕМА 4. ПРОЕКТУВАННЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

### План

1. Основні принципи побудови транспортно-технологічних механізованих процесів
2. Вибір технологічної схеми процесу

### 1. Основні принципи побудови транспортно-технологічних механізованих процесів

Метою проектування транспортно-технологічних процесів є забезпечення виконання заданого обсягу робіт з потрібною якістю при мінімально можливих витратах ресурсів. Параметрами якості робіт є переважно показники агротехнічних вимог (норма внесення, глибина заробки, втрати продукції і інші), а також своєчасність проведення технологічної операції.

Більшість робіт у землеробстві виконують не окремими машинами, а складними машинними системами — групами або комплексами машин. Поєднання таких груп чи комплексів машин складає відповідні технологічні лінії та потокові процеси (внесення добрив, посів, збирання врожаю та інші).

*Проектування транспортно-технологічних процесів спрямовується на забезпечення наступних принципів: безперервності потоку, своєчасності робіт, ритмічності процесу, мінімальної достатності ресурсів, максимальної екологічності механізованих процесів.* На цих принципах будуються раціональні механізовані процеси, властивості яких відповідають агротехнічним, економічним і екологічним вимогам.

Ефективне використання технічних можливостей сільськогосподарської техніки можливе при максимальному її завантажуванні, відсутності простоїв при поточності (безперервності) і високій надійності технологічних процесів.

Для *створення безперервності потоку* необхідна рівність продуктивності за зміну всіх ланок комплексу (поточкового процесу).

Наприклад, *поточність і безперервність* під час внесення добрив за технологічною схемою з перевантажуванням, до якої входять ланка для розкидання добрив по полю, навантажувачі добрив і ланка транспортних засобів, відображається такими рівностями:

$$W_{ГЗ}n_{агр} = W_{ГН}n_{Н} = W_{ГТЗ}n_{ТЗ}, \quad (1)$$

де  $W_{ГЗ}$ ,  $W_{ГН}$  і  $W_{ГТЗ}$  — продуктивність агрегатів за годину відповідно для внесення добрив, навантажувачів і транспортних засобів, т/год;  $n_{агр}$ ,  $n_{Н}$ ,  $n_{ТЗ}$  — відповідно кількість агрегатів для внесення добрив, навантажувачів і транспортних засобів, шт.

Тобто для *забезпечення безперервності потоку* необхідно, щоб продуктивність агрегатів, які працюють у комплексі, або окремих

технологічних груп чи ланок технологічної лінії була однаковою або кратною.

Своєчасність робіт забезпечується умовою:

$$T_{3M} \sum W_j n_j K_{3Mj} \geq \Omega / D_P, \quad (2)$$

де  $W_j$  — продуктивність  $j$ -го МТА за годину змінного часу;  $n_j$  — кількість агрегатів  $j$ -го типу;  $\Omega$  — обсяг робіт, т;  $D_P$  — кількість днів, протягом яких потрібно виконати заданий обсяг робіт;  $T_{3M}$  — тривалість нормативної зміни;  $K_{3Mj}$  — коефіцієнт змінності при роботі  $j$ -го МА.

Якщо передбачається використання однакових за складом і продуктивністю агрегатів, то з умови (13.2) слід:

$$W_{ГЗ} = \frac{\Omega}{D_P T_{3M} K_{3M}}. \quad (3)$$

Кількість агрегатів основної ланки визначається з умови своєчасності за формулами

$$n_{agr} = \frac{\Omega}{W_{ГЗ} \cdot T_{3M} K_{3M} D_P}, \quad (13.4)$$

де  $W_{ГЗ}$  — продуктивність агрегату основної ланки, т/год.;

$K_{3M}$  — коефіцієнт змінності, що показує кількість робочих змін на добу.

При визначенні кількості агрегатів у кожній групі лінії, обчисленні їх продуктивності та продуктивності технологічної лінії взагалі виходять із продуктивності основної технологічної, ведучої ланки (поток). При внесенні добрив, наприклад, такою основною технологічною ланкою є машини для внесення добрив. За сумарною продуктивністю основної технологічної групи визначають необхідну кількість машин (агрегатів) в інших групах. Для даного прикладу процесу внесення добрив:

$$n_H = \frac{W_{ГЗ} n_{agr}}{W_{ГН}}; \quad n_{ГЗ} = \frac{W_{ГЗ} n_{agr}}{W_{ГГЗ}}. \quad (5-6)$$

Отже, для належного функціонування потокового процесу необхідно забезпечити умову, за якої добова продуктивність окремих груп машин, у тому числі і транспортних засобів відповідала продуктивності основної технологічної ланки (в одних і тих же одиницях).

При послідовній взаємодії технічних засобів потрібно узгодити продуктивність всіх його ланок, тобто:

$$n_1 W_1 = n_2 W_2 = \dots = n_m W_m, \quad (7)$$

де  $n_1, n_2, \dots, n_m$  — число технічних засобів відповідних ланок;  $W_1, W_2, \dots, W_m$  — продуктивність технічних засобів.

Досягти строгої рівності елементів умови (13.1) практично неможливо, тому для кожної ланки процесу можуть бути встановлені допустимі коефіцієнти простою (доля часу простоїв через неузгодженість взаємодії). Наприклад, для взаємодії двох ланок процесу можна записати:

$$n_1 W_1 (1 - k_{ПП1}) = n_2 W_2 (1 - k_{ПП2}), \quad (8)$$

де  $k_{ПП1}, k_{ПП2}$  — допустимі коефіцієнти простою.

Так, для транспортного обслуговування збиральної ланки з п'яти комбайнів ( $n_1 = 5$ ) при середній продуктивності одного комбайна  $W_1 = 6$  т/год. і допустимому значенні коефіцієнту простою  $k_{ПП1} = 0,1$  число автомобілів із середньою продуктивністю  $W_2 = 5,8$  т/год при  $k_{ПП2} = 0,2$  становитиме:

$$n_2 = \frac{5 \cdot 6 \cdot (1 - 0,1)}{5,8 \cdot (1 - 0,2)} \approx 6 \text{ од.}$$

Високої продуктивності можна досягнути при належному рівні технологічного і технічного обслуговування основної ланки, а також організації процесу.

*Ритмічність* механізованого процесу означає виконання однакового обсягу робіт за однакові проміжки часу протягом всього строку проведення робіт, тобто  $\Delta\Omega/\Delta T = \text{idem}$  (те ж саме). Забезпечується ритмічність процесу під час дотримання умови (7) узгодженою взаємодією персоналу і технічних засобів у просторі та часі, а також надійністю процесу.

Узгодження взаємодії у часі здійснюється шляхом застосування графіків взаємодії з урахуванням тривалості технологічних циклів (заповнення або опорожнення місткостей, транспортної їздки, приготування робочих сумішей пестицидів тощо).

При недостатній кількості засобів технологічного обслуговування, або некротній тривалості технологічних циклів окремих ланок процесу, ритмічність робіт може забезпечуватися включенням у склад комплексу машин технологічної лінії - місткостей-компенсаторів для розподільних процесів, або накопичувачів — для збиральних процесів. Їх наявність у системі знижує жорсткість взаємозв'язків елементів процесу, а також негативний вплив випадкових відхилень тривалості окремих циклів від номінальних значень. Крім того, ритмічність процесу суттєво залежить від роботоздатності технічних засобів.

Принцип *мінімальної достатності ресурсів* націлює на забезпечення високої економічності механізованих процесів. Його можна сформулювати так: досягти поставленої мети з мінімально можливими витратами ресурсів. При цьому потрібно враховувати всі види ресурсів: технологічні матеріали, паливо, трудові та фінансові ресурси, технічні засоби.

*Ресурсозбереженість* є одним із головних напрямків розвитку технологічних систем. При проектуванні важливо запобігти можливих втрат на кожному етапі технологічного процесу від складу до поля, уникнути зайвих функцій, а також функцій, корисність яких значно нижча від витрат на їх реалізацію. Оцінку ресурсомісткості процесу в цілому можна давати в енергетичних одиницях як суму сукупної енергії на окремі функції і операції.

*Принцип сумісності* окремих ланок означає, що параметри механізованого процесу повинні відповідати вимогам технології в цілому. Наприклад, якщо кормозбиральний комбайн працює з певною швидкістю, то і транспортний засіб повинен рухатися поряд з тією ж швидкістю під час завантаження.

*Екологічність* механізованого процесу характеризує рівень споживання непоновлюваних ресурсів і шкідливість наслідків процесу щодо середовища. Показник екологічності є одним із найзагальніших показників ефективності, бо враховує корисні результати, витрати ресурсів і шкідливі наслідки виробництва.

Перелічені принципи побудови механізованих процесів повинні складати основу проектування і удосконалення процесів.

## 2 Вибір технологічної схеми процесу

Технологічна схема механізованого процесу обумовлює структуру операцій, склад і взаємодію технічних засобів. Різноманітність варіантів технологічної схеми є характерною для розподільних (сівба, внесення добрив, обприскування) і збиральних процесів. У цих процесах можна виділити характерні операції, що обумовлюють стан технологічних матеріалів, а саме: зберігання, навантаження, транспортування, розвантаження, накопичення, внесення, збирання. Перелічені операції можуть виконуватися різними технічними засобами, в різній послідовності та повноті виконання, що і обумовлює той або інший варіант технологічної схеми. Найпоширеніші варіанти організації процесів розподілу технологічних матеріалів і збирання врожаю наведені в табл. 1.

*Прямоточна* схема розподільних процесів передбачає завантаження робочих машин технологічними матеріалами на складі, транспортування і внесення матеріалів тими ж машинами.

*Перевантажувальна* схема передбачає завантаження на складі технологічними матеріалами транспортних засобів, транспортування ними матеріалів до робочих машин, перевантаження у робочі машини, які здійснюють розподіл матеріалів на площі (сів, внесення добрив, пестицидів).

*Перевалочна* схема у порівнянні з попередньою додатково включає проміжне складування матеріалів (польові склади, бурти, накопичувачі), з наступним завантаженням робочих машин і внесенням.

Збиральні процеси можуть бути реалізовані за такими ж схемами, лише потік матеріалів (зерна, силосу, цукрових буряків та ін.) йде у зворотному напрямку — від поля до сховища.

Перевагами прямоточної схеми є менша у порівнянні з іншими потреба в технічних засобах технологічного обслуговування. Проте продуктивність основних агрегатів істотно знижується через виконання ними транспортних функцій.

Таблиця .1 - Варіанти технологічних схем розподільних і збиральних процесів

Операції з технологічними матеріалами	Технологічна схема		
	прямоточна	перевантажувальна	перевалочна
Розподільні процеси			
Зберігання	Склад	Склад	Склад
Навантаження	Навантажувачі	Навантажувачі	Навантажувачі
Транспортування	Основні робочі машини	Транспортні засоби	Транспортні засоби
Розвантаження	Те ж	Те ж	Те ж
Нагромадження	-	-	Польовий склад (нагромаджувач)
Внесення	Основні робочі машини	Основні робочі машини	Основні робочі машини
Збиральні процеси			

Збирання	Збиральні агрегати	Збиральні агрегати	Збиральні агрегати
Вивантаження	Те ж	Те ж	Те ж
Нагромадження	Транспортні засоби	Нагромаджувач	Нагромаджувач
Вивантаження	-	Те ж	Навантажувач
Транспортування	Те ж	Транспортні засоби	Транспортні засоби
Розвантаження	Те ж	Те ж	Те ж
Зберігання	Склад	Склад	Склад

Область доцільності застосування прямої схеми можна встановити, виходячи з мінімально допустимого значення коефіцієнту використання часу зміни  $[\tau]_{\min}$  основним агрегатом. Для цього зручно використовувати залежність:

$$\tau = \frac{1 - \delta_{\text{пц}}}{1 + \tau_{\text{ц}}}, \quad (9)$$

де  $\delta_{\text{пц}} = \frac{T_{\text{пц}}}{T_{\text{зм}}}$  - доля позациклового часу ( $T_{\text{пц}}$ ) у зміні (проведення ТО, підготовчо-заклучні операції, час особистих потреб);  $\tau_{\text{ц}} = t_p / (t_p + t_x + t_{\text{тп}})$  — коефіцієнт використання циклового часу зміни;  $t_p$ ,  $t_x$ ,  $t_{\text{тп}}$  — відповідно час основної роботи, холостих поворотів і транспортної їздки протягом одного циклу. Окремі складові часу циклу для розподільних операцій визначаються за формулами:

$$t_p = \frac{q}{W_p U}; \quad (10)$$

$$t_x = \frac{q}{W_p U} \cdot \frac{l_x}{l_r}; \quad (11)$$

$$t_{\text{тп}} = t_{\text{пн}} + t_{\text{н}} + t_{\text{п}} = t_{\text{пн}} + \frac{q}{W_{\text{н}}} + \frac{2l_{\text{тп}}}{v_{\text{т}}}, \quad (12)$$

де  $q$  — вантажопідйомність основного агрегату;  $W_p$  — продуктивність агрегату за годину основного часу на виконання основної операції, га/год.;  $U$  — норма витрати технологічного матеріалу, т/га;  $l_x$ ,  $l_r$ ,  $l_{\text{тп}}$  — відповідно довжина повороту, гону і відстань транспортування, км;  $t_{\text{пн}}$ ,  $t_{\text{н}}$ ,  $t_{\text{п}}$  — час підготовки до навантаження, навантаження і переїзд до поля, год.;  $W_{\text{н}}$  — продуктивність навантажувальних засобів, т/год;  $v_{\text{т}}$  — середня за рейс транспортна швидкість агрегату, км/год.

Після деяких перетворень можна визначити максимальну відстань переїздів  $l_{\text{тп}}$ , при якій забезпечується умова  $\tau \geq [\tau]_{\min}$ :

$$l_{\text{тп}} = \left[ \left( \frac{1 - \delta_{\text{пц}}}{\tau} - \frac{l_x}{l_r} - 1 \right) \frac{q}{W_p U} - t_{\text{пн}} - \frac{q}{W_{\text{н}}} \right] \frac{v_{\text{т}}}{2} \quad (13)$$

Число циклів за зміну визначається за формулою:

$$n_{ц} = INT \frac{W_p T_{3M} \tau \cdot U}{\gamma \cdot q}, \quad (14)$$

Наприклад, при внесенні добрив агрегатом ЮМЗ-6Л + МВУ-5 з нормою витрати  $U = 0,1$  т/га за умови  $[\tau]_{\min} = 0,65$  і  $\delta_{щ} = 0,12$ , граничний радіус застосування прямої схеми  $l_{\text{тр max}} \approx 9$  км, а при нормі витрати  $U = 0,2$  т/га,  $l_{\text{тр max}} = 4$  км. При роботі агрегату ЮМЗ-6Л + МВУ-0,5 і тих же умовах граничний радіус становить: при  $U = 0,1$  т/га –  $l_{\text{тр max}} \approx 3$  км, при  $U = 0,2$  т/га –  $l_{\text{тр max}} \approx 1,5$  км.

Дана методика дає орієнтовне значення граничного радіуса застосування прямої схеми. Адекватність розрахунків залежить від обґрунтованості допустимого значення  $[\tau]_{\min}$ , яке повинно встановлюватися, виходячи з принципів своєчасності робіт і економічної ефективності (ресурсозаощадності) з урахуванням конкретних природно-виробничих умов.

Перевантажувальна схема дозволяє значно підвищити продуктивність основних агрегатів при відстані транспортування більшій від граничних значень для прямої схеми, а також при великих нормах внесення.

Число транспортних засобів для обслуговування основних агрегатів визначається з умови безперервності процесу, тобто:

$$n_{\text{ТР}} = \frac{n_o W_o (1 - k_{\text{ПРО}})}{W_{\text{ТР}} (1 - k_{\text{ПРТ}})}, \quad (15)$$

де  $n_o$  і  $n_{\text{ТР}}$  — відповідно, число основних і транспортних агрегатів;  $W_o$  і  $W_{\text{ТР}}$  — продуктивність основних і транспортних агрегатів, т/год;  $k_{\text{ПРО}}$  і  $k_{\text{ПРТ}}$  — допустимі значення коефіцієнтів простою основних і транспортних засобів.

Для забезпечення ритмічності процесу при організації робіт за перевантажувальною схемою доцільно будувати графіки узгодження взаємодії основних і транспортних засобів.

Перевалочна схема організації робіт має дві фази процесу:

- вивезення технологічних матеріалів з центрального складу на польовий для розподільних процесів або вивантаження їх у контейнер (причеп)-накопичувач при збиранні врожаю;
- внесення технологічних матеріалів або транспортування врожаю на центральний склад. Перевагою такої організації робіт є відсутність жорсткого взаємозв'язку між обома фазами процесу. Наприклад, вивезення органічних добрив і формування польових буртів може здійснюватися у зимовий період, а внесення добрив — у заданий агротехнічними умовами строк.