

Міністерство аграрної політики та продовольства України
Миколаївський національний аграрний університет



Кафедра тракторів та сільськогосподарських
машин

Бондаренко О.В., Грубань В.А.

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

з дисципліни: «Проектування технологічних
процесів в рослинництві»

Миколаїв

2014

ВСТУПНА ЛЕКЦІЯ

ТЕМА: ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОГО СКЛАДУ МАШИННОГО АГРЕГАТУ

ПЛАН ЗАНЯТТЯ

- 1. Загальне формулювання задачі**
- 2. Метод та алгоритм розв'язку задачі**
- 3. Приклад багатокритеріального вибору складу МА**

1. Загальне формулювання задачі. Вибір складу машинного агрегату (МА) є однією з центральних задач проектування технологічних систем на рівні операції, процесу та технології. Враховуючи різноманітність умов і велику кількість технологічних операцій, число комбінацій машинних агрегатів в багатогалузевому господарстві може становити тисячі варіантів. Тому навіть невеликий ефект в кожному окремому випадку в сукупності суттєво впливає на економічні показники виробництва.

Кількість альтернативних варіантів складу МА стосовно машинно-тракторного парку (МТП) конкретного господарства, як правило, невелика. Тому проектування складу агрегата доцільно розглядати як задачу вибору раціонального варіанту МА з кінцевої множини можливих для конкретного МТП варіантів. У загальному вигляді цю задачу можна сформулювати так: у господарстві із заданими природно-виробничими умовами потрібно виконати певну технологічну операцію. Обґрунтувати раціональний склад МА, виходячи з наявного МТП, який забезпечив би своєчасне виконання заданого обсягу робіт з мінімально можливими експлуатаційними витратами, дотриманням вимог щодо якості, екологічності та безпечності робіт.

2. Метод та алгоритм розв'язку задачі. Проектування складу МА здійснюється, в основному, за нижче наведеною схемою.

Проектування систем належить до найбільш відповідальних функцій інженерної діяльності, які суттєво впливають на кінцеві результати

виробництва. Через порівняно невелику тривалість життєвого циклу більшості аграрних технологічних систем (надалі ТхС) проектування є багаторазовим процесом. Концепція аграрних ТхС як систем-процесів, кількісна оцінка техногенних наслідків і екологічності їх функціонування, система професійних цінностей, сучасний науково-інструментальний базис фахівців інженерної служби – все це означає становлення системної інженерії аграрних ТхС, в тому числі і їх проектування.

Метою проектування аграрних ТхС є забезпечення виконання заданого обсягу робіт з потрібною якістю при мінімально можливих затратах ресурсів і шкідливих наслідках техногенного характеру. Загальна схема проектування ТхС усіх рівнів наведена на рис. 1.

Початок задає клас і призначення ТхС, що проектується.

Перший етап проектування передбачає обґрунтоване формулювання мети і вибір відповідних критеріїв оцінки окремих проектних рішень і ТхС в цілому. Етап включає процедури аналізу виробничої ситуації, встановлення пріоритетів щодо цілей і критеріїв стосовно конкретної ситуації, відбору критеріїв за ознаками ієрархії або експертною оцінкою. В результаті задача проектування може бути сформульована як одно- так і багатокритеріальна з обмеженнями або без них.

На другому етапі формується вхідна інформація, що необхідна для пошуку ефективних шляхів досягнення поставленої мети. Основні чинники, що можуть вплинути на вибір технічних засобів і режимів роботи, організацію ТхС рільництва, доцільно об'єднати в наступні групи:

- * характеристика культури: назва, сорт, характеристики посадки (міжряддя, фаза розвитку, урожайність тощо);
- * агротехнічні вимоги до операцій і процесів: оптимальні строки проведення робіт, норми внесення, параметри якості і допустимі відхилення;
- * природно-виробничі умови проведення робіт: характеристики полів, ґрунту, відстані переїздів;

- * технологічні особливості: варіант технологічного циклу вирощування культури (основний обробіток, передпосівний обробіток, сівба, догляд за посівами, збирання та ін.), місце в сівозміні, стан ґрунту і посівів, вплив відхилення строків виконання робіт на кінцеві результати;
- * наявні ресурси: трудові, технічні засоби, паливо, технологічні матеріали, вартість та якість ресурсів;
- * екологічні вимоги щодо рівня негативних наслідків операції: тиск на ґрунт, винесення гумусу і ерозія ґрунтів, забруднення довкілля тощо;
- * вимоги охорони праці та техніки безпеки.

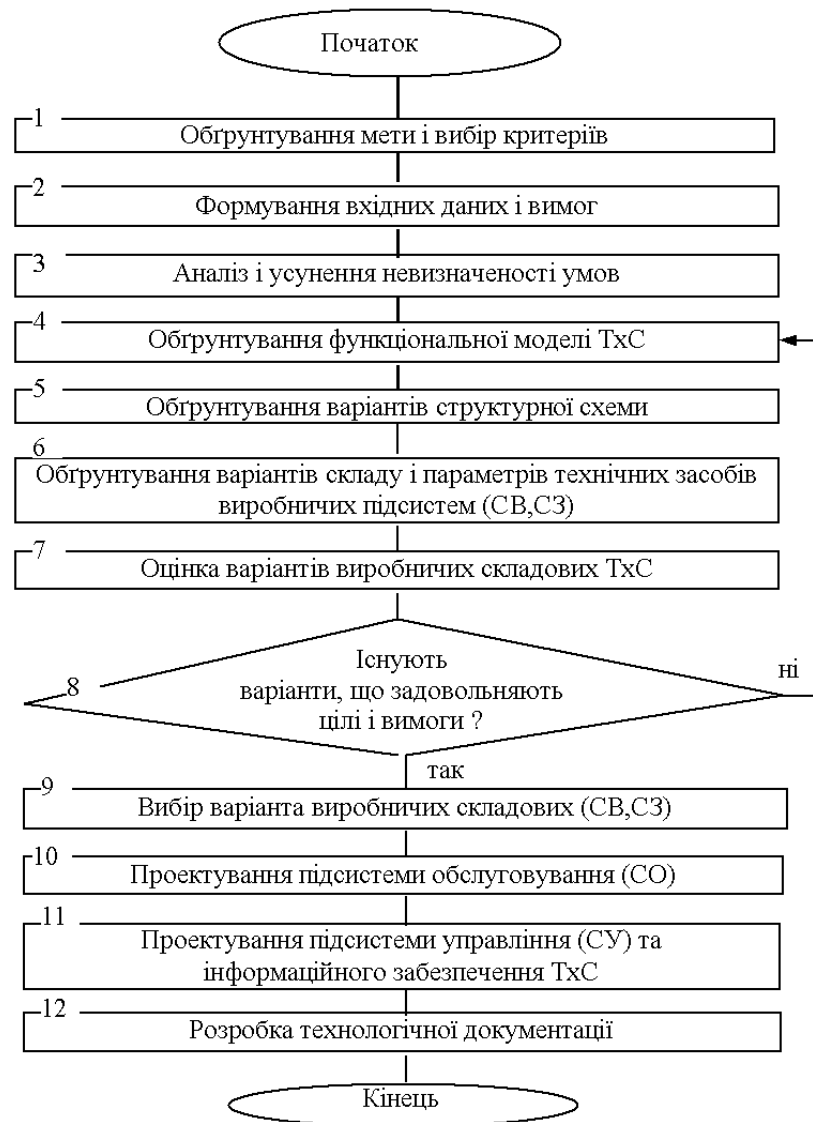


Рис. 1. Загальна схема проектування технологічних систем

В умови задачі проектування ТхС включаються лише ті дані, що необхідні і достатні для досягнення мети. Надлишок інформації веде до

зростання розмірності задачі, а відповідно, складності і трудомісткості розв'язку, а також зниження чутливості рішень до зміни окремих факторів.

Третій етап передбачає усунення невизначеностей умов. На цьому етапі реалізуються процедури аналізу невизначеностей, вибору способів їх зниження, встановлення законів розподілу ймовірностей появи подій, статистичних характеристик випадкових факторів (середніх значень або математичного сподівання, дисперсії), обґрунтування резервів на випадок несприятливих обставин, а також допустимого ризику, усунення суб'єктивних невизначеностей.

На четвертому етапі обґрунтовується функціональна модель ТхС, що повинна розкрити функції, які необхідно реалізувати для досягнення заданих цілей. В тому, що проектування аграрних ТхС починається з розкриття функцій, проявляється сутність функціонального підходу.

П'ятий етап передбачає структурний синтез ТхС, які забезпечують реалізацію потрібних функцій. Згідно з типовою схемою (рис. 1) і функціональною моделлю встановлюється набір альтернативних варіантів структури ТхС.

На шостому етапі обґрунтовуються варіанти складу елементів основної виробничої складової (СВ) і пов'язаної з нею підсистеми технологічного забезпечення (СЗ), визначаються і узгоджуються між собою їх параметри. Розрахунки проводяться виходячи з виконання заданого обсягу і необхідного темпу робіт, наявних ресурсів і вимог.

Оцінка варіантів ТхС за встановленими раніше критеріями проводиться *на сьомому етапі*. За результатами оцінки формується вихідна множина варіантів, з якої буде зроблений остаточний вибір. Якщо за прийнятими критеріями відсутні варіанти, що задовольняють вимоги, то процес проектування повертається на крок 4 (*логічна операція 8*).

На дев'ятому етапі реалізується процедура остаточного варіанта складу і параметрів підсистем СВ і СЗ. Вона залежить від числа критеріїв оцінки

варіантів, вибраного правила прийняття рішення. Ефективні процедури одно- і багатокритеріального вибору розглядаються нами нижче.

Склад і параметри виробничих підсистем СВ і СЗ є вихідними умовами для обґрунтування організаційної схеми, складу і параметрів підсистеми технічного обслуговування (крок 10) і управління (крок 11). Обґрунтування проектних рішень доцільно здійснювати на процедурах співставлення корисності функцій підсистем і затрат на їх реалізацію.

На завершальному етапі розробляються технологічний і експлуатаційний регламенти. Перший встановлює умови і вимоги щодо забезпечення якості робіт, другий – щодо стабільності функціонування ТхС, ефективного використання їх можливостей.

На всіх етапах проектування систем, від формулювання мети і до оцінки прийнятих рішень, важливо дотримуватися певних канонів, які забезпечували б необхідну якість композиції ТхС, її сумісність із середовищем. Сформулюємо ці канони у формі принципів проектування аграрних ТхС.

Принцип достатньої корисності: при проектуванні технологічних систем потрібно забезпечити необхідний і достатній рівень корисних результатів.

При деякій тривіальності даного принципу в його основі лежать об'єктивні закономірності. Він впливає із так званого закону спадаючої граничної корисності. Суть цього закону полягає в тому, що інтенсивність зростання корисності певних благ спадає із збільшенням розміру самих благ.

Так, приріст корисного ефекту своєчасності та якості механізованих робіт знижується в міру наближення до своїх граничних значень. Даний принцип націлює ОПР на встановлення та забезпечення раціональних меж корисності ТхС.

Принцип ресурсощадності: необхідної корисності системи потрібно досягати з мінімально можливими затратами ресурсів.

Ефективність як одна з найбільш загальних властивостей системи характеризується співвідношенням корисних результатів і затрат. Даний

принцип у поєднанні з попереднім спрямовує процес проектування на пошук оптимальних рішень щодо ефективності систем.

Принцип сумісності: властивості аграрних технологічних систем повинні бути сумісними з надсистемою і середовищем.

Даний принцип впливає з відомого в системотехніці фундаментального принципу зовнішнього доповнення. Згідно з теоремою Геделя про неповноту формальних систем достатній опис властивостей системи можливий лише в межах ширшої системи, тобто із зовнішнім доповненням. Так, ефективність ТхС, будучи атрибутом системи, проявляється лише в надсистемі (ефективність операції, процесу – в межах технології, технології – в межах господарського комплексу і т.д.). Звідси ж впливає і вимога тривірневого опису систем (надсистема – система – елементи).

Для аграрних ТхС принцип сумісності має крім зовнішнього доповнення ще й функціональний зміст, а саме: часове і параметричне узгодження системи з надсистемою і середовищем (наприклад, машин – за шириною захвату, операцій – за часом, параметрів агрегату – з рельєфом).

Принцип екологічності: проектування аграрних ТхС повинно забезпечити їх екологічно безпечне функціонування.

Виходячи з концепції екологічності, критерії еколого-економічної ефективності ТхС є найбільш загальними, з якими потрібно узгоджувати інші показники їх функціонування. Даний принцип спрямований на дотримання екологічного імперативу, покращання екологічних властивостей аграрних систем.

На першому етапі за результатами оцінки виробничої ситуації потрібно обґрунтувати мету і відповідні критерії. Як видно із загального формулювання задачі, вона є багатокритеріальною з обмеженнями. Зокрема, потрібно встановити критерій корисності, який відображав би своєчасність робіт, а також критерій експлуатаційних витрат. Ті вимоги щодо якості та безпечності робіт, що рівною мірою стосуються всіх альтернатив і які можна задати у вигляді

критеріїв придатності, доцільно в умові задачі сформулювати у вигляді обмежень.

У вхідній інформації для вибору раціонального складу МА, що виконує польові роботи, потрібно задати:

- * характеристику культури (міжряддя, фазу розвитку, урожайність);
- * агротехнічні вимоги: оптимальні строки проведення робіт, норми внесення, параметри якості і допустимі відхилення;
- * природно-виробничі умови: площу полів, довжину гонів, характеристики рельєфу і ґрунту, відстані переїздів;
- * наявні ресурси: технічні засоби, паливо, технологічні матеріали, вартість ресурсів та їх якісні характеристики;
- * екологічні вимоги: тиск на ґрунт, винесення гумусу і ерозія ґрунтів, забруднення довкілля тощо;
- * вимоги охорони праці та техніки безпеки.

На третьому етапі усуваються невизначеності умов. Зокрема, невизначеність погодних умов на період виконання технологічної операції може бути врахована ймовірним значенням коефіцієнта погодності (K_n) на підставі статистичних даних або імітаційного моделювання; надійність технічних засобів – їх коефіцієнтами готовності (K_e). Об'єднуючим показником може бути коефіцієнт використання календарного часу (K_D):

$$K_D = K_n \cdot K_e. \quad (1)$$

Коливання робочої швидкості, тягового опору можуть бути враховані ймовірними середніми значеннями цих факторів. Проте з метою недопущення тривалого перевантаження енергетичного засобу встановлюється коефіцієнт запасу сили тяги, значення якого залежить від ступеня нерівномірності тягового опору.

Оскільки МА може виконувати різні технологічні функції (наприклад, комбіновані агрегати з різними наборами робочих органів), то на четвертому етапі обґрунтовуються функції, які необхідно реалізувати для досягнення технологічних цілей.

На етапі структурного синтезу встановлюються варіанти МА з урахуванням можливих комбінацій функцій та наявної в господарстві техніки. Етап завершується формуванням множини можливих альтернатив (ММА), тобто варіантів складу агрегатів.

Оскільки вибір машинного агрегату є частковою задачею проектування ТхС, то шостий крок алгоритму, (див. рис. 1) не реалізується і здійснюється перехід на сьомий крок.

На сьомому етапі проводиться оцінка варіантів за встановленими раніше критеріями. За результатами оцінки формується вихідна множина альтернатив (ВМА), з якої буде зроблений остаточний вибір. Для цього застосовується метод Парето. Якщо за прийнятими критеріями відсутні варіанти, що задовольняють вимоги, то процес проектування повертається на крок 4 (логічна операція 8).

На дев'ятому етапі реалізується процедура остаточного вибору варіанта складу і параметрів МА. Вона залежить від числа критеріїв оцінки варіантів, вибраного правила прийняття рішення. Багатокритеріальний вибір може бути здійснений за методом відстані до цілі або лексикографічним методом.

Цим етапом завершується розв'язок задачі вибору МА.

3. Приклад багатокритеріального вибору складу МА.

У господарстві протягом 3-х днів ($D=3$) потрібно провести сівбу ярих зернових культур на площі $F=100га$. Середня площа ділянок $S=50га$, середня довжина гону $L=520м$, максимальний ухил поля $i=3\%$.

Виходячи з наявного у господарстві МТП, обґрунтувати раціональний склад посівного машинно-тракторного агрегату (МТА), який забезпечив би своєчасне виконання заданого обсягу робіт з урахуванням дефіциту палива, дотриманням вимог щодо якості, екологічності та безпечності робіт.

Згідно з алгоритмом розв'язку задачі встановлюємо критерії оцінки альтернативних варіантів.

Мету, що стосується своєчасності робіт, можна виразити критерієм кількості нормозмін ($N_{зм}$) на виконання заданого обсягу робіт (F):

$$N_{зм} = F / W_{зм}, \quad (2)$$

де $W_{зм}$ – змінний виробіток МТА, га.

Враховуючи дефіцит палива, в число основних критеріїв вибору МТА включаємо погектарну витрату палива q (л/га).

При сівбі зернових культур важливе значення для збереження родючості ґрунтів має тиск ходової системи агрегату на ґрунт. Тому екологічність операції будемо оцінювати критерієм роботи деформації ґрунту:

$$A_f = P_f L_s = 10^4 (\eta f_m G_m + \sum f_{mj} G_{mj}) / B_p, \quad (3)$$

де A_f – робота на утворення колії, Дж/га;

P_f – складова опору коченню, що деформує ґрунт, Н;

L_s – шлях, пройдений агрегатом при обробітку 1га, м/га;

η – коефіцієнт внутрішніх втрат у ходовій системі тракторів, який для колісних тракторів можна прийняти $\eta \cong 0,98$, а для гусеничних $\eta = 0,9-0,93$;

f_m і f_{mj} – коефіцієнти опору коченню трактора і j -ї машини в агрегаті;

G_m і G_{mj} – експлуатаційна вага трактора та j -ї машини, Н;

B_p – ширина захвату агрегату, м.

У таблиці 1 наведено порівняльну оцінку агрегатів для сівби зернових культур за трьома критеріями: число нормозмін $N_{зм}$; погектарна витрата палива q , кг/га і робота ущільнення ґрунту A_f , МДж/га. Всі три критерії покращуються у бік зниження їх числових значень. Оскільки число альтернативних варіантів невелике, процедуру формування множини Парето можна не проводити.

Таблиця 1

Основні характеристики роботи посівних МТА

Варіанти складу МТА	$W_{зм}$, га	$N_{зм}$	q , кг/га	A_f , МДж/га
1. Т-150К + СП-11 + 3СЗ-3,6	34,70	2,88	3,30	23,61
2. Т-150 + СП-11 + 3 СЗ-3,6	38,50	2,60	2,90	17,85
3. ДТ-75М+ СП-11 + 3СЗ-3,6	32,70	3,06	2,60	16,93
4. Т-70С + СЗП-8-01	28,40	3,52	2,40	17,40
5. МТЗ-100 + СЗП-8-01	29,20	3,42	2,20	20,22
Ідеалізований варіант		2,60	2,20	16,93

При рівноцінності критеріїв вибір раціонального варіанта агрегату проводимо за відстанню до цілі з нормуванням критеріїв. Результати вибору подано в табл. 2.

Таблиця 2

Вибір посівного агрегату за відстанню до цілі

Альтернативні агрегати	Нормовані критерії			Відстань до цілі μ	Ранг
	$N_{зм}^H$	q^H	A^H		
1. Т-150К + СП-11 + 3СЗ-3,6	1,10	1,59	1,39	0,360	5
2. Т-150 + СП-11 + 3 СЗ-3,6	1,00	1,32	1,05	0,123	2
3. ДТ-75М+ СП-11 + 3СЗ-3,6	1,18	1,18	1,00	0,120	1
4. Т-70С + СЗП-8-01	1,35	1,09	1,03	0,157	3
5. МТЗ-100 + СЗП-8-01	1,32	1,00	1,68	0,333	4

Найближче до ідеалізованого варіанта знаходяться посівні агрегати Т-150+СП-11+3СЗ-3,6 і ДТ-75М+СП-11+3СЗ-3,6. Вони за відстанню до цілі μ є майже рівноцінними.

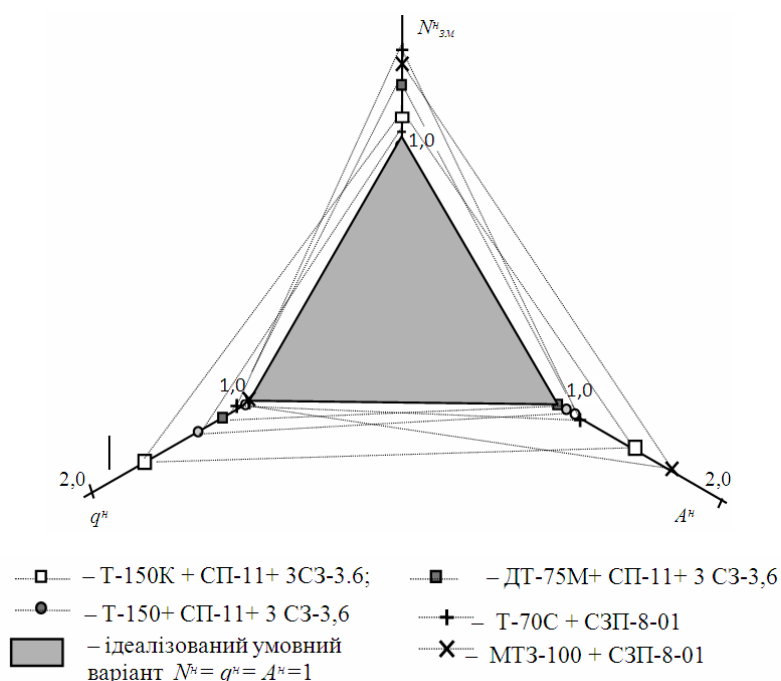


Рис. 2. Порівняння посівних агрегатів у просторі нормованих критеріїв числа нормозмін (N^H), витрати палива (q^H) і роботи на деформацію ґрунту (A^H)

Агрегати на базі колісних тракторів суттєво програють за критерієм роботи ущільнення ґрунту A_f . Ущільнення ґрунту впливає як на екологічність робіт, так і на кінцеві показники (врожайність), тому багатокритеріальний вибір

посівних агрегатів повніше відображає реальні вимоги щодо екологічності та ефективності механізованих процесів.

Методи багатокритеріальної оцінки альтернатив і вибору раціонального варіанта потрібно застосовувати не лише для вибору МА, але й для оцінки технічного рівня машин, технологій та технологічних систем усіх рівнів.

ТЕМА: ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОПЕРАЦІЇ

ПЛАН ЗАНЯТТЯ

1. Загальне формулювання задачі.**2. Методика проектування операції.**

1. Загальне формулювання задачі. На відміну від проектування використання машинного агрегату в операції (операційної технології), проектування технологічної операції включає задачі синтезу структурної схеми операції, вибору відповідних технічних засобів (МА), розподілу обсягів робіт між агрегатами, підготовки до проведення операції агрегатів і предмета праці, організації та контролю якості робіт.

Метою проектування технологічних операцій є забезпечення своєчасного виконання заданого обсягу робіт з потрібною якістю при мінімально можливих витратах ресурсів та екологічно несприятливих наслідках.

У загальному вигляді задачу можна сформулювати так:

* при заданих обсязі робіт, агротехнічних та екологічних вимогах підібрати раціональний склад технічних засобів, розробити технологічний регламент, обґрунтувати організацію роботи і контролю якості операції.

2. Методика проектування операції. Проектування технологічної операції здійснюється за схемою (див. рис. 1), але окремі його етапи проводяться за методиками, що відображають специфіку операції.

Своєчасність робіт забезпечується умовою

$$T_{3M} \sum_j W_j n_j k_{3M} \geq \Omega / D_p, \quad (1)$$

де W_j – продуктивність j -го МТА за годину змінного часу;

n_j – число агрегатів j -го типу;

Ω – обсяг робіт;

D_p – число днів, протягом яких потрібно виконати роботи;

$T_{зм}$ – тривалість нормативної зміни;

$k_{зм}$ – коефіцієнт змінності.

Отже, обсяг виконаних робіт та їх своєчасність значною мірою зумовлюються продуктивністю технічних засобів. Проте варто враховувати, що своєчасність, крім того, залежить і від початку робіт на календарній шкалі. Показник своєчасності можна виразити через обсяги виконаної роботи в межах нормативного агротехнічного строку (Ω_H) і поза його межами ($\Delta\Omega$), а також нормативне число днів (D_H) і відхилення від нього (ΔD):

$$K_{cb} = \frac{\Omega_H D_H}{\Omega_H D_H + \Delta\Omega \Delta D} = \frac{1}{1 + \frac{\Delta\Omega}{\Omega_H} \cdot \frac{\Delta D}{D_H}} = \frac{1}{1 + \omega_c t_c}, \quad (2)$$

за умов: $\Delta\Omega = \Omega - \Omega_H$

- $D = D_{нп} - D_H$, якщо $D_{нп} \otimes D_{фп}$, $D_{фз} \bullet D_{нз}$
- $D = D_{фз} - D_{нз}$, якщо $D_{фз} \otimes D_{нз}$, $D_{фп} \nabla D_{нп}$
- $D = (D_{нп} - D_{фп}) - (D_{фз} - D_{нз})$, якщо $D_{нп} \otimes D_{фп}$, $D_{фз} \otimes D_{нз}$
- $D = 0$, якщо $D_{фп} \nabla D_{нп}$, $D_{фз} \bullet D_{нз}$,

де $D_{нп}$ і $D_{фп}$ – порядкові номери днів від початку року відповідно нормативного і фактичного початку операції;

$D_{фз}$ і $D_{нз}$ – порядкові номери днів нормативного і фактичного завершення операції.

ω_c – частка несвоєчасно виконаного обсягу робіт;

t_c – відносне відхилення від оптимальних агростроків.

Показник своєчасності робіт бажано мати рівним 1, тобто:

$$\Delta\Omega = 0 \text{ і } D = 0.$$

Основним чинником невизначеності у забезпеченні своєчасності робіт є погодні умови. Ця невизначеність може долатися встановленням найбільш вірогідного значення коефіцієнта погодності в конкретному календарному періоді за статистичними даними або за прогнозом погоди:

$$K_{II} = D_p/D. \quad (3)$$

Повнішу інформацію забезпечує імітаційне моделювання погодних умов, яке дозволяє встановити ймовірну кількість сприятливих і несприятливих півзмін, коефіцієнт погодності та його середньоквадратичне відхилення з урахуванням збігу різних погодних факторів (дощ, вітер, туман, температура повітря). На підставі цих даних встановлюють необхідні темпи робіт.

При виконанні технологічних операцій витрачаються матеріальні ресурси у вигляді технічних засобів, технологічних матеріалів (насіння, добрива, пестициди та ін.); енергетичні як різновид матеріальних ресурсів (паливо, електроенергія, теплова енергія та ін.); трудові та грошові ресурси. Загальний показник **ресурсомісткості** виражається через затрати сукупної непоновлюваної енергії E_{ij} :

$$E_{ij} = \alpha_{ni} \cdot g_{ni} + \sum_m \alpha_m g_m + \frac{\alpha_T M_T + \sum_r \alpha_r M_r + \sum_p \alpha_p M_p + \sum_l \alpha_l N_l}{W_{3M}}, \quad (4)$$

де E_{ij} – затрати сукупної непоновлюваної енергії j -го агрегату при виконанні i -тої операції, МДж/га;

α_n, α_m – енергетичні еквіваленти витраченого палива і m -того технологічного матеріалу, МДж/га;

g_n, g_m – витрата палива і технологічних матеріалів, кг/га;

α_r, α_p – енергетичні еквіваленти години роботи трактора, робочих машин r -того типу і обладнання p -го типу МДж/кг·год;

M_m, M_r, M_p – маса трактора, с.-г. машин і обладнання, кг;

α_l – енергетичний еквівалент праці персоналу, МДж/год;

N_l – число працюючих l -тої категорії, чол.;

W_{3M} – змінна продуктивність агрегату, га/год.

Експлуатаційні витрати в узагальненому вигляді можуть виражатися також у грошових одиницях:

прямі питомі витрати C_n , грн./га

$$C_n = C_{on} + C_{nmm} + C_p + C_{кто}; \quad (5)$$

приведені витрати Π , грн./га

$$\Pi = C_n + E_n K, \quad (6)$$

де $C_{об}$, $C_{нмм}$ – питомі експлуатаційні витрати коштів відповідно на оплату праці та паливно-мастильні матеріали, грн./га;

C_p , $C_{кто}$ – відрахування на реновацію технічних засобів, капітальний ремонт і технічне обслуговування, грн./га;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень ($E_n = 0,15$);

K – капітальні вкладення, грн./га.

Коли в структурі витрат є домінуючий складник, або дефіцитний ресурс, то він може бути прийнятий за критерій. Зокрема, таким частковим критерієм є витрата палива при роботі МА (q_n , кг/га).

Важливим завданням проектування є зниження шкідливих наслідків проведення технологічних операцій щодо ґрунту і навколишнього середовища. Зокрема, для польових операцій:

$$E_{шij} = E_2 + A_f + \sum_p A_{xp}, \quad (7)$$

де $E_{шij}$ – загальні шкідливі наслідки i -тої операції, що реалізована на базі j -го агрегату, МДж/га;

A_f – робота деформації ґрунту ходовими системами МА (формула 3 Л1), Мдж/га;

A_{xp} – шкідлива дія засобів хімізації, МДж/га.

Отже, критеріями синтезу раціональної ТхСО можуть бути: продуктивність системи (W_o), узагальнений показник якості (Δ_o), ресурсомісткість операції (E_o), узагальнений показник шкідливих наслідків операції ($E_{ш}$). Інколи замість ресурсомісткості в ролі критерію можуть виступати прямі або приведені грошові витрати (C_n , Π), які корелюють з ресурсомісткістю.

Число критеріїв можна зменшити, якщо окремі показники перевести в категорію обмежень. Такий підхід доцільно застосовувати насамперед до показників якості та шкідливих наслідків, бо їх значення повинні відповідати певним нормативним вимогам, незалежно від складу та інших властивостей системи. Тоді задача проектування ТхСО зводиться до двокритеріальної (W_o і E_o). Застосування відносних критеріїв (наприклад, відношення W_o/E_o)

дозволяє звести задачу до однокритеріальної. Проте такий критерій не розрізняє альтернативних варіантів з пропорційною зміною чисельника і знаменника. Відносні критерії можуть бути корисними як допоміжні при багатокритеріальному виборі кращого варіанта системи.

Технологічна операція передбачає сукупність дій, що забезпечують зміну властивостей предмета праці від початкового до заданого стану, і може бути простою або суміщеною. Суміщена операція об'єднує ряд простих однотипних (наприклад, ґрунтообробні операції) або різнотипних (наприклад, міжрядний обробіток і підживлення рослин) операцій.

Синтез структури включає обґрунтування складу зовнішніх функцій технологічної операції, що зумовлюють її корисність, відповідних структурно-функціональних компонентів (СФК) системи, зв'язків і відношень між ними, а також між системою і надсистемою, вибору схеми операції.

Обґрунтування функцій операції вимагає аналізу агротехнічних вимог, умов і можливих варіантів реалізації функцій. Навіть проста операція може виконувати одночасно декілька функцій. Наприклад, ґрунтообробні знаряддя можуть здійснювати обертання скиби, розпушування і вирівнювання ґрунту, підрізання бур'янів.

Суміщення операцій вимагає забезпечення сумісності функцій, зокрема: агротехнічної сумісності операцій (сумісність вимог щодо показників якості робіт, строків проведення операцій, тривалості робіт та ін.); технічної можливості суміщення операцій (наявність технічних засобів, узгодженість параметрів робочих органів, машин і енергетичних засобів); дотримання екологічних вимог і охорони праці.

Аналіз і синтез структури функцій зручно здійснювати з використанням матриць взаємозв'язків між функціями і способами їх реалізації (операціями). Важливо врахувати при проектуванні ТхС системний принцип трирівневого дослідження. Це означає, що операція (системний рівень) та її елементи (внутрішньосистемний рівень) не можуть проектуватися ізольовано, а лише в рамках ширшої технологічної системи (надсистемний рівень). Для операції

такою ширшою системою може бути технологічний цикл робіт (основний і передпосівний обробіток ґрунту, сівба, догляд, збирання). Приклад побудови матриці зв'язків наведений на рис. 1.

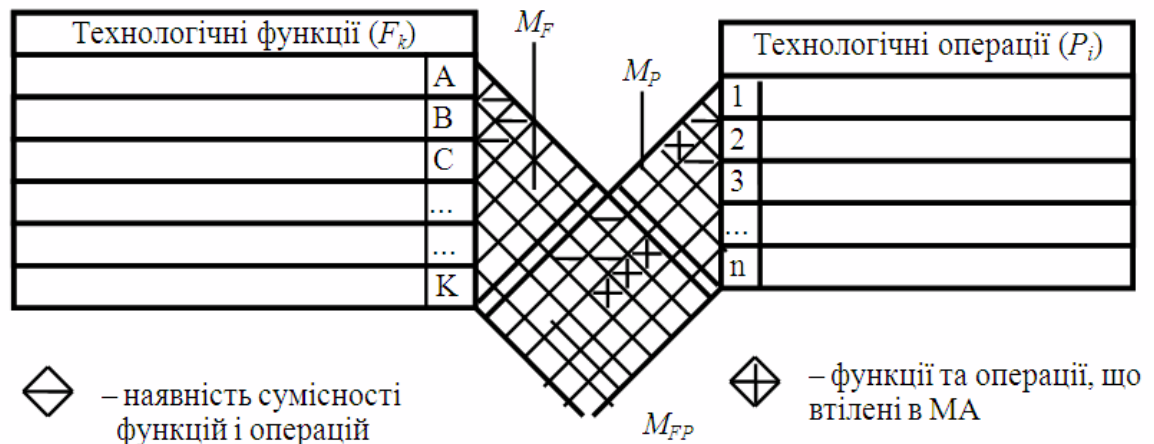


Рис. 1. Схема побудови матриці взаємозв'язків технологічних функцій і операцій: M_F – підматриця сумісності функцій; M_P – підматриця сумісності операцій; M_{FP} – підматриця

В елементарній комірці, що знаходиться на взаємному перетині двох окремих елементів матриці, кодується інформація за принципом бінарних змінних “ТАК-НІ”, яким відповідає наявність або відсутність певного умовного знаку. В наведеному прикладі закодовано інформацію про сумісність або несумісність елементів (горизонтальна лінія) і вибрано варіант реалізації функцій в операції (вертикальна лінія).

Матриця взаємозв'язків “функції – операції” дає необхідну інформацію для формування варіантів втілення операцій. Прийнявши умовне позначення операції у вигляді $[P_i:F_j]$, де P_i - i -та проста операція; F_j - j -та технологічна функція, вибрані варіанти операцій для наведеного прикладу можна записати у вигляді: $[1:AC]$; $[2:B]$ і $[3:BC]$. Оскільки 1 і 3 операції є агротехнічно і технічно сумісними, то машинний агрегат може бути комплексним $[1,3:ABC]$.

Задача вибору раціональних МА є багатоваріантною, а число альтернатив обмежується наявними у господарстві технічними засобами, характеристиками полів, агротехнічними і екологічними вимогами, сумісністю

з надсистемою. Обмеження дозволяють зменшити число альтернатив, що полегшує наступний вибір раціонального складу МА.

У більшості випадків задача вибору технічних засобів зводиться до двокритеріальної, а саме: забезпечити необхідну корисність при мінімально можливих експлуатаційних витратах. Шкідливі наслідки операцій враховуються гранично допустимими їх значеннями, тобто задаються як обмеження. На весняних операціях, сівбі та інших, для яких важливе значення має тиск ходових систем агрегатів на ґрунт, цей показник може бути включений до складу критеріїв.

Темп робіт забезпечується відповідним набором технічних засобів і раціональною організацією виробничого процесу. При цьому потрібно виконати умову

$$\sum_j W_{3Mj} n_j \geq W_{3M}^T, \quad (8)$$

де W_{3M}^T – необхідний змінний темп робіт, га;

W_{3Mj} – змінний виробіток j -го агрегату, га;

n_j – кількість агрегатів j -го складу.

За багатокритеріальною оцінкою може бути вибраний один або декілька агрегатів, що відрізняються між собою параметрами і показниками роботи. Наступним кроком проектування операції є обґрунтування потрібної кількості агрегатів для своєчасного виконання робіт. Якщо в господарстві є можливість сформувати певну кількість однакових за продуктивністю агрегатів, то з умови (8) їх число визначається як

$$n = \frac{W_{3M}^T}{W_{3M.H}}, \quad (9)$$

де $W_{3M.H}$ – змінний нормативний виробіток агрегату, га.

Значення n заокруглюється до цілого числа з таким розрахунком, щоб коефіцієнт своєчасності виконання робіт (2) дорівнював або був близьким до 1 ($K_{св} \rightarrow 1$).

При використанні МА з різними експлуатаційними властивостями потрібно розподілити обсяг робіт між агрегатами. Його проводять після ранжування ВМА агрегатів за відстанню до цілі. Тоді за формулою (8) визначають потребу в агрегатах, що займають першу позицію в ранжирному ряді (найкращий варіант). Якщо фактичне число таких МА менше від потрібного ($n_{1ф} < n_1$), то визначають обсяг робіт, який буде виконаний наявними агрегатами:

$$\Omega_1 = n_{1\text{тм}} W_1 T_{3М} k_{3М} D_p. \quad (9)$$

Далі визначають потребу в агрегатах, які знаходяться на другому місці в ранжирному ряді ВМА:

$$n_2 = \frac{\Omega - \Omega_1}{W_2 T_{3М} k_{3М} D_p}. \quad (10)$$

І так до моменту, коли буде забезпечена умова своєчасного виконання всього обсягу робіт, тобто $\Sigma \Omega_j = \Omega$.

Узагальнений показник якості та своєчасності технологічної операції можна визначити за формулою

$$k_{я} = k_{св} \cdot \sum_i^n \lambda_i p_i; \quad i = 1 \dots n; \quad \sum_i \lambda_i = 1, \quad (11)$$

де $k_{св}$ – коефіцієнт своєчасності робіт;

λ_i – вагомість i -го нормативного показника якості;

p_i – імовірність дотримання нормативних значень i -го показника якості.

Вагомість показників якості залежить від зональних умов, особливостей сортової агротехніки та багатьох інших чинників. Коефіцієнти вагомості встановлюються на основі спостережень або експертними методами. Орієнтовні значення λ_i наводяться у спеціальній літературі.

При проектуванні операції функції технологічного забезпечення виконуються в межах ширшої системи (процесу). Тому етапи 7 і 8 проектування тут відсутні.

Проектування інформаційного забезпечення операції включає розробку експлуатаційного та технологічного регламентів.

Експлуатаційний регламент на використання МА включає встановлення робочої передачі та швидкості руху, ступеня використання тягово-швидкісних можливостей трактора, операцій щоденного та післязмінного ТО трактора і с.-г. машин.

Технологічний регламент задає правила забезпечення агротехнічних та екологічних вимог у процесі виконання операції. Він включає: підготовку агрегату до роботи (під'єднання с.-г. машин до трактора, технологічне налагоджування), підготовку поля до проведення операції (відбивка поворотних смуг, провішування першого проходу), організацію роботи МА в загінці (вибір способу руху, встановлення місць заправки с.-г. машин, узгодження взаємодій основного та допоміжного агрегатів, визначення продуктивності МА і погектарної витрати палива), контроль якості операції (засоби, методики), правила техніки безпеки при проведенні операції.

Технологічний і експлуатаційний регламенти є інформаційними складовими технологічної документації, зокрема, операційно-технологічної карти, якою завершується процес проектування операцій (рис. 2).

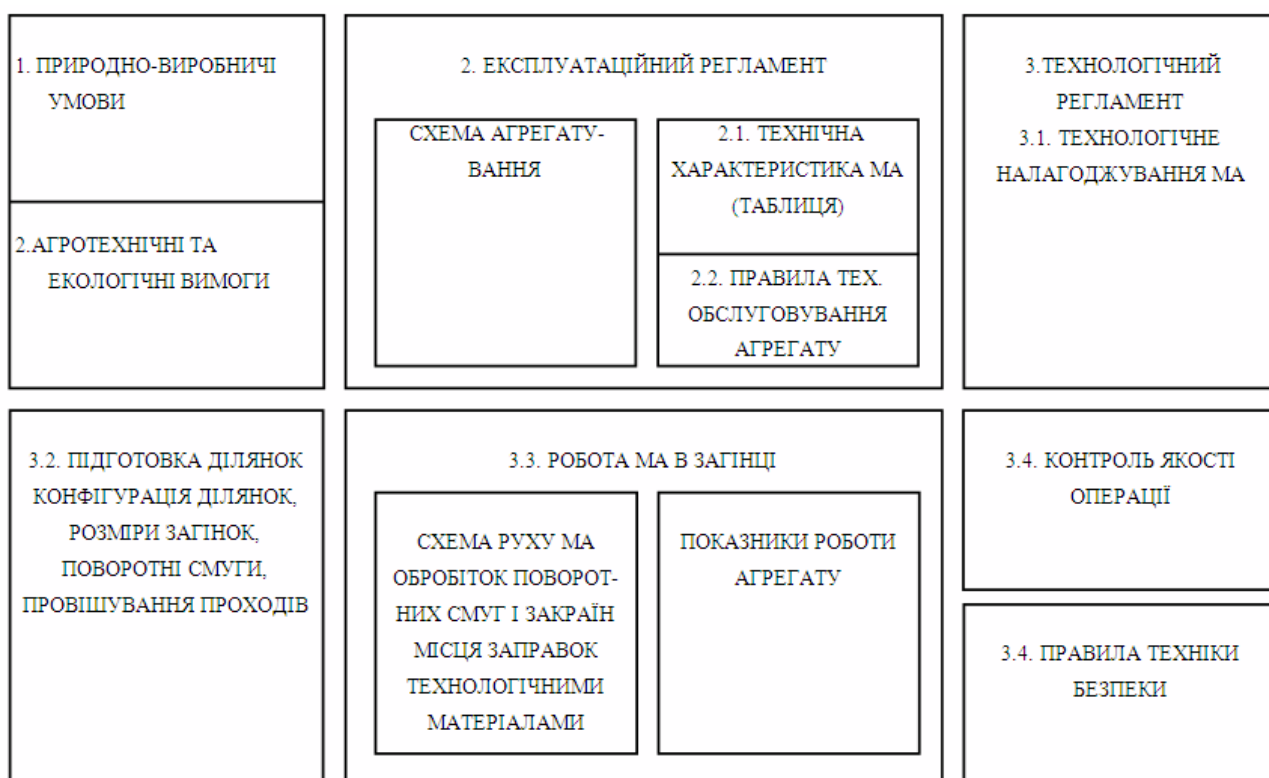


Рис. 2. Схема операційно-технологічної карти

При проектуванні технологічної операції реалізуються всі основні принципи.

Принцип достатньої корисності забезпечується функціональною достатністю, необхідним темпом робіт та їх якістю.

Принцип ресурсощадності забезпечується суміщенням операцій, підвищенням коефіцієнта корисного використання технологічних матеріалів та енергії, вибором відповідних технічних засобів. Оцінка ресурсощадності здійснюється за узагальненим показником (3) та його окремими складовими.

Принцип сумісності з надсистемою означає узгодження операції з попередніми і наступними операціями за часовими (послідовність, своєчасність), просторовими (ширина міжрядь, ширина захвату) і функціональними ознаками.

ТЕМА: ПРИКЛАД ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОПЕРАЦІЇ

У господарстві в рамках основного обробітку ґрунту під вирощування цукрових буряків потрібно виконати функції збереження вологи, знищення бур'янів, загортання поживних рештків, розпушування, ґрунтопоглиблення і вирівнювання поверхні ґрунту. Спроекувати технологічну систему операції оранки, яка забезпечила б своєчасне і якісне виконання робіт з мінімально можливою витратою палива для таких умов:

площа полів $F=200$ га, площі ділянок $F_1=140$ га, $F_2=60$ га, довжини гонів відповідно $L_1=700$ м, $L_2=400$ м, ґрунти – середнього класу (питомий опір плуга $k_{пл}=50$ кПа). Роботи потрібно завершити за $D=6$ робочих днів при коефіцієнті змінності $k_{зм}=2$. Коефіцієнт сприятливих для оранки погодних умов в даному календарному періоді становить $k_n=0,95$.

Згідно з умовою задачі критеріями вибору раціональних МА є денний темп робіт W^0 (формула 1.4) і витрата палива G_n на весь обсяг робіт, тобто

$$(W^0 = \Omega/D_p = \Omega/Dk_n) \geq (T_{зм}k_{зм}\Sigma W_j n_j = 14\Sigma W_j n_j) \text{ і } G_n \rightarrow \min.$$

Якість робіт є однаково обов'язковою для всіх альтернатив, а тому при проектуванні операцій може виступати як обмеження. Синтез операції проводимо в рамках ширшої системи, тобто основного обробітку ґрунту під цукрові буряки, використовуючи матрицю зв'язків “функції – операції” (див. рис. 2 Л2).

Під задані в умові задачі технологічні функції складаємо перелік простих операцій стосовно системи покращеного обробітку ґрунту: лушіння дискове і лемішне, оранка, щільювання, боронування і коткування. На встановлених функціях і операціях будуємо матрицю взаємозв'язків та кодуємо відповідні комірки на їх сумісність і можливість втілення в агрегаті (рис. 1).

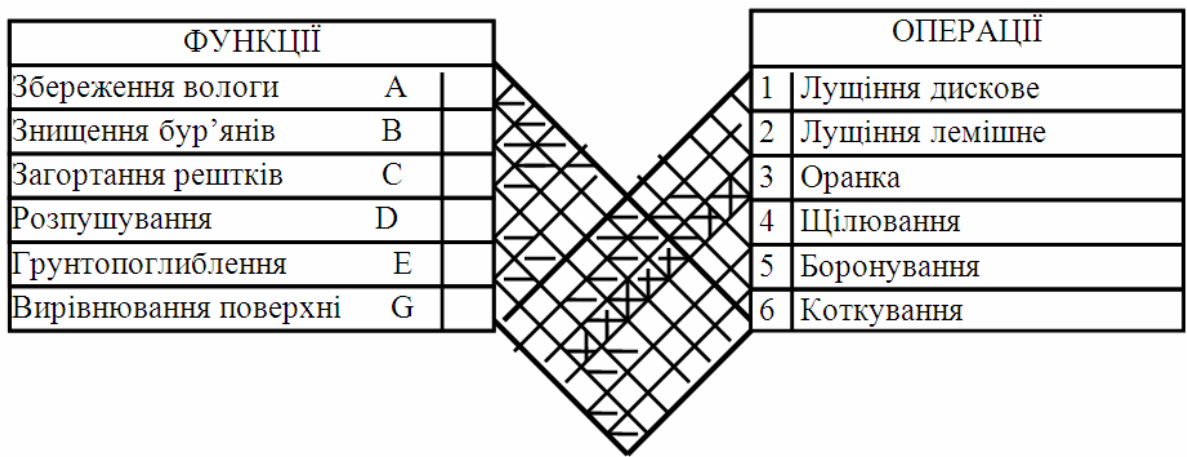


Рис. 1. Матриця зв'язків “функції – операції” для обробки ґрунту під цукрові буряки. Прийнятий варіант: оранка з ґрунтопоглиблювачами і боронування [3,5:A,B,C,D,E].

Аналіз матриці взаємозв'язків дозволяє сумістити лемішне лушіння з коткуванням кільчасто-шпоровими котками (для сухого літа і осені), а оранку – з ґрунтопоглибленням і боронуванням. Таким чином, необхідні технологічні функції можуть бути виконані трьома операціями. Надалі згідно з умовами задачі проводимо розрахунки операції оранки з ґрунтопоглиблювачами і боронуванням. Склад МТА вибираємо з наявної в господарстві техніки за двома критеріями (змінний виробіток W_j та витрата палива G_n) із застосуванням методу відстані до цілі.

Оскільки в довідковій літературі для такого складу агрегату відсутні дані про питомий опір, продуктивність і витрату палива, то потрібно провести відповідні розрахунки.

Опір комплексного агрегату розраховуємо за формулою

$$R_a = k_{nl} B_{pn} h + R_z n_z + k_b B_{pб} , \quad (1)$$

де R_a , R_z – опір агрегату та лапи ґрунтопоглиблювача, кН;

k_{nl} , k_b – відповідно питомий опір плуга і борін ($k_{nl} = 50 \text{ кПа}$, $k_b = 0,4 \text{ кН/м}$);

B_{pn} , $B_{pб}$ – ширина захвату плуга і борін, м;

h – глибина оранки, м;

n_z – число ґрунтопоглиблювальних лап.

При встановленні ґрунтопоглиблювальних лап на 12–15 см глибше від оранки опір однієї лапи становить $R_z \cong 1$ кН. Тоді опір агрегату К-701+ПТК-9-35+3БЗСС-1 становитиме

$$R_{a1} = 50 \cdot 3,15 \cdot 0,25 + 1 \cdot 9 + 0,4 \cdot 3 = 49,575 \text{ кН.}$$

У діапазоні робочих швидкостей $v_p = 8–12$ км/год такий опір дозволяє працювати на 2-й передачі III-го режиму і на 2-й передачі II-го режиму трактора К-701. Номінальне тягове зусилля P_n та робоча швидкість v_p при роботі агрегату на стерні відповідно становлять:

на 3-й передачі II-го режиму – $P_{n1} = 55,2$ кН, $v_{p1} = 9,3$ км/год;

на 2-й передачі III-го режиму – $P_{n2} = 60,0$ кН, $v_{p2} = 8,5$ км/год.

Тоді ступінь використання тягового зусилля при оранці на цих передачах дорівнює: $\xi_1 = R_{a1}/P_{n1} = 49,6/55,2 = 0,90$;

$$\xi_2 = R_{a2}/P_{n2} = 49,6/60,0 = 0,83.$$

Ступінь нерівномірності тягового опору при оранці є значним ($\delta_R = 0,12–0,25$), тому рекомендоване значення показника використання тягового зусилля $\xi = 0,85$. Отже, приймаємо 2-гу передачу III-го режиму, на якій з урахуванням буксування робоча швидкість $v_p = 8$ км/год.

Змінний виробіток МТА визначаємо за формулою

$$W_{zm} = 0,1 \cdot B_p \cdot v_p \cdot T_{zm} \cdot \tau, \quad (2)$$

де B_p – робоча ширина захвату, м;

v_p – робоча швидкість руху МТА, км/год;

T_{zm} – нормативна тривалість зміни, год;

τ – коефіцієнт використання часу зміни.

Усереднені значення коефіцієнта τ для певних еталонних умов наводяться в спеціальній літературі. При роботі агрегату К-701+ПТК-9-35+3БЗСС-1 на полях з $L_z = 700$ м значення τ становить приблизно 0,7 ($\tau = 0,7$). Тоді

$$W_{zm} = 0,1 \cdot 3,1 \cdot 8,0 \cdot 7 \cdot 0,7 = 12,0 \text{ га.}$$

Витрату палива q_n (л/га) визначають з урахуванням типової структури робочого часу зміни:

$$q_n = G_{нзм} / W_{зм} = 1 / W_{зм} (G_{np} T_p + G_{nx} T_x + G_{nz} T_z), \quad (3)$$

де $G_{нзм}$ – витрата палива за зміну, л;

G_{np} , G_{nx} , G_{nz} – значення годинної витрати палива відповідно на робочому ході, холостих поворотах і переїздах, при зупинці агрегату з працюючим двигуном, л/год;

T_p , T_x , T_z – час робочих ходів, поворотів і холостих переїздів, зупинок агрегату протягом нормативної зміни, год.

Проектна структура робочого часу та усереднені значення витрати палива приймаються згідно з “Типовими нормами на основний обробіток ґрунту”. Зокрема, для агрегату К-701+ПТК-9-35+ЗБЗСС-1 $G_{np} = 41 \text{ кг/год} = 50 \text{ л/год}$, $G_{nx} = 27,5 \text{ л/год}$, $G_{nz} = 5 \text{ л/год}$. Час простоїв з працюючим двигуном $T_z = 0,6 \text{ год}$, коефіцієнт поворотів

$$r_{нов} = v_p \cdot t_{нов} / 3,6 \cdot L_z = 8,7 \cdot 50 / 3,6 \cdot 550 = 0,22;$$

коефіцієнт переїздів з ділянки на ділянку

$$r_{неп} = (t_{xn} + L_{неп} / v_{мп}) \cdot W_z / F_{nc} = (0,07 + 1 / 8,5) \cdot 13,2 / 7 \cdot 100 = 0,002.$$

У цих формулах: $t_{нов}$, t_{xn} – час одного повороту та підготовки до переїзду; W_z – годинна продуктивність МТА;

L_z , F_{nc} – середня довжина гону та площа ділянки.

Тоді загальний коефіцієнт поворотів і простоїв $r = 0,222$, а погектарна витрата палива

$$q_n = 1 / 13,2 (50 \cdot 4,9 + 27,5 \cdot 0,222 \cdot 4,9 + 5 \cdot 0,6) = 20,8 \text{ л/га}.$$

Аналогічні розрахунки проводять для інших альтернативних варіантів МТА (табл. 1). Для зручності оцінки МТА за критеріями продуктивності та паливної економічності у ролі останнього прийнята площа, що обробляється з витратою 1л палива ($f_q = 1/q_n$). Це забезпечує покращання обох критеріїв у бік зростання (рис. 2).

Отже, за двокритеріальною оцінкою альтернативних варіантів МТА для оранки з ґрунтопоглибленням і боронуванням кращим є агрегат на базі трактора К-701. Але один такий агрегат при двозмінній роботі не забезпечить необхідного денного темпу робіт ($W^d = \Omega / D k_n = 200 / 6 \cdot 0,95 = 35,1 \text{ га}$).

Дані двокритеріальної оцінки агрегатів

Склад агрегату	$W_{зм}$ га	q л/га	$f_q = 1/q$ га/л	μ	Ранг
1. К-701+ПТК-9-35+3БЗСС-1	12,0	20,8	0,048	-0,04	1
2. Т-150К+ПЛН-5-35-6+2БЗСС-1	6,2	20,2	0,049	-0,27	2
3. Т-150+ПЛН-5-35-6+2БЗСС-1	5,8	19,5	0,051	-0,27	2
4. Т-150К+ПЛН-4-35-6+2БЗСС-1	5,1	20,6	0,048	-0,33	4
5. Т-150+ПЛН-4-35-6+2БЗСС-1	4,8	19,3	0,052	-0,30	3
6. ДТ-75М+ПЛН-4-35-6+2БЗСС-1	3,2	20,6	0,048	-0,40	5
7. МТЗ-100+ПЛН-3-35-6+БЗСС-1	2,7	21,6	0,046	-0,45	6
Ідеалізований варіант	12,0	19,3	0,052		

На другому місці в ранжирному ряді йдуть Т-150К+ПЛН-5-35-6+2БЗСС-1 та Т-150+ПЛН-5-35-6+2БЗСС-1. Кожен з цих агрегатів сумісно з агрегатом К-701+ПТК-9-35+3БЗСС-1 забезпечує достатній темп робіт, тому постає задача вибору одного з них. У даних умовах ОПР може віддати перевагу агрегатові на базі трактора Т-150, як більш економічному. Їх денний виробіток становитиме:

$$W^0 = \sum W_{змj} \cdot k_{зм} = 12 \cdot 2 + 5,8 \cdot 2 = 35,6 > 35,1.$$

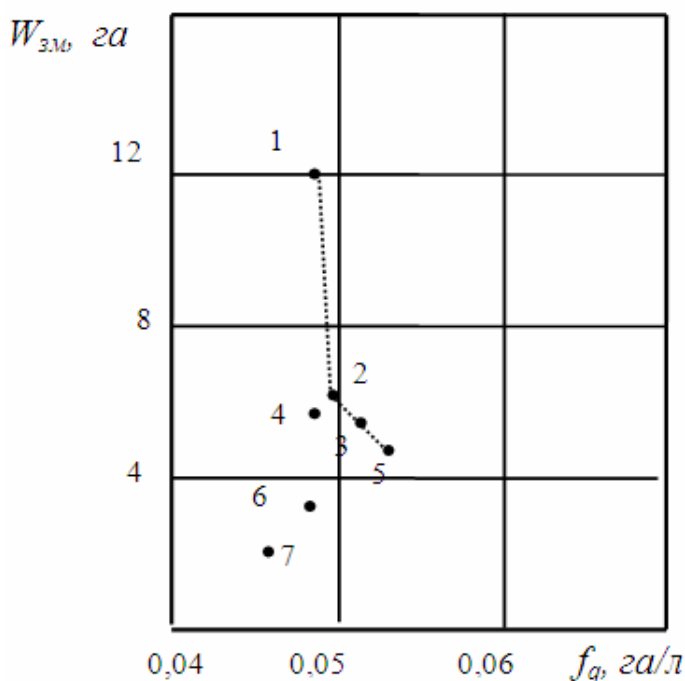


Рис. 4. Поле двокритеріальної оцінки МТА. Нумерація альтернатив згідно з табл.3. $\{1,2,3,5\}$ – множина Парето.

За встановлений термін ($D=6\text{днів}$) при двозмінній роботі агрегат К-701+ПТК-9-35+3БЗСС-1 може обробити 144га, а агрегат Т-150+ПЛН-5-35-6+2БЗСС-1 – 69,6га. Тому за першим доцільно закріпити більше поле ($F=140\text{га}$, $L_2=700\text{м}$), а за другим – менше ($F=60\text{га}$, $L_2=400\text{м}$). Це дозволить працювати без переїздів і краще організувати роботу агрегатів на ділянці.

Виходячи з умови зменшення числа звальних гребенів і борозен, доцільно вибрати оранку всклад і врозгін з чергуванням загінок. При цьому непарні загінки обробляють зліва направо всклад, парні – справа наліво врозгін.

Для підвищення коефіцієнта робочих ходів оптимальну ширину загінки визначають за спрощеною формулою:

$$C_{opt} = 1,41 \cdot B_p \sqrt{1110 + 2L/B}. \quad (4)$$

Згідно з розрахунками отримуємо ширину загінки:

для агрегату К-701+ПТК-9-35+3БЗСС-1 $C_{opt1}=172,7 \text{ м}$, а з умови кратності подвоєній ширині захвату – $C_1=28 \cdot 2 \cdot 3,1=173,6 \text{ м}$; для Т-150+ПЛН-5-35-6+2БЗСС-1 – $C_{opt2}=C_2=95,2 \text{ м}$.

Ширина поворотних смуг (E) встановлюється виходячи з радіуса повороту агрегату і умови їх обробітку парним числом проходів. Для агрегату К-701+ПТК-9-35+3БЗСС-1 $E_1=24,8 \text{ м}$; для Т-150+ПЛН-5-35-6+2БЗСС-1 – $E_2=20,4 \text{ м}$.

В інформаційному забезпеченні операції встановлюються правила налагоджування агрегату, підготовки ділянок (розмітка загінок і поворотних смуг, перших проходів на загінці), методи та засоби контролю якості, правила техніки безпеки. Ця інформація наведена в спеціальній і довідковій літературі.

Отже, проектування механізованих операцій спрямоване на ефективне і безпечне виконання заданого обсягу робіт в конкретних природно-виробничих умовах. Оскільки в господарствах є, як правило, велика кількість технологічних операцій, то проектні задачі доцільно розв'язувати з використанням АРМ або формувати банки типових операцій для типових умов.

ТЕМА: ПРОЕКТУВАННЯ МЕХАНІЗОВАНИХ ПРОЦЕСІВ

ПЛАН ЗАНЯТТЯ

- 1. Загальне формулювання задачі.**
- 2. Методика проектування механізованих процесів.**
- 3. Приклад розрахунку механізованого процесу.**

1. Загальне формулювання задачі. Одиничний механізований процес – це сукупність основної та допоміжних операцій, які забезпечують перетворення предметів праці згідно з технологічним регламентом. Технологічна система процесу (ТхСП) має чітко виражену структуру. Основна технологічна операція (підсистема СВ) спрямована на виконання функцій, які безпосередньо змінюють властивості предметів праці. Операції технологічного забезпечення (підсистема СЗ) виконують функції підготовки технологічних матеріалів (змішування добрив чи пестицидів, протруювання насіння, транспортування матеріалів, завантаження і розвантаження основних агрегатів тощо). Функції технічного обслуговування (СО) спрямовані на забезпечення роботоздатності всіх технічних засобів, що беруть участь у процесі (технологічне налагоджування, заправляння паливом, технічне обслуговування, поточкові ремонти). Отже, в механізованому процесі має місце проектування окремих операцій за методикою, що викладена в попередньому підрозділі. В даному підрозділі розглянемо характерні задачі проектування процесів, що стосуються вибору раціональної схеми процесу, узгодження параметрів і взаємодій окремих його складових.

У загальній постановці задачу сформулюємо так:

* обґрунтувати структурну схему механізованого процесу, узгодити параметри і взаємодії технічних засобів основної підсистеми та підсистеми технологічного забезпечення.

2. Методика проектування механізованих процесів. Цілі, вихідні дані та умови проектування механізованих процесів встановлюються так само, як і при проектуванні операцій. Специфічною процедурою проектування механізованих процесів є обґрунтування структурно-функціональної схеми процесу (її називають також технологічною схемою). Розрізняють прямоточну, переважувальну та перевалочну схеми процесу.

Область ефективного застосування тієї чи іншої схеми можна встановити на підставі функціонально-вартісного аналізу, зокрема, порівнянням корисності та вартості робіт.

Корисність механізованого процесу зумовлена корисністю основної операції. Допоміжні операції можуть суттєво підвищувати корисність основної (наприклад, продуктивність), але потребують додаткових затрат ресурсів і, відповідно, коштів. Завдання полягає в тому, щоб оцінити внесок допоміжних операцій в корисність процесу, а також плату за цю корисність.

Перевагами прямоочної схеми є менша у порівнянні з іншими потреба в технічних засобах технологічного забезпечення робіт. Проте продуктивність основних агрегатів, які в даній схемі виконують також функцію транспортування від складу до поля, істотно знижується. Область доцільності прямоочної схеми можна встановити, виходячи з мінімально допустимого значення коефіцієнта використання часу зміни $[\tau_{зм}]_{min}$ основним агрегатом. Його значення зумовлене вимогами своєчасності робіт і економічними міркуваннями (окупністю додаткових витрат коштів). На величину $\tau_{зм}$ основного агрегату при прямоочної схемі впливає, насамперед, відстань переїздів від поля до складу технологічних матеріалів. Для розподільчих процесів гранична відстань переїздів $[l_{mp}]_{max}$, при якій $\tau_{зм} \geq [\tau_{зм}]_{min}$, становить:

$$l_{mp} \leq \left[\left(\frac{1 - \delta_{нц}}{[\tau_{зм}]_{min}} - \frac{l_{хп}}{L_2} - 1 \right) \frac{G}{W_0} - t_{нп} - \frac{G}{W_H} \right] \frac{v_{mp}}{2}, \quad (1)$$

де $\delta_{нц}$ – частка позациклового часу в загальній тривалості зміни;

$l_{хп}$, L_2 – відповідно, довжина повороту і гону;

G – вантажопідйомність основного агрегату;

W_o – продуктивність агрегату за годину основного часу на виконанні основної операції;

W_n – продуктивність навантажувальних засобів;

t_{nn} – час підготовки до навантаження;

v_{mp} – середня за рейс транспортна швидкість.

Отже, якщо відстань транспортування технологічних матеріалів перевищує встановлене за формулою (20) граничне значення ($l_{\text{трф}} > [l_{\text{тр}}]_{\text{max}}$), то приймається перевантажувальна схема розподільчого процесу. У випадках, коли $l_{\text{трф}} \leq [l_{\text{тр}}]_{\text{max}}$ – прямоточна.

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

$$n_1 W_1 = n_2 W_2 = \dots = n_m W_m, \quad (2)$$

де n_1, n_2, \dots, n_m – число технічних засобів окремих ланок процесу;

W_1, W_2, \dots, W_m – продуктивність технічних засобів.

Якщо встановити допустимі значення простоїв агрегатів окремих ланок процесу k_{np} , то число транспортних засобів для обслуговування основних агрегатів з урахуванням умови (21) можна визначити за формулою

$$n_{mp} = n_o W_o (1 - k_{npo}) / W_{mp} (1 - k_{npm}). \quad (3)$$

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

Перевалочна схема має дві фази процесу. Перша – вивезення технологічних матеріалів з центрального складу на польовий або вивантаження їх у контейнер-накопичувач (при збиральних процесах). Друга – внесення технологічних матеріалів або транспортування врожаю на центральний склад. Перевагами такої організації робіт є відсутність жорсткого часового зв'язку між обома фазами процесу, що дозволяє зменшити число допоміжних агрегатів, краще пристосовуватись до виробничих умов.

Ритмічність механізованих процесів зумовлена також надійністю технічних засобів. При послідовному з'єднанні машин (рис. 1, а) надійність

визначається як добуток імовірностей безвідмовної роботи кожної машини технологічної лінії:

$$P_{л} = \prod_{i=1}^n q_i, \quad i=1, \dots, n, \quad (4)$$

де $P_{л}$ – імовірність безвідмовної роботи лінії;

q_i – імовірність безвідмовної роботи i -тої машини технологічної лінії, яку числово можна прийняти рівною значенню коефіцієнта готовності машини.

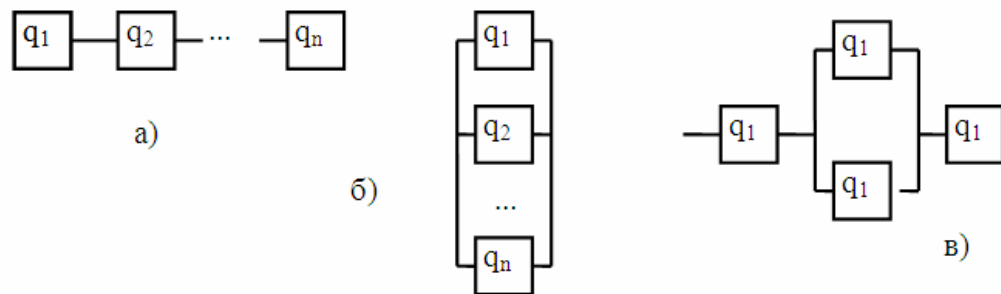


Рис. 1. Схеми взаємодії технічних засобів у механізованому процесі:

а – послідовна; б – паралельна; в – змішана

Коефіцієнт готовності k_z окремої машини чи технологічної системи в цілому визначається за формулою

$$k_z = T_p / (T_p + T_v), \quad (5)$$

де T_p і T_v – відповідно час, протягом якого технічний засіб чи ТхС перебувають у роботоздатному стані та тривалість відновлення роботоздатного стану.

При паралельній роботі машин (див. рис. 1, б) імовірність того, що хоча б одна з них буде в роботоздатному стані (P_n), визначається за формулою

$$P_n = 1 - \prod_{i=1}^n p_i, \quad (6)$$

де p_i – імовірність відмови i -тої машини ($p_i = 1 - q_i$).

Для змішаного поєднання технічних засобів (рис. 1, в) надійність процесу розраховується за формулою

$$P_z = P_{л} P_n. \quad (7)$$

Підвищити надійність технологічної системи можна резервуванням окремих машин або їх елементів, а особливо тих, що мають низькі значення коефіцієнтів готовності.

Надійність ТхС може також знижуватися через організаційну неузгодженість взаємодій персоналу і технічних засобів, метеорологічні умови тощо. Загальний показник організаційно-технологічної надійності процесу $k_{отн}$ визначається як

$$k_{отн} = k_z k_{орг}, \quad (8)$$

де $k_{орг}$ – коефіцієнт організаційної надійності, який визначається як коефіцієнт використання часу зміни з урахуванням простоїв з організаційних причин.

Загальний коефіцієнт використання календарного часу k_D враховує організаційно-технологічну надійність і можливість несприятливих погодних умов:

$$k_D = k_{отн} k_m, \quad (9)$$

де k_m – відношення числа несприятливих днів до загального числа днів в агротехнічному періоді виконання процесу.

3. Приклад розрахунку механізованого процесу. У господарстві на площі 200 га потрібно внести мінеральні добрива з нормою витрати $H=0,2$ т/га. Поле площею $F_1=130$ га розташоване на відстані $l_{mp1}=6$ км від складу мінеральних добрив, а поле з $F_2=70$ га – на відстані $l_{mp2}=3$ км. Середня довжина гону полів $L_2=500$ м. У господарстві є машина для внесення добрив МВУ-5, подрібнювач добрив АИР-20, трактор ЮМЗ-6АКМ, автомобіль ГАЗ-САЗ-4509 вантажопідйомністю $G_a=4$ т. Коефіцієнти готовності агрегатів: для внесення добрив $k_1=0,95$, транспортування – $k_2=0,98$, подрібнення – $k_3=0,97$. Вибрати раціональну схему й оцінити надійність механізованого процесу.

Внесення добрив у таких умовах може здійснюватися за перевантажувальною або прямоочною схемами. Визначаємо граничний радіус переїздів агрегату ЮМЗ-6АКМ+МВУ-5 для прямоочної схеми, виходячи з умов своєчасності та економічної доцільності, які забезпечуються при

мінімально допустимому значенні коефіцієнта використання часу зміни $[\tau]_{\min}=0,65$. Гранична відстань переїздів для прямої схеми становить:

$$l_{mp} \leq \left[\left(\frac{1 - \delta_{nc}}{[\tau_{zm}]_{\min}} - \frac{l_{xn}}{L_z} - 1 \right) \frac{G}{W_0} - t_{nn} - \frac{G}{W_H} \right] \frac{v_{mp}}{2} =$$

$$= \left[\left(\frac{1 - 0,12}{0,65} - \frac{28}{500} - 1 \right) \frac{5}{10 \cdot 0,2} - 0,03 - \frac{5}{20} \right] \cdot \frac{20}{2} = 4,55 \text{ км.}$$

У розрахунках прийняті такі значення змінних:

частка позациклового часу в тривалості зміни (комплектування МТА, щоденне ТО тощо) становить $\delta_{nc}=0,12$; продуктивність за годину основного часу $W_0=0,1B_p v_p=10 \text{ га/год}$; середня транспортна швидкість агрегату (з вантажем і без вантажу) $v_{mp}=20 \text{ км/год}$. Інші дані прийняті з технічних характеристик агрегатів.

Таким чином, для обробки другого поля ($F_2=70 \text{ га}$, $l_{mp2}=3 \text{ км}$) прямої схема є доцільною ($l_{tr2} < l_{tr}$), тоді як для внесення добрив на першому полі доцільною буде перевантажувальна схема.

Проводимо узгодження технічних засобів процесу внесення мінеральних добрив за продуктивністю.

У прямої схемі будуть лінійно взаємодіяти (див. рис. 1, а) агрегати ЮМЗ-6Л+МВУ-5 і АИР-20. Останній виконує операції подрібнення та завантаження добрив.

При перевантажувальній схемі будуть взаємодіяти агрегати ЮМЗ-6Л+МВУ-5, ГАЗ-САЗ-4509 і АИР-20.

Приведемо продуктивність агрегатів до однієї розмірності, а саме – т/год. Агрегат для внесення добрив ЮМЗ-6Л+МВУ-5 має продуктивність за годину змінного часу за обробленою площею:

$$W_{zm1} = 0,1B_p v_p \tau_{zm} = 0,1 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 0,7 = 7,0 \text{ га/год},$$

за витратою добрив

$$W_{zm1}^m = W_{zm1} \cdot H = 7,0 \cdot 0,2 = 1,4 \text{ т/год}.$$

Продуктивність агрегату АИР-20 за годину змінного часу при подрібнення та завантаженні становить $W_{zm2} = 20 \text{ т/год}$.

Отже, неперервність основної операції (внесення добрив) при прямоточній схемі забезпечується, але АИР-20 буде працювати з простоями.

При перевантажувальній схемі потрібно додатково врахувати продуктивність транспортного засобу і уточнити продуктивність основного МТА з урахуванням підвищення коефіцієнта $\tau_{зм}$:

$$W'_{зм1} = 0,1B_p v_p \tau_{зм} = 0,1 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 0,85 = 8,5 \text{ га/год},$$

$$W^m_{зм1} = W_{зм1} \cdot H = 8,5 \cdot 0,2 = 1,7 \text{ м/год}.$$

Тривалість транспортного рейсу становить

$$t_{mp} = t_{nn} + t_n + t_n = t_{nn} + G/W_n + 2l_{mp}/v_{mp} = 0,03 + 5/20 + 2 \cdot 6/25 = 0,76 \text{ год}.$$

За умови завантаження основного МТА одним автомобілем ($G_a = 4 \text{ т}$) тривалість спорожнення кузова становитиме

$$t_{on} = G/W^m_{зм1} = 4/1,7 = 2,35 \text{ год},$$

тобто один автомобіль забезпечуватиме неперервну роботу основного МТА, але працюватиме з простоями.

Неузгодженість за продуктивністю окремих ланок механізованого процесу пов'язана з параметрами наявних технічних засобів, але важливо, що вони забезпечують неперервність основної операції. Проте в процесі роботи можливі зупинки внаслідок технічних неполадок і поломок. Надійність технологічної лінії оцінюємо за формулою (4). Для прямоточної схеми ймовірність безвідмовної роботи становить:

$$P_n = \prod_{i=1}^n q_i = \prod_{i=1}^n k_{,i} = 0,95 \cdot 0,97 = 0,92;$$

для перевантажувальної

$$P_n = \prod_{i=1}^n k_{,i} = 0,95 \cdot 0,97 \cdot 0,98 = 0,90.$$

За результатами проектування механізованих процесів приймаються рішення щодо раціональної для даних умов схеми процесу, розробляються графіки взаємодії агрегатів, що дозволяє підвищити рівень організації робіт, знизити затрати часу і ресурсів.

ТЕМА: ВИБІР РЕСУРСООЩАДНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

ПЛАН ЗАНЯТТЯ

1. Загальне формулювання задачі.
2. Математична модель і методика розв'язку задачі.
3. Приклад розв'язку задачі.

1. Загальне формулювання задачі. При вирощуванні сільськогосподарських культур використовуються різні види ресурсів: природні (земля, вода, сонячна радіація), технічні (трактори, с.-г. машини і обладнання), енергетичні (паливо, електроенергія, тепло), технологічні матеріали (насіння, добрива, пестициди), трудові та фінансові ресурси.

Ефективне використання непоновлюваних ресурсів має два аспекти: економічний і екологічний. У першому випадку затрати ресурсів оцінюють у грошових еквівалентах, у другому – в енергетичних. Хоча для виробників с.-г. продукції грошовий вираз затрат є найбільш звичним, проте нестабільність цін, кон'юнктурні чинники при розв'язанні задач перспективного розвитку можуть призвести до помилкових орієнтирів. З іншого боку, енергоємність ресурсів корелює з їх вартістю, тобто економія найбільш енергоємних ресурсів повинна забезпечувати як екологічний, так і економічний ефект.

Задачу в загальному вигляді можна сформулювати так:

* обґрунтувати ресурсоощадні технологічні процеси та відповідні технічні засоби для вирощування і збирання сільськогосподарської культури за критерієм мінімуму сукупних витрат енергії.

2. Математична модель і методика розв'язку задачі. Витрати сукупної енергії на i -ту технологічну операцію з j -тим машинним агрегатом (МА) дорівнюють:

$$E_{ij} = e_{nj} + \sum_m e_m + \frac{e_{lij} + e_{Aij}}{Wr_{ij}}, \quad (1)$$

де E_{ij} – витрати сукупної непоновлюваної енергії, Дж/га;

e_{nj}, e_m – енергетичні еквіваленти відповідно погектарної витрати палива j -тим агрегатом та витрати технологічних матеріалів m -го типу, Дж/га;

e_{lij} – енергетичний еквівалент праці людей, Дж/год;

e_{Aij} – енергоємність МА за годину роботи, Дж/год;

Wr_{ij} – продуктивність МА за годину змінного часу, га/год.

Витрати матеріальних ресурсів (палива, технологічних матеріалів) в енергетичних одиницях визначаються як

$$e_k = \alpha_k M_k, \quad (2)$$

де e_k – кількість сукупної енергії, що міститься в k -му матеріальному ресурсі, Дж/га;

α_k – енергетичний еквівалент одиниці k -го ресурсу, розмірність якого залежить від одиниць M_k ; (Дж/кг, Дж/л);

M_k – кількісна характеристика витрати ресурсу (масова, об'ємна), кг/га, л/га.

Затрати праці на i -тій операції з j -тим МА визначаються за формулою

$$e_{lij} = \alpha_o n_o + \alpha_d n_d, \quad (3)$$

де α_o, α_d – коефіцієнти переведення в енергетичні одиниці праці основних і допоміжних працівників, Дж/год;

n_o, n_d – кількість основних і допоміжних працівників.

Енергоємність МА e_{Aij} (Дж/год) у спрощеному вигляді виражається залежністю

$$e_{Aij} = \alpha_{Tj} M_T + \sum_i \alpha_{Mi} M_{Mi}, \quad (4)$$

де α_{Tj}, α_{Mi} – енергетичні еквіваленти одиниці маси трактора, с.-г. машини і обладнання (зчіпки, маркери), Дж/кг год;

M_{mj}, M_{mi} – маса j -го трактора та i -тої с.-г. машини, що входять до складу агрегату, кг.

Знак суми у формулі (4) означає, що до складу МА можуть входити різнотипні с.-г. машини (комбіновані та комплексні МА).

Корисні результати технології виражаються врожаєм основної та побічної продукції, яка також має відповідні енергетичні еквіваленти:

$$E_u = \alpha_{on} U_{on} + \alpha_{nn} U_{nn}, \quad (5)$$

де α_{on}, α_{nn} – енергетичні еквіваленти одиниці основної та побічної продукції, Дж/кг;

U_{on}, U_{nn} – врожайність основної та побічної продукції, кг/га.

Тоді цільовою функцією вибору ресурсощадної технології буде максимум коефіцієнта енергетичної ефективності:

$$K_{ET} = (\alpha_{on} U_{on} + \alpha_{nn} U_{nn}) / \sum_i E_{ij} \rightarrow \max. \quad (6)$$

Умовами раціонального вибору будуть:

досягнення запрограмованого врожаю

$$\alpha_{on} U_{on} + \alpha_{nn} U_{nn} \geq E_{Un}, \quad (7)$$

своєчасне виконання технологічних операцій

$$D_i = \Omega_i / \sum_j W_{ij} \leq D_{onm i}, \quad (8)$$

де E_{Un} – запрограмований урожай в енергетичних одиницях, Дж/га;

$D_i, D_{onm i}$ – фактична і оптимальна тривалість виконання i -тої операції, днів;

Ω_i – обсяг робіт i -тої операції (га, т, ткм);

W_{ij} – денний виробіток j -го МА на i -тій операції.

Таким чином, модель розв'язку задачі передбачає досягнення фіксованого (запрограмованого) врожаю з мінімальними сукупними затратами енергії ($\sum E_{ij} \rightarrow \min$), що забезпечує максимум коефіцієнта енергетичної ефективності технології ($K_{ET} \rightarrow \max$).

Доцільно виділити два етапи аналізу існуючої технології вирощування с.-г. культури з метою зниження витрат ресурсів. На першому етапі встановлюється структура прямих сукупних енерговитрат у цілому по

технології (макропідхід), що дозволяє виявити найбільш ресурсомісткі технологічні процеси. На другому здійснюється детальний аналіз кожної технологічної операції та пошук шляхів зниження витрат ресурсів (мікропідхід).

Структуру ресурсомісткості в енергетичних одиницях (сукупні енерговитрати) і процентному відношенні визначають для основних видів ресурсів, а саме: праця людей, технічні засоби, паливо і електроенергія, органічні та мінеральні добрива, пестициди, насіння.

Детальний аналіз технологічних операцій доцільно проводити з використанням окремих процедур функціонально-вартісного аналізу (ФВА). Так, множину альтернативних варіантів технологічних операцій зручно подавати у вигляді морфологічної матриці (рис. 1, а), а оцінку їх корисності та ресурсомісткості – у вигляді функціонально-вартісних діаграм (рис. 1, б).

а) Схема морфологічної матриці

Операція	Альтернативи			
	1	2	3	4 ...
O_1	O_{11}	O_{12}	O_{13}	
O_2	O_{21}	O_{22}	O_{23}	O_{24}
O_3	O_{31}	O_{32}		
...
O_k	O_{k1}	O_{k2}	O_{k3}	

К

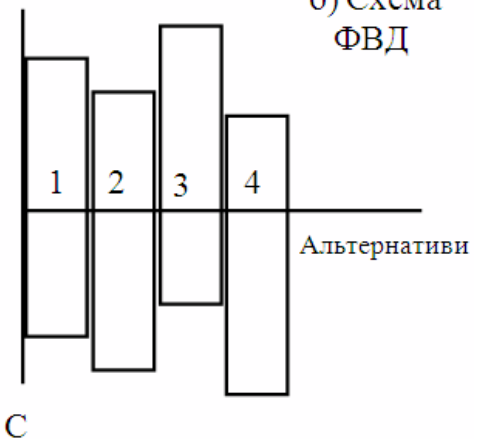


Рис. 1. Схеми побудови морфологічної матриці (а) та функціонально-вартісної діаграми (б). Умовні позначення: O_{ij} – j -тий варіант i -тої операції; K – корисність операції; C – затрати ресурсів

Вибравши раціональний варіант операцій і процесів, проводять їх узгодження в рамках технології (за сумісністю, шириною захвату та іншими параметрами МА, агротехнічними, екологічними та економічними вимогами тощо).

Після узгодження операцій приймається рішення щодо раціонального варіанта ресурсощадної технології в цілому.

3. Приклад розв'язку задачі. Селянська спілка пайовиків (ССП) вирощує цукрові буряки за традиційною технологією. В аграрний інноваційний центр надійшло замовлення від ССП на обґрунтування ресурсощадних технологічних процесів вирощування цукрових буряків і відповідних технічних засобів стосовно природно-виробничих умов господарства.

Вихідні дані: площа $F=100$ га, середня площа ділянок $F_0=50$ га, довжина гонів $L_2=600$ м, рельєф рівнинний; запрограмована урожайність коренеплодів $U_0=350$ ц/га, гички – $U_0=200$ ц/га.

Структура прямих витрат ресурсів при вирощуванні цукрових буряків за традиційною технологією в енергетичних одиницях наведена в табл. 1. Як видно з таблиці, найбільша частка сукупних енерговитрат припадає на мінеральні добрива, паливо, технічні засоби та пестициди. Крім того, цукрові буряки належать до трудомістких с.-г. культур. Отже, економія цих видів ресурсів може дати найвагомійший результат.

Таблиця 1

Структура витрат ресурсів при вирощуванні цукрових буряків за традиційною технологією

Види Ресурсів	Витрата на 1 га		
	фізичних одиниць	енергет. од, ГДж	%
Техніка, кг	88,5	6,7	12,3
Паливо, кг	272,0	14,4	26,3
Орг. добрива, кг	30000,0	5,0	9,1
Міндобрива, кг	510,0	17,5	32,0
Пестициди, кг	24,0	6,4	11,7
Насіння, кг	12,0	9,9	0,4
Затрати праці, год	100,0	4,4	8,0

Повний аналіз технологічної карти досить громіздкий, тому розглянемо лише характерні приклади.

При сівбі цукрових буряків багаторостковим насінням (традиційна технологія) найбільш трудомістким процесом є формування густоти сходів, на який припадає біля половини затрат праці. Різкого зниження затрат праці можна досягти, якщо впровадити сівбу на кінцеву густоту одноростковим дражованим насінням з лабораторною схожістю 90-95% і польовою – більше 60 %. При густоті 8-10 насінин на 1 м рядка проріджування сходів взагалі не провадять.

Значні резерви енергозбереження криються в підвищенні ефективності використання добрив. Так, локальне внесення дозволяє отримати запрограмований урожай цукрових буряків при зниженні витрати добрив у 2 рази.

Стрічкове внесення гербіцидів знижує їх витрату майже в 3 рази.

Зниження витрати палива можна досягти суміщенням технологічних операцій, раціональним комплектуванням МТА, зниженням непродуктивної витрати палива в процесі виконання робіт.

Отже, окреслені основні напрямки реалізації ресурсощадної технології. Далі потрібно розробити технологічну карту, звернувши увагу на аналіз альтернативних варіантів виконання операцій. Механізована технологія вирощування сільськогосподарських культур являє собою систему взаємопов'язаних операцій. Так, впроваджуючи сівбу на кінцеву густоту, ми значною мірою зумовлюємо вибір напівпарового основного обробітку ґрунту, який навесні забезпечує неглибокий розпушений шар ґрунту і створює умови для утворення рівномірного ущільненого ложа на глибині загортання насіння. Вибір способу сівби, як було показано вище, впливає також на наступні операції формування густоти рослин.

Одночасно з упорядкуванням складу і послідовності операцій ресурсощадної технології здійснюється вибір раціональних складів МТА за критеріями: продуктивність W_2 (га/год) і питома енергомісткість e_{An} (Дж/га). Останній показник визначається діленням e_{Aij} (формула 4) на годинну продуктивність W_2 . Порівняння альтернативних МТА зручно проводити з

використанням морфологічної матриці. У комірках матриці записують склад МТА і числові значення критеріїв (табл. 2).

Таблиця 2

Приклад морфологічної матриці технологічних процесів (фрагмент)

Технологічна операція	Альтернативні варіанти МА та їх показники		
	1	2	3
Ранньовесняне боронування	ДТ-75М + СГ-21 + + 21БЗТУ + 36БП-0,6 $W_{11}=9,1$ га/год $e_{A11}=50$ МДж/га	Т-150 + СГ-21 + +21БЗТУ+ 36БП-0,6 $W_{12}=11,9$ га/год $e_{A12}=39$ МДж/га	Т-70С + СП-11 + + 12БЗТУ + 36БП-0,6 $W_{13}= 5,5$ га/год $e_{A13}= 47$ МДж/га
Шлейфування	ДТ-75М + СГ-21 + + 8 ШБ-2,5 $W_{21}=8,2$ га/год $e_{A21}=54$ МДж/га	Т-70С + СП-11 + + 4 ШБ-2,5 $W_{22}= 4,6$ га/год $e_{A22}= 48$ МДж/га	МТЗ-80 + СП-11 + + 4ШБ-2,5 $W_{23}= 5,0$ га/год $e_{A23}= 39$ МДж/га
Внесення мінеральних добрив	МТЗ-80 + МВУ-5 $W_{31}=6,8$ га/год $e_{A31}=32$ МДж/га	Т-70С + СТТ-10 $W_{32}=8,2$ га/год $e_{A32}=29$ МДж/га	Т-70С+УСМК-5,4Б+ +ПОМ-630-1 комплексний обробіток:
Внесення гербіцидів	МТЗ-80 + ОПШ-15 $W_{41}=3,6$ га/год $e_{A41}=125$ МДж/га	Т-70С + ПОМ-630 $W_{42}=3,6$ га/год $e_{A42}=72$ МДж/га	локальне внесення добрив, стрічкове внесення гербіцидів, передпосівна
Передпосівна культивування	ДТ-75М + РВК-3,6 $W_{51}=3,0$ га/год $e_{A51}=97$ МДж/га	Т-70С + УСМК-5,4Б $W_{52}=3,2$ га/год $e_{A52}=62$ МДж/га	культивування $W_{53}=2,6$ га/год $e_{A53}=134$ МДж/га
Сівба із внесенням добрив	Т-70С + ССТ-12А $W_{61}=1,7$ га/год $e_{A61}=135$ МДж/га	Т-70С + ССТ-12В на кінцеву густоту $W_{62}=1,8$ га/год $e_{A62}=127$ МДж/га	–
Проріджування Сходів	МТЗ-80 + УСМП-5,4 $W_{71}=2,6$ га/год $e_{A71}=120$ МДж/га	Вручну $W_{73}=0,02$ га/год $e_{A73}=100$ МДж/га	Не проводиться
Перевірка сходів	Вручну $W_{82}=0,04$ га/г $e_{A82}=90$ МДж/га	Не проводиться	–

Енергомiсткiсть агрегатiв E_A за своєю суттю близька до показника матерiаломiсткостi i не враховує витрат технологiчних матерiалiв. Порiвняння операцiй за показником E_o дає повну iнформацiю про їх ресурсомiсткiсть. Зокрема, сумiщення операцiй внесення мiнеральних добрив, внесення гербiцидiв i передпосiвної культивування порiвняно з роздiльними операцiями забезпечує зниження витрати палива бiльше нiж на 40 %. Ще бiльший ефект досягається при локальному внесеннi добрив i стрiчковому внесеннi гербiцидiв. Цi технологiчні прийоми дозволяють удвiчі знизити витрату добрив i втричі – гербiцидiв при досягненнi того ж урожаю.

Аналіз повних витрат на операцію зручно здійснювати в технологічній карті, виражаючи окремі складові в енергетичних одиницях (табл. 3). Для порівняння в таблиці наведено два варіанти внесення мінеральних добрив і гербіцидів.

Таблиця 3

Приклад детального аналізу витрат ресурсів на технологічні операції

Технологічна операція	Склад МТА	Продуктивність, га/год	Кількість МТА	Прямі витрати на 1га		Енергоємність, ГДж/га				
				палива, кг	праці, год	техніки	палива	техн. матеріалів	праці	Всього
Внесення мінеральних добрив	МТЗ-80 + МВУ-5	6,8	1	2,2	0,15	0,032	0,116	13,056	0,189	13,393
Внесення гербіцидів	Т-70С + ПОМ-630	3,6	1	2,5	0,28	0,072	0,132	2,638	0,353	3,195
Передпосівна культивування	Т-70С + УСМК-5,4Б	3,2	1	4,0	0,31	0,062	0,211	–	0,391	0,363
Всього для 3-х операцій			3	8,7	0,74	0,166	0,459	15,694	0,933	17,252
Передпосівна культивування з локальним внесенням МД і стрічковим внесенням гербіцидів	Т-70С + ПОМ-630-1 + УСМК-5,4Б (з орієнтаторами)	2,6	1	5,1	0,38	0,134	0,269	7,407	0,479	8,289

Перший передбачає суцільне внесення добрив агрегатом

МТЗ-80+МВУ-5 і гербіцидів агрегатом Т-70С+ПОМ-630 з наступною передпосівною культивуванням Т-70С+УСМК-5,4Б. Другий варіант суміщає локальне внесення рідких комплексних добрив на глибину 19-20 см у зону майбутнього рядка, стрічкове внесення гербіцидів у захисну смугу (ширина стрічки 15 см) і передпосівну культивування. Для цього використовують агрегат Т-70С+УСМК-5,4Б+ПОМ-630-1 з нарізанням напрямних щілин. Після цієї операції здійснюється сівба на задану густоту агрегатом Т-70С+ССТ-12В з орієнтаторами, які дозволяють вести агрегат по напрямних щілинах і забезпечують висів насіння в стрічку, що оброблена гербіцидами, і в зону внесення добрив.

Здійснюючи аналіз кожної технологічної операції, встановлюють комплекс машин для ресурсощадної технології.

Порівняння різних варіантів технологій і комплексів машин здійснюють за критерієм K_E (формула 6). Для прийнятої до вдосконалення технології при вирощуванні запрограмованого врожаю коренеплодів $U_o=350$ ц/га і гички $U_D=200$ ц/га він становив:

$$K_{ET} = (2,55 \times 35000 + 1,67 \times 20000) / 53232 = 2,3.$$

Для ресурсощадної технології сукупні витрати енергії ΣE_i знижуються майже на 40 % і складають 31940 МДж. Відповідно коефіцієнт енергетичної ефективності технології становить:

$$K_{ET} = 122650 / 31940 = 3,84.$$

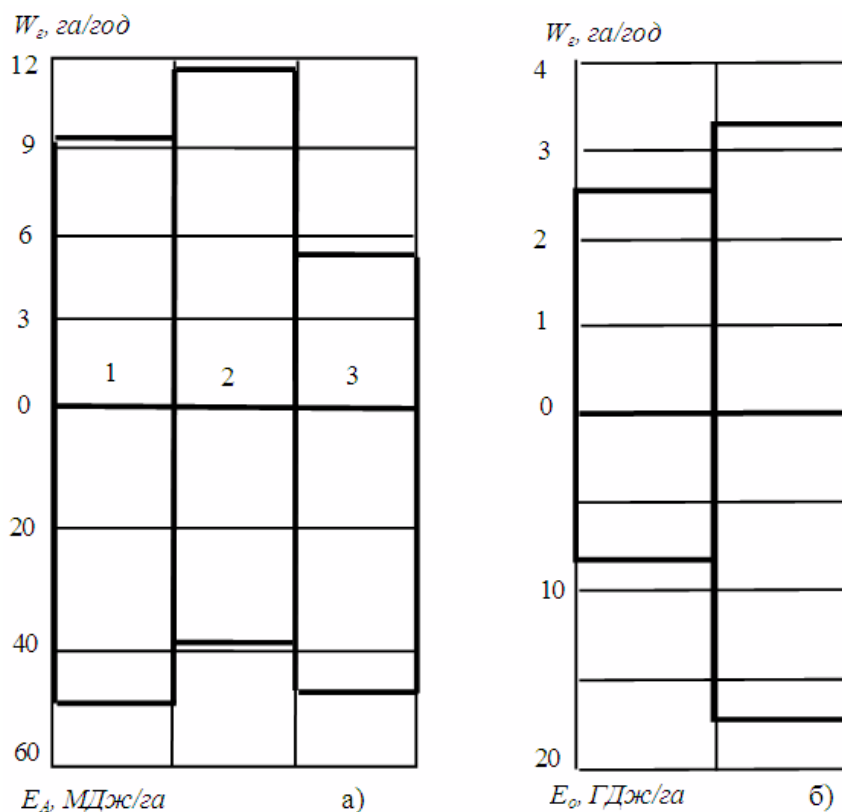


Рис. 2. Функціонально-вартісні діаграми оцінки агрегатів (а) – за табл. 2 і операцій (б) – за табл. 3. Умовні позначення: W_z – продуктивність за годину змінного часу; E_A , E_o – сукупна енергомідкість агрегату і операції.

ТЕМА: ПРОЕКТУВАННЯ СКЛАДУ КОМПЛЕКСІВ МАШИН І МАШИНО-ТРАКТОРНОГО ПАРКУ

ПЛАН ЗАНЯТТЯ

- 1. Загальна характеристика задачі**
- 2. Математична модель оптимізації складу технічних засобів**
- 3. Методика підготовки банку даних.**
- 4. Організація розв'язку задачі на ПЕОМ.**

1. Загальна характеристика задачі. Важливим завданням фахівців інженерної служби є визначення для господарства або машинно-технологічної станції (МТС) такого складу комплексів машин і машинно-тракторного парку (МТП) в цілому, які забезпечували б своєчасне та якісне виконання технологічних операцій з мінімально можливими експлуатаційними витратами та екологічно шкідливими наслідками.

Обґрунтування набору техніки та стратегії її ефективного використання потрібно розглядати для кожного господарства окремо з урахуванням його природно-виробничих умов і в системному взаємозв'язку елементів ТхС: машина – агрегат – комплекс машин – машинно-тракторний парк. Задачі такого типу доцільно розв'язувати шляхом реалізації економіко-математичної оптимізаційної моделі на ПЕОМ. Залежно від конкретних умов і потреб критерієм оптимізації може бути мінімум затрат праці ($Z \rightarrow \min$), мінімум капіталовкладень ($K \rightarrow \min$), мінімум приведених затрат коштів ($C \rightarrow \min$), мінімум витрати палива ($G_n \rightarrow \min$).

У загальному вигляді задачу можна сформулювати так:

* для заданих обсягів робіт, технологій і природно-виробничих умов визначити склад технічних засобів, який забезпечував би своєчасне та якісне виконання робіт і оптимум цільової функції.

2. Математична модель оптимізації складу технічних засобів.

Структурний та кількісний склад комплексів машин і МТП у цілому зумовлюється механізованими операціями та процесами виробництва сільськогосподарської продукції, що передбачені технологічними картами. Банк вхідних даних готується у вигляді чотирьох таблиць, які включають техніко-економічні характеристики енергетичних засобів і сільськогосподарських машин, характеристику с.-г. культур і полів господарства, існуючі або перспективні технологічні карти чи окремі цикли механізованих робіт з можливими варіантами складу машинних агрегатів.

Серед множини факторів, які впливають на ефективність технологічної системи, основну роль відіграє склад машинно-тракторних агрегатів, умови їх роботи, агротехнічні строки виконання операцій, обсяги робіт на кожній із них, а також площі вирощування сільськогосподарських культур.

Пошук оптимальних значень параметрів, які впливають на стан системи, виконується зміною цих параметрів у допустимих межах. У свою чергу, стан системи можна оцінити сумарними затратами на виконання механізованих робіт.

Експлуатаційні затрати певного виду (праці, грошей тощо) на виконання даної технологічної операції визначаються за формулою

$$R_j^0 = r_{ij} \Omega_j / W_{ij}, \quad (1)$$

де R_j^0 – затрати ресурсів на весь обсяг робіт j -тої операції;

r_{ij} – годинні затрати при роботі i -го агрегату на j -ій операції;

W_{ij} – годинна продуктивність i -го агрегату на j -ій операції, га (т, ткм);

Ω_j – обсяг робіт на j -ій операції, га (т, ткм).

Обсяг робіт при виконанні j -ої операції дорівнює:

$$\Omega_j = F_k k_j, \quad (2)$$

де F_k – площа вирощування даної с.-г. культури, га;

k_j – коефіцієнт, який враховує обсяг робіт на одиниці площі.

Коефіцієнт k_j визначається для польових технологічних операцій як

$$k_j = \gamma_j, \quad (3)$$

для навантажувально-розвантажувальних операцій

$$k_j = \gamma_j H, \quad (4)$$

для транспортних операцій

$$k_j = \gamma_j H L, \quad (5)$$

де γ_j – коефіцієнт, який враховує кратність виконання j -ої операції;

H – урожайність на збиранні, норма внесення технологічних матеріалів (добрив, насіння тощо) на розподільчих, навантажувально-розвантажувальних і транспортних операціях, т/га;

L – віддаль перевезення вантажу, км.

Знаючи Ω_j , можна визначити годинні обсяги робіт:

$$\omega_j = F_k k_j / T_j, \quad (6)$$

де T_j – час, який відводиться на виконання j -ої операції.

Тоді

$$R_j = T_{ij} F_k k_j / W_{ij}. \quad (7)$$

Оптимальні режими роботи агрегатів на кожній операції визначаються для конкретних умов у межах агротехнічно допустимих швидкостей, виходячи з раціонального використання тягово-швидкісних можливостей енергетичних засобів за відомою методикою.

Для багатомашинних агрегатів потрібно спочатку визначити теоретично можливу ширину захвату агрегату

$$B_T = \frac{P_d}{\sum_{\xi=1}^{\Xi} R_{\xi} / B_{\xi}}, \quad (8)$$

де B_m – максимальна теоретична ширина захвату, м;

R_{ξ} – опір машини ξ -го типу, що входить до складу МТА, кН;

B_{ξ} – конструктивна ширина захвату машини ξ -го типу, м.

Тоді кількість Z_{ξ} машин ξ -го типу в агрегаті дорівнює:

$$Z_{\xi} = \text{int} /_{\xi=1}^{\Xi} (B_m / B_{\xi}). \quad (9)$$

Продуктивність машинно-тракторних агрегатів на польових операціях визначається за формулою

$$W_T = 0,36B\beta V_p \tau, \quad (10)$$

на навантажувально-розвантажувальних операціях:

$$W_H = W_H' \varepsilon \tau, \quad (11)$$

де W_T – продуктивність агрегату за годину змінного часу, га/год;

B – конструктивна ширина захвату агрегату, м;

β – коефіцієнт використання ширини захвату;

V_p – робоча швидкість агрегату, м/с;

τ – коефіцієнт використання часу зміни;

W_H – продуктивність навантажувачів, т/год;

ε – коефіцієнт використання вантажопідйомності навантажувально-розвантажувальних засобів, т/год.

Продуктивність транспортних агрегатів залежить від їх вантажопідйомності, віддалі перевезень та тривалості циклу:

$$W_{mp} = Q \varepsilon L / t_{\text{ц}}, \text{ ткм/год}, \quad (12)$$

де Q – вантажопідйомність транспортного засобу, т;

ε – коефіцієнт використання вантажопідйомності;

L – віддаль перевезення вантажу, км;

$t_{\text{ц}}$ – тривалість циклу, год.

Знаючи годинні обсяги робіт і продуктивність машинних агрегатів (МА), визначають необхідну їх кількість для виконання операції:

$$x_{ij} = \text{int} (\omega_j / W_{ij}) + 1, \quad (13)$$

де $\text{int}(\omega_j / W_{ij})$ – позначення цілочисельності ω_j / W_{ij} .

Оцінку роботи МА проводять за показниками затрат робочого часу, витрати палива, матеріаломісткості, приведених витрат коштів.

Затрати робочого часу при виконанні операцій визначаються за формулою

$$H = \frac{\sum_{i=1}^n n_i T_i}{W_{ij}}, \text{ год/га ткм}. \quad (14)$$

Тоді затрати на загальний обсяг робіт будуть рівні:

$$R_j = \sum_{j=1}^n \frac{r_{ij} T_j \operatorname{int} \left(\frac{\omega_j}{W_{ij}} + 1 \right)}{S_k}. \quad (15)$$

Послідовно збільшуючи площі вирощування сільськогосподарських культур $F_k = F_n + \Delta F_k$, можна досягти такого стану системи, що при збільшенні площі критерій ефективності істотно не змінюватиме свого значення (або змінюється в незначних межах). Знайдена площа буде оптимальною для вирощування даної культури, а склад машинно-тракторних агрегатів складає комплекс машин, який забезпечує виконання запланованого обсягу робіт.

Обґрунтування набору техніки та її ефективне використання необхідно розглядати окремо для кожного господарства з його природно-кліматичними умовами у системному зв'язку: машина – машинний агрегат – набір техніки – комплекс машин – машинно-тракторний парк. Тому визначення складу комплексів машин та їх використання у структурі МТП має важливе значення.

Технологічний процес вирощування та збирання сільськогосподарських культур складається із основних, допоміжних і суміжних операцій.

Основна операція – це провідна операція певного взаємопов'язаного циклу робіт.

Допоміжні операції – це операції, без виконання яких не може бути виконана основна операція.

Суміжні операції – це операції, виконання яких поліпшує технологічний процес.

Основні, допоміжні та суміжні операції технологічного процесу виконуються різними за складом МА, які мають різну продуктивність. Тому тривалість виконання операцій залежить від складу агрегатів, їх кількості та продуктивності.

Основні операції циклу взаємопов'язаних робіт визначають тривалість виконання циклу.

Тривалість виконання основної операції циклу визначається за формулою

$$d_j^0 = \frac{S_k k^0}{W_{ij}^0 T_{k^a} k_{k^a} \text{int} \left(\frac{\omega_j^0}{W_{ij}^0} + 1 \right)} \leq d_{\text{Бон}}, \quad (16)$$

а кількість агрегатів для її виконання становитиме:

$$x_{ij}^0 = \text{int} (\omega_j^0 / W_{ij}^0 + 1). \quad (17)$$

Тривалість виконання допоміжної операції повинна бути рівною тривалості виконання основної операції, тобто

$$d_j^D = d_j, \quad (18)$$

тоді кількість агрегатів для виконання допоміжної операції становитиме:

$$x_{ij}^D = \text{int} (S_k k^D / d_j^D W_{ij}^D N_{3M} k_{3M} + 1). \quad (19)$$

Тривалість виконання суміжної операції не може перевищувати тривалості основної операції, тобто

$$d_j^c \leq d_j^0. \quad (20)$$

Тоді кількість агрегатів, які необхідно мати для виконання суміжної операції, буде:

$$x_{ij}^c = \text{int} (S_k k^c / d_j^c W_{ij}^c N_{3M} k_{3M} + 1), \quad (21)$$

де x_{ij}^0 , x_{ij}^D , x_{ij}^c – кількість агрегатів, необхідних для виконання відповідно основної, допоміжної та суміжної операції;

S_k – площа вирощування с.-г. культури;

k^0 , k^D , k^c – кратність виконання відповідних операцій;

$d_{\text{ДОП}}$ – допустима за агротехнічними вимогами тривалість виконання заданого циклу робіт;

d_j^0 , d_j^D , d_j^c – тривалість виконання відповідних операцій;

W_{ij}^0 , W_{ij}^D , W_{ij}^c – продуктивність агрегатів відповідно на основній, допоміжній і суміжній операціях;

ω_j^0 , ω_j^D , ω_j^c – годинний обсяг робіт на відповідних операціях;

k_{3M} – коефіцієнт змінності.

Важливим показником при виборі кількості агрегатів для виконання механізованих робіт є коефіцієнт використання агрегату K_{ij}^a , який визначається із залежності:

$$K_{ij}^a = S_k k / d_j W_{ij} T_{zm} k_{zm} x_{ij} \leq 1. \quad (22)$$

Аналіз залежності (22) показує, що при $K_{ij}^a > 1$ x_{ij} збільшує своє значення, тобто зменшення до деякого значення d_j не призводить до зміни x_{ij} . Іншими словами, за менш тривалий час можливо виконати той же обсяг робіт тією ж кількістю агрегатів.

Із наведених залежностей видно, що збільшення кількості машинно-тракторних агрегатів на основних операціях приведе до збільшення кількості агрегатів на допоміжних операціях при незначному зменшенні тривалості їх виконання.

Аналіз залежності (17) показує, що тільки при переході границі $W_{ij}^c n' = \omega_j$, де $n' = 1, 2, \dots, N$, величина x_{ij} змінює своє значення. Це означає, що в певних межах значення d_j величина x_{ij} не змінює свого значення. Тобто за менший час можна виконати роботу тією ж кількістю агрегатів за умови раціонального розподілу МА за всіма операціями технологічного процесу.

Одну і ту ж операцію можуть виконувати різні за складом МА із властивими тільки їм показниками роботи. На виконанні кожної операції може бути використано m варіантів агрегування. Технологічний процес вирощування та збирання с.-г. культури складається із кінцевого числа n операцій. Тоді прямокутна матриця розміром $n \times m$ являє собою множину можливих варіантів використання МА, дослідження якої дозволяє знайти раціональний план машиновикористання.

Критеріями оптимізації можуть бути приведені затрати ($\min C$), затрати робочого часу ($\min M$), капітальні вкладення ($\min K_e$). Показники використання МА виражаються через a_{ij} ($i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$).

Множина варіантів використання машинно-тракторних агрегатів у річному періоді виконання механізованих робіт виражається матрицею:

$$S = ||a_{ij}|| = \{V_{ij}, D_{ij}, d_{ij}, x_{ij}, W_{ij}, C_{ij}, H_{ij}, M_{ij}, K_{eij}, K_{nij}\}. \quad (23)$$

У свою чергу підмножина $x_{ij} \in S$ включає елементи, в які входять типи енергетичних засобів t ($t = 1, 2, \dots, T$), сільськогосподарських машин ξ ($\xi=1, 2, \dots, E$) та їх кількість в агрегаті z_ξ , тобто

$$x_{ij} = \{t, \xi, z_{\xi}\}. \quad (24)$$

Застосувавши один із критеріїв ефективності, можна визначити раціональні машинно-тракторні агрегати для виконання кожної з операцій. Для цього необхідно перетворити прямокутну матрицю $m \times n$ у матрицю вектор A так, що:

$$A = opt \left|_{j=1}^n \begin{array}{l} a_{11} \ a_{12} \ \dots \ a_{1m} \\ a_{21} \ a_{22} \ \dots \ a_{2m} \\ \dots \ \dots \ \dots \\ a_{n1} \ a_{n2} \ \dots \ a_{nm} \end{array} \right|. \quad (25)$$

Очевидно, що матриця A являє собою систему машинно-тракторних агрегатів, які можуть виконувати відповідні механізовані операції загального технологічного процесу. З метою пошуку раціонального складу комплексів машин для кожної сільськогосподарської культури необхідно розглянути дану систему у загальній структурі машинно-тракторного парку за строками виконання робіт і загальному річному завантаженні машин.

Розглядаючи почергово операції за циклами взаємопов'язаних робіт з урахуванням тривалості їх виконання за основною операцією в межах $j=1,2,\dots,n$, визначаються реальні тривалості виконання кожного циклу. При цьому уточнюється необхідна кількість МА як на основних, так і на допоміжних і суміжних операціях.

Знаючи початок D_j і тривалість d_j виконання j -ої операції, визначається строк закінчення механізованої роботи D_j^k :

$$D_j^k = D_j + d_j + 1. \quad (26)$$

Оскільки x_{ij} залежить від тривалості виконання операції, то, знайшовши суму кількості агрегатів за строками виконання робіт l ($l=D_j, D_j+1, \dots, 365$) і операціями j ($j=1,2, \dots, n$) щодо кожного енергетичного засобу t ($t=1,2, \dots, T$), одержимо:

$$\|x_{ij}\| = \begin{vmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1T} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2T} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{365,1} & x_{365,2} & \dots & x_{365T} \end{vmatrix} = \left| \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^n \sum_{l=D_j}^{D_j^k} x_{l(j)} \right|. \quad (27)$$

Досліджуючи матрицю (63) на максимум для кожного t по l , одержимо матрицю-вектор кількості енергетичних засобів t -го типу:

$$\|x_t^{max}\| = \max_{t=1}^T \|x_{ti}\|. \quad (28)$$

Загальна кількість годин роботи енергетичних засобів типу t протягом річного періоду виконання робіт визначається за такою залежністю:

$$H_t^3 = \left| \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^n (x_{l(j)} d_j T_{K^a}) \right|. \quad (29)$$

Тоді річне завантаження одиничного енергетичного засобу кожного типу становитиме:

$$H_t^3 = \left| \left(\frac{\sum_{j=1}^n (x_{l(j)} d_j T_{CM})}{\|x_t^{max}\|} \right) \right|. \quad (30)$$

Аналіз одержаної залежності свідчить, що зменшення кількості енергетичних засобів x_t^{max} за рахунок перерозподілу робіт між ними призведе до збільшення їх річного завантаження і відповідно до зменшення приведених затрат на виконання механізованих робіт, а також зниження капітальних вкладень на закупівлю техніки.

Для пошуку шляхів зменшення значення x_t^{max} необхідно ввести поняття “відсікаючої змінної ∂_t ”, початкове значення якої рівне:

$$\partial_t = x_t^{max} - 1. \quad (31)$$

Розглядаючи елементи матриці (1.66) по кожному $t(t=1,2,\dots,T)$, знаходять значення l , для якого $x_{tl} > \partial_t$. У цьому випадку із множини x_{tl} для даного t і l знаходять таке значення (тобто таку операцію), для якого справедлива нерівність:

$$x_{tl} \geq x_t^{max} - \partial_t. \quad (32)$$

Такий пошук проводиться для всіх t по всіх l . Якщо нерівність (31) не підтверджується, то змінна ∂_t для всіх t зменшується на l до того моменту, доки нерівність буде справедлива. У цьому випадку для одержаного j планується використання іншого агрегату, близького за критерієм ефективності до вибраного раніше при умові, що тип енергетичного засобу t цього агрегату увійшов у склад агрегатів на інших операціях. Тоді тимчасово знявши з j -ї роботи попередній агрегат, тобто частково звільнивши матрицю (27) від попереднього t по $D_j, D_{j+1}, \dots, D_j^k$, перевіряють її стан з новим t . Якщо у такому випадку справедлива нерівність (31), то матриця A перебудовується з урахуванням нововведеного агрегату. Перед цим перевіряють його взаємозв'язок з іншими агрегатами циклу робіт, у якому він знаходиться, і уточнюють нові строки виконання робіт.

Кожний перерозподіл стану системи, яка розглядається, викликає нове значення матриці A . Тому на кожному етапі перерозподілу аналізується ця матриця для визначення випадку збільшення h_t . При цьому тимчасово зняті агрегати повністю виключаються із системи. В іншому випадку вони залишаються для продовження корегування згаданої матриці.

Слід відзначити, що коли знімається один із типів агрегатів з основної операції і призначається інший, то визначаються нові строки виконання робіт і уточнюється кількість агрегатів на допоміжних і суміжних операціях, незалежно від того, якими вони були до моменту заміни агрегатів. При заміні агрегатів на допоміжних і суміжних операціях одночасно визначається їх необхідна кількість. Процес перерозподілу робіт продовжується до того моменту, коли "відсікаюча змінна" ∂_t для всіх t прийме значення $\partial_t=0$.

Кінцеве значення елементів матриці (27) характеризує матрицю використання раціонального складу парку енергетичних засобів по днях календарного періоду робіт.

Кількість енергетичних засобів раціонального машинно-тракторного парку визначається із залежності

$$X_t^e = \max_l \left| \sum_{j=1}^n \sum_{l=D_j}^{D^k j} x_{l(j)} \right. \quad (33)$$

Кількісний склад і структура парку сільськогосподарських машин залежить від складу машинно-тракторних агрегатів, в яких використовуються енергетичні засоби раціонального МТП:

$$X_\xi^e = \max_l \left| \sum_{\xi=1}^{\Xi} \sum_{j=1}^n \sum_{l=D_j}^{D^k j} (x_{l(j)} z_\xi) \right. \quad (34)$$

Виділивши з набору операцій ті, що використовуються при вирощуванні та збиранні окремих с.-г. культур, і прийнявши, що α – номер першої операції, а β – кількість операцій по культурі, визначають раціональні комплекси машин щодо окремих культур. Для цього необхідно, використавши (32) і (33), взяти суму по i так, що $i = \alpha, \alpha+1, \dots, \alpha+\beta$. Склад комплексів машин обґрунтований у структурі МТП, тобто їх робота пов'язана з роботою всього парку машин.

Розкривши множину S і використавши (32) і (33), одержимо технологічний процес вирощування і збирання с.-г. культур, який забезпечує своєчасне виконання операцій та ефективне використання техніки.

Виходячи з розглянутої моделі визначення оптимальної структури машинно-тракторного парку і комплексів машин, функція цілі в загальному вигляді може бути виражена залежністю

$$F = \underset{i}{opt} K^e = f(S(d_i^o)), \quad (35)$$

де K^e – критерій ефективності;

$S(d_i^o)$ – динамічний стан системи (агрегати – строки робіт).

На основі математичної моделі розроблений алгоритм системи “Комплексне машиновикористання” і складена програма його реалізації на персональному комп'ютері. Система призначена для:

- визначення раціональних параметрів і режимів роботи машинно-тракторних агрегатів;

- визначення оптимальних комплексів машин для вирощування та збирання сільськогосподарських культур;

- визначення раціональних обсягів виробництва;

- визначення раціональної структури МТП господарств.

Система передбачає такі обмеження у базі даних:

- кількість марок енергетичних засобів – не більше 90;

- кількість марок с.-г. машин – не більше 600;

- кількість окремих технологій – не більше 30;

- кількість операцій у кожній технології – не більше 70;

- загальна кількість операцій для всіх технологій – не більше 2100.

3. Методика підготовки банку даних. Банк вхідних даних для розв'язання поставленої задачі готується у вигляді чотирьох таблиць, які включають техніко-економічні характеристики енергетичних засобів (табл. 1), сільськогосподарських машин (табл. 2), характеристики сільськогосподарських культур і поля для їх вирощування у відповідному господарстві (табл. 3), існуючі або перспективні технології виробництва продукції рослинництва чи окремі цикли механізованих робіт з можливими варіантами складу машинно-тракторних агрегатів (табл. 4).

4. Організація розв'язку задачі на ПЕОМ. Для організації розв'язку задачі на ПЕОМ необхідно мати пакет програм, який складається із двох блоків: ОМТР1.EXE і ОМТР2.EXE та вхідні параметри (банк даних) у вигляді чотирьох файлів: ОМТРЕНЕР.DAT, ОМТРАРГО.DAT, ОМТРКУЛТ.DAT, ОМТРТЕХН.DAT. Після запуску послідовно першого блоку ОМТР1.EXE і другого блоку програм ОМТР2.EXE на екрані монітора ставиться ряд запитань, на які необхідно дати відповідь. Результати роботи першого блоку є у файлах ОМТРPUR0.REZ і ОМТРPUR1.REZ, які містять основні техніко-економічні показники роботи конкуруючих агрегатів, а результати другого блоку (файл ОМТРPUR2.REZ) – техніко-економічні показники роботи вибраного

раціонального за визначеним критерієм машинно-тракторного агрегату, комплексу машин і машинно-тракторного парку, а також техніко-економічні показники їх роботи.

Таблиця 1

Енергомашини

Марка енерго-машини	Тип	Експл. параметр, кН; т; кг/с	Потужність, кВт	Питом. витрата палива, г/кВтгод (г/км)	Експл. маса, т	Балансова варт., грн.	Світова ціна, \$	Нормат. річне завантаж., год	Норма відрах. на відновлення, %	Норма відрахувань на кап. ремонт, %	Норма відрах. на поточ. ремонт, %	Коеф. переведення в ет. трак.	№ п/п
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

№

кол

Зміст колонки

- 1 Марка енергетичного засобу (текстова інформація розміром не більше 10 знаків).
- 2 Тип енергозасобу: 1–гусеничні трактори; 2–колісні трактори 4x4; 3–колісні трактори 4x2 та ел.двигуни; 4– самох. комбайни; 5–автомобілі-самоскиди; 6–бортові автомобілі. (Цифровий індекс розміром 00).
- 3 Основний експлуатац. параметр: для тракторів – номін. тягове зусилля, кН; для автомобілів – вантажопідйом., кг; для самохід. комбайнів – пропускна здатність, кг/с. (Цифр. індекс розміром 00000).
- 4 Ефективна потужність двигуна, кВт. (Цифровий індекс розміром 0000).
- 5 Питома витрата палива (для тракторів – г/кВтгод; для автомобілів – кг/км пробігу. Цифровий індекс розміром 0000).
- 6 Експлуатаційна маса, т. (Цифровий індекс розміром 00.00).
- 7 Балансова вартість, грн. (Цифровий індекс розміром 000000).
- 8 Світова ціна, \$ (Цифровий індекс розміром 000000).
- 9 Нормативне річне завантаження, год. (Цифровий індекс розміром 00000).
- 10 Норма амортизаційних відрахувань, %. (Цифровий індекс розміром 00.00).
- 11 Норма відрахувань на капітальний ремонт, %. (Цифровий індекс розміром 00.00).
- 12 Норма відрахувань на поточний ремонт і ТО, %. (Цифровий індекс розміром 00.00).
- 13 Коефіцієнт переведення енергозасобів в еталонний трактор (Цифровий індекс розміром 00.00).
- 14 Шифр енергетичної машини, що співпадає з її порядковим номером. (Цифровий індекс розміром 000).

Сільськогосподарські машини

Марка с.-г. Маши-ни	Тип	Основний параметр, т; кг/с	Макс роб. швид., км/год	Маса с.-г. маш., т	Баланс. варт., грн.	Світова ціна, \$	Мінім. пит. опір., кН/м кПа	Потужність на ВВП, кВт	Норм. річне завантаж., год	Обсл. персонал. чол.	Норма відрах. на амор., %	Норма відрах. на ТО і ПР, %	Кінемат. довжина м	Час на тех. і технол. обслуг год/зм	№ п/п
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

№

Зміст колонки

КОЛ

1. Марка сільськогосподарської машини (текстова інформація розміром не більше 10 знаків).
2. Тип с.-г. машин: 0 – комбайни; 1 – тягові причіпні; 2 – плуги; 3 – тягово-привідні; 4 – хедери; 5 – навантажувачі; 6 – тракторні причепа та машини їм подібні (розкидачі добрив тощо); 7 – автомобільні причепа; 8 – зчіпки; 9 – начіпні машини, крім типу 5. (Цифровий індекс розміром 00).
3. Основний параметр: ширина захвату, м – для машин типу 1,2, 3, 4, 8 і 9; продуктивність, т/год – для машин типу 5; пропускна здатність, кг/с – для машин типу 0. (Цифровий індекс розміром 00.0).
4. Максимально допустима робоча швидкість, км/год. (Цифровий індекс розміром 00).
5. Маса сільськогосподарської машини, т. (Цифровий індекс розміром 00.00).
6. Балансова вартість сільськогосподарської машини, грн. (Цифровий індекс розміром 000000).
7. Світова ціна, \$. (Цифровий індекс розміром 000000).
8. Мінім. питомий опір с.-г.м., кН/м (для плугів – кН/м²). (Цифровий індекс розміром 00.0).
9. Потужність на привід робочих органів від ВВП, кВт. (Цифровий індекс розміром 00.0).
10. Нормативне річне завантаження сільськогосподарських машин, год. (Цифровий індекс розміром 000).
11. Кількість обслуговуючого персоналу (крім водія або механізатора, який обслуговує енергетичну машину. (Цифровий індекс розміром 00).
12. Норма амортизаційних відрахувань, %. (Цифровий індекс розміром 00.0).
13. Норма відрахувань на поточний ремонт і ТО машини, %. (Цифр. індекс розміром 00.0).
14. Кінематична довжина машини, м. (Цифровий індекс розміром 00.0).
15. Час на технічне і технологічне обслуговування протягом зміни, год. (Цифровий індекс розміром 0.00).
16. Шифр с.-г. машини, що шифр співпадає з її порядковим номером. (Цифровий індекс розміром 000).

Характеристика сільськогосподарських культур і полів

Назва	Мітка	Площа, га	U _о , т/га	U _п , т/га	H _{од} , т/га	H _{мд} , ц/га	L _в , км	L _п , км	L _г , м	h _{ор} , см	Грунти		Щільність		Ціна Б ц/б	Внесення			№ с.-г. к.
											Клас с	бонітет Б	ρ _{оп} , т/м ³	ρ _{пп} , т/м ³		Н	Р	К	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

№

Зміст колонки

- 1 Назва с.-г. культури (текстова інформація розміром не більше 20 символів).
- 2 Мітка: * – розрахунок 1-єї культури, + – 2 і більше культур, з яких остання має мітку *.
- 3 Площа вирощування с.-г. культури, га. (Цифровий індекс розміром 00000).
- 4 U_о – урожайність основної продукції, т/га. (Цифровий індекс розміром 00.0).
- 5 U_п – урожайність побічної продукції, т/га. (Цифровий індекс розміром 00.0).
- 6 H_{од} – норма внесення органічних добрив, т/га. (Цифровий індекс розміром 00.0).
- 7 H_{мд} – норма внесення мінеральних добрив, т/га. (Цифровий індекс розміром 0.0).
- 8 L_в – відстань перевезень продукції всередині господарства, км. (Цифр. індекс розміром 00.0).
- 9 L_п – відстань перевезень продукції за межі господарства, км. (Цифр. індекс розміром 00.0).
- 10 L_г – довжина гонів, м. (Цифровий індекс розміром 0000).
- 11 h_{ор} – глибина оранки, см. (Цифровий індекс розміром 00).
- 12 Кл. ґрунтів за пит. опором, кН/м²: 1–30; 2–37; 3–44; 4–52; 5–58; 6–65; 7–71; 8–78; 9–85
- 13 Бонітет ґрунту Б, балів. (Цифровий індекс розміром 00).
- 14 ρ_{оп} – щільність основної продукції, т/м³. (Цифровий індекс розміром 0.00).
- 15 ρ_{пп} – щільність побічної продукції, т/м³. (Цифровий індекс розміром 0.00).
- 16 Ціна бонітету, ц/б. (Цифровий індекс розміром 0.00).
- 17 Внесення азоту N, кг/т. (Цифровий індекс розміром 0.00).
- 18 Внесення фосфору P, кг/т. (Цифровий індекс розміром 0.00).
- 19 Внесення калію K, кг/т. (Цифровий індекс розміром 0.00).
- 20 Порядковий номер технології даної культури у таблиці 4. (Цифровий індекс розміром 00).

Технології вирощування і збирання сільськогосподарських культур

Назва оп-ції	Мітка	Початок	Тривалість, днів	% від площі	Фон	Спосіб руху	Вид продукції	% від прод	Шифр енергозасобу						
									1	2	3	4	5		
Шифр 1-ої с.-г. машини					Шифр 2-ої с.-г. машини					Шифр 3-ої с.-г. машини					№
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	опер.
15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

№

Зміст колонки

- 1 Назва операції (текстова інформація обсягом не більше 5 символів).
- 2 Мітка: основна операція циклу – символ “/”; заключна операція циклу – “-”; заборона змінювати тривалість операції –“N”; заключна операція технології –“+”.(Цифр. індекс 00).
- 3 Початок виконання с.-г. робіт (порядковий номер дня року). (Цифр. індекс розміром 000).
- 4 Тривалість виконання операцій згідно з агротехнічними вимогами, днів. (Цифр. індекс розміром 00).
5. Кратність операції,%(відсоток відносно до площі с.-г. культури). (Цифровий індекс – 000).
- 6 Фон: 0 – навантажувально-розвантажувальні МА; 1– дорога з твердим покриттям; 2 – ґрунтова дорога; 3 – суха стерня; 4 – волога стерня; 5 – злежана оранка; 6 – поле під сівбу; 7 – свіжа оранка; 8 – вологий луг; 9 – болото, сніг. (Цифр. індекс розміром 0).
- 7 Спосіб руху МА: 1–всклад, врозгін; 2–човниковий; 3–круговий симетрич.; 4–круговий несиметрич.; 5–діагональний; 6–рух трансп. агрегатів по полю; 7–рух трансп. агрегатів у господарстві; 8– рух трансп. агрегатів за межами господарства. (Цифр. індекс – 0).
- 8 Вид продукції: 1 – основна; 2 – побічна; 3 – орг. добрива; 4 – мін. добрива. (Цифр. індекс – 0).
- 9 Норма продукції, % (стосовно конкретної операції згідно з даними форми 3). Записується відсоток навантажуваної, розвантажувальної або транспортної продукції. (Цифр. індекс розміром 000).
- 10-14 Шифри енергетичних машин (форма 1) конкуруючих МА. (Цифр. індекс – 0).
- 15-29 Шифри перших, других та третіх с.-г. машин конкуруючих МА. (Цифровий індекс – 0).
- 30 Порядковий номер операції даної культури. (Цифровий індекс розміром 00).

ТЕМА: ОПТИМАЛЬНИЙ РОЗПОДІЛ ТЕХНІКИ НА ОКРЕМІ ВИДИ РОБІТ, ЩО ВИКОНУЮТЬСЯ ОДНОЧАСНО

ПЛАН ЗАНЯТТЯ

- 1. Загальне формулювання задачі.**
- 2. Математична модель і алгоритм розв'язання задачі.**
- 3. Приклад розв'язання задачі на ПЕОМ.**

1. Загальне формулювання задачі. Інженерні задачі, що пов'язані з оптимальним розподілом техніки, належать до задач оперативного планування. За метою і критерієм оптимальності їх доцільно поділити на дві групи.

Першу групу становлять задачі оптимальної розстановки техніки при одночасному виконанні виробничих процесів з метою мінімізації затрат ресурсів на своєчасне виконання заданого обсягу робіт. Такі задачі виникають перед інженером при складанні планів використання різних видів ресурсів (трудові ресурси, технічні засоби, паливо, кошти). При складанні плану використання техніки у даному випадку можуть бути використані різні критерії оптимальності (мінімум прямих витрат коштів на виконання робіт, мінімум затрат праці або затрат механічної енергії та ін.).

До другої групи належать задачі мінімізації строків виконання виробничих процесів. Час є одним із найважливіших непоновлюваних ресурсів, що суттєво впливає на врожайність сільськогосподарських культур і втрати врожаю. Тому мінімізація строків виконання механізованих робіт входить до числа найбільш ефективних задач оптимального планування у сфері аграрного машиновикористання, а особливо в напружені ("пікові") періоди технологічного процесу.

У цьому параграфі розглянемо задачі першої групи, а в наступному – другої.

Більшість технологічних операцій рільництва може бути виконана з використанням агрегатів на базі різних тракторів. Оскільки техніко-експлуатаційні властивості агрегатів можуть істотно відрізнятися, то це визначатиме неоднакові продуктивність і розмір прямих виробничих затрат на виконання певного обсягу робіт. Тобто в інженера є можливість вибирати різні варіанти використання сільськогосподарської техніки. Оптимальним буде той, який забезпечить мінімальні затрати ресурсів, праці або часу на виконання заданого обсягу робіт.

У більшості випадків такі задачі можуть бути розв'язані методами лінійного програмування. Лінійне програмування належить до класу задач багатомірної оптимізації з обмеженнями і полягає в знаходженні мінімуму чи максимуму лінійної функції з обмеженнями, що також мають вигляд лінійних рівнянь чи нерівностей.

Отже, загальне формулювання заданої задачі наступне.

Нехай на відрізок часу тривалістю D днів у господарстві (відділенні) необхідно виконати m виробничих процесів. Обсяг роботи щодо кожного з них складає F_i ($i=1, \dots, m$). Черговість виконання заданих виробничих процесів у межах встановленого строку не регламентується. Для виконання даного обсягу робіт можуть бути використані n видів агрегатів. Годинна продуктивність агрегату на базі трактора j -го типу ($j=1, \dots, n$) при виконанні i -ї операції становить W_{ij} . Прямі виробничі затрати на одиницю роботи будуть рівними C_{ij} . Кількість агрегатів з тракторами j -го типу – n_j . Тривалість зміни у період, що планується, становить T_{zm} годин. Робота агрегатів організована в k_{zm} змін. Знайти оптимальний план розподілу обсягу робіт за окремими агрегатами, який забезпечив би мінімальні виробничі затрати на виконання всього обсягу робіт ($\sum C_{ij} \rightarrow \min$).

2. Математична модель і алгоритм розв'язання задачі. Подамо умову сформульованої задачі у вигляді математичної моделі. Позначимо через X_{ij} – обсяг робіт (площу), що виконується всіма агрегатами j -го типу на i -тій

технологічній операції за період D днів, а через Z – суму прямих виробничих затрат на виконання всього обсягу робіт.

Цільова функція Z виражається залежністю

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij}, \quad (71)$$

де C_{ij} – прямі витрати коштів на одиницю роботи при виконанні i -ї технологічної операції агрегатом j -го типу, грн./га.

Згідно з умовою задачі потрібно підібрати такі значення площ X_{ij} , щоб величина Z була мінімальною.

Можливі значення X_{ij} будуть мати цілий ряд обмежень. Зокрема X_{ij} буде обмежене, в першу чергу, областю додатних чисел, тобто

$$X_{ij} \geq 0; i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n} \quad (72)$$

Друге обмеження стосується виконання повного обсягу робіт щодо кожної технологічної операції. Оскільки при виконанні i -тої операції можуть бути задіяні декілька типів агрегатів, то їх загальний виробіток повинен дорівнювати величині F_i :

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = F_i, i = \overline{1, m}. \quad (73)$$

Загальний час T_j використання тракторів j -го виду за D днів не повинен перевищувати фонду їх робочого часу Φ_j , який дорівнює:

$$\Phi_j = D k_n k_{zm} T_{zm} n_j, \quad (74)$$

де k_n – коефіцієнт погодності, що враховує частку сприятливих для виконання операції днів.

Час роботи агрегатів j -го типу на i -тій операції складає:

$$t_{ij} = \frac{X_{ij}}{W_{ij}}. \quad (75)$$

Зважаючи на те, що трактори j -го типу можуть використовуватись при виконанні декількох операцій, необхідно визначити загальні затрати часу агрегатами цього типу в період, що планується:

$$T_j = \sum_{i=1}^m t_{ij} = \sum_{i=1}^m \frac{X_{ij}}{W_{ij}}; j = \overline{1, n}. \quad (76)$$

Отже, третє обмеження стосується не перевищення тракторами j -го типу наявного фонду часу в заданому періоді. Його можна записати у вигляді $T_j \leq \Phi_j$, тобто

$$\sum_{i=1}^m \frac{X_{ij}}{W_{ij}} \leq Dk_n k_{3M} T_{3M} n_j; j = \overline{1, n}. \quad (77)$$

Тоді математичне формулювання задачі набуде вигляду:
знайти мінімум цільової функції

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \rightarrow \min \quad (78)$$

при наступних обмеженнях:

$$X_{ij} \geq 0, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n};$$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = F_i, i = \overline{1, m}; \quad (79)$$

$$\sum_{i=1}^m \frac{X_{ij}}{W_{ij}} \leq Dk_n k_{3M} T_{3M} n_j, j = \overline{1, n}$$

В розгорненому вигляді математичну модель задачі можна записати як

$$Z = C_{11}X_{11} + C_{12}X_{12} + \dots + C_{mn}X_{mn} \rightarrow \min \quad (80)$$

при $X_{ij} \geq 0, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$

$$X_{11} + X_{12} + \dots + X_{1n} = F_1$$

$$X_{21} + X_{22} + \dots + X_{2n} = F_2$$

.....

$$X_{m1} + X_{m2} + \dots + X_{mn} = F_m$$

$$\frac{X_{11}}{W_{11}} + \frac{X_{21}}{W_{21}} + \dots + \frac{X_{m1}}{W_{m1}} \leq Dk_n k_{3M} T_{3M} n_j$$

$$\frac{X_{12}}{W_{12}} + \frac{X_{22}}{W_{22}} + \dots + \frac{X_{m2}}{W_{m2}} \leq Dk_n k_{3M} T_{3M} n_j$$

.....

$$\frac{X_{1n}}{W_{1n}} + \frac{X_{2n}}{W_{2n}} + \dots + \frac{X_{mn}}{W_{mn}} \leq Dk_n k_{3M} T_{3M} n_j$$

Такі задачі можна розв'язувати симплекс-методом за відомими алгоритмами. При числі змінних більше чотирьох задачу доцільно розв'язувати з використанням ПЕОМ. Тому наведемо порядок підготовки вихідних даних стосовно застосування пакету програм ПЛП88. У цьому випадку коефіцієнти цільової функції і обмежень, а також вільні члени подають у вигляді матриці (табл. 1).

Таблиця 1

Матриця вихідних даних для оптимізації
розподілу техніки з використанням пакету програм ПЛП88

X_{11}	X_{12}	...	X_{1n}	X_{21}	X_{22}	...	X_{2n}	...	X_{mn}	Знак нерів- ності	Віль- ний член
C_{11}	C_{12}	...	C_{1n}	C_{21}	C_{22}	...	C_{2n}	...	C_{mn}	\rightarrow	Min
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	=	F_1
0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	=	F_2
...
0	0	0	0	0	0	0	0	...	1	=	F_m
$\frac{1}{W_{11}}$	0	0	0	$\frac{1}{W_{21}}$	0	0	0	...	0	\leq	Φ_1
0	$\frac{1}{W_{12}}$	0	0	0	$\frac{1}{W_{22}}$	0	0	...	0	\leq	Φ_2
...
0	0	0	0	0	0	0	0	...	$\frac{1}{W_{mn}}$	\leq	Φ_m

У першій лінійці матриці представлені коефіцієнти при невідомих цільової функції, знак нерівності і вільний член. В наступних лінійках матриці аналогічно – коефіцієнти другого і третього обмежень, що відповідають невідомим цільової функції. Після введення даних модель оптимізації реалізується на ПЕОМ.

3. Приклад розв'язання задачі на ПЕОМ. Протягом десяти днів ($D=10$) машинно-технологічною станцією (МТС) планується одночасне проведення таких операцій: внесення мінеральних добрив, оранка, культивування, сівба зернових колоскових культур. На виконання комплексу робіт може бути

виділена наступна кількість тракторів з відповідним набором с.-г. машин: **1 трактор К-701, 2 трактори Т-150К, 3 трактори МТЗ-80**. Запаси палива обмежені.

Обсяг робіт щодо кожної операції F_i , годинна продуктивність W_{ij} кожного агрегату на i -й операції з j -м трактором, а також питома витрата палива G_{ij} в кілограмах на гектар наведені в таблиці 2. Тривалість зміни у період, що планується, становить $T=7$ год. Коефіцієнт змінності $k_{зм}=1,5$.

Скласти план використання техніки, який забезпечуватиме своєчасне виконання заданого обсягу робіт з мінімальною витратою палива ($G \rightarrow \min$).

Таблиця 2

Початкові дані для планування механізованих робіт

Технологічна операція	Обсяг робіт, га	Показники МТА на базі трактора					
		К-701		Т-150К		МТЗ-80	
		W_{ij} , га/год	G_{ij} , кг/га	W_{ij} , га/год	G_{ij} , кг/га	W_{ij} , га/год	G_{ij} , кг/га
Внесення МД	320	–	–	19,6	2,2	12,1	3,0
Оранка	320	2,0	14,2	1,0	13,3	0,4	15,7
Культивація	180	10,4	2,3	6,6	2,4	2,8	2,9
Сівба зернов.	250	–	–	5,3	2,8	2,0	2,7

Тоді задачу можна сформулювати як знаходження мінімуму цільової функції (71), тобто

$$Z = 2,2X_{12} + 3,0 X_{13} + 14,4X_{21} + 13,3X_{22} + 15,7X_{23} + 2,3X_{31} + \dots \\ + 2,4X_{32} + 2,9X_{33} + 2,8X_{42} + 2,7X_{43} \rightarrow \min$$

при наступних умовах:

1. $X_{ij} \geq 0$; $i = 1,2,3,4$; $j = 1,2,3$;
2. $X_{12} + X_{13} = 320$;
3. $X_{21} + X_{22} + X_{23} = 320$;
4. $X_{31} + X_{32} + X_{33} = 180$;
5. $X_{42} + X_{43} = 250$;
6. $0,50 X_{21} + 0,10 X_{31} \leq 105$;
7. $0,05X_{12} + 1,00X_{22} + 0,15X_{32} + 0,19X_{42} \leq 210$;

$$8. 0,08X_{13} + 2,5X_{23} + 0,36X_{33} + 0,5X_{43} \leq 315.$$

Приведемо у відповідність позначення невідомих X_{ij} з позначеннями програми ПЛП-88 (табл. 3):

$$\begin{aligned} X1 &= X_{12} & X4 &= X_{22} & X7 &= X_{32} \\ X2 &= X_{13} & X5 &= X_{23} & X8 &= X_{33} \\ X3 &= X_{21} & X6 &= X_{31} & X9 &= X_{42} & X10 &= X_{43} \end{aligned}$$

Таблиця 3

Модель задачі в матричній формі (матриця коефіцієнтів)

X_{12} X1	X_{13} X2	X_{21} X3	X_{22} X4	X_{23} X5	X_{31} X6	X_{32} X7	X_{33} X8	X_{42} X9	X_{43} X10		Вільний член
2,2	3,0	14,4	13,3	15,7	2,3	2,4	2,9	2,8	2,7	→	min
1	1									=	320
		1	1	1						=	320
					1	1	1			=	180
								1	1	=	250
		0,5			0,1					≤	105
0,05			1,0			0,15		0,19		≤	210
	0,083			2,5			0,36			≤	315

Результати оптимізації розподілу обсягів робіт між агрегатами за мінімумом сумарної витрати палива подані в таблиці 4.

Таблиця 4

Оптимальний розподіл агрегатів на окремі види робіт за критерієм мінімуму прямих затрат

Технологічна операція	Обсяг робіт, га	Площа обробітку агрегатом на базі		
		К-701	Т-150К	МТЗ-80
Внесення мін.доб.	320	–	320	–
Оранка	320	126	194	–
Культивація	180	180	–	–
Сівба зернових	250	–	–	250
Витрата палива, т		2,2	3,4	0,7

Таким чином, запланований обсяг робіт буде виконаний своєчасно із загальною витратою палива $G = 6,3$ т. При цьому трактор К-701 буде зайнятий на виконанні операцій протягом 80,3 годин, тобто використає приблизно 76 %

фонду часу, два трактори *T-150K* будуть зайняті повністю протягом *10-ти* днів (використання фонду часу на *100 %*), а три трактори *MTЗ-80* використовують фонд часу лише на *40 %*. Це означає, що 2 трактори *MTЗ-80* за *10* днів можуть бути використані протягом *62,5* годин кожний (приблизно *60 %* фонду часу окремого агрегату), а третій на даних операціях взагалі не буде використовуватись.

Результати оптимізації розподілу обсягів робіт між окремими агрегатами за критерієм мінімуму витрати пального є характерними для календарного періоду механізованих робіт з невисокою напруженістю. В періоди максимальної напруженості робіт більш вагомими є критерії мінімізації затрат праці або часу виконання робіт. Зміна критерію оптимізації суттєво впливає на результати розв'язку задачі, що впливає з результатів розв'язку наступної задачі. Порівняння результатів оптимізації за різних умов і критеріїв є цікавим для усвідомлення ролі конкретної ситуації та природно-виробничих умов у виборі критерію та прийнятті інженерних рішень.

ТЕМА: МІНІМІЗАЦІЯ СТРОКІВ ПРОВЕДЕННЯ МЕХАНІЗОВАНИХ РОБІТ

ПЛАН ЗАНЯТТЯ

- 1. Загальне формулювання задачі.**
- 2. Математична модель задачі.**
- 3. Приклад розв'язку.**

1. Загальне формулювання задачі. Час є одним із найважливіших непоновлюваних ресурсів, що визначають ефективність більшості сільськогосподарських виробничих процесів. Виконання робіт в оптимальні агротехнічні строки є ознакою технологічної дисципліни і дозволяє суттєво зменшити втрати врожаю.

Оскільки сільськогосподарське виробництво значною мірою залежить від погоди, то потрібно так організувати роботу, щоб до початку несприятливого періоду виконати її в повному чи максимально можливому обсязі. В цьому випадку розмір прямих виробничих затрат не так важлива, як необхідність стислого завершення робіт.

Загальне формулювання даної задачі виглядатиме так:

Нехай потрібно одночасно виконати m операцій, обсяг робіт щодо кожної з яких складає F_i ($i = \overline{1, m}$). Для цього можуть бути використані n різних типів агрегатів. Кількість агрегатів кожного типу – n_j ($j = \overline{1, n}$). Продуктивність W_{ij} агрегата j -го типу при виконанні i -го виробничого процесу відома. Необхідно скласти план організації робіт, який би забезпечив виконання заданих виробничих процесів у найкоротші терміни.

Відмінність цієї задачі від розглянутої вище полягає в тому, що у даному випадку критерієм оптимальності є час, а не розмір прямих виробничих затрат або витрати ресурсів.

2. Математична модель задачі. Для математичного формулювання задачі позначимо через X_{ij} – обсяг роботи, що виконується агрегатом j -го типу при використанні його на i -тій операції, а через T_j – загальну тривалість використання агрегатів цього типу. Величина T_j визначається як

$$T_j = \sum_{i=1}^m \frac{X_{ij}}{W_{ij} n_j}, j = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Допустимо, що агрегати різних типів використовуються при виконанні заданого обсягу робіт неоднаковий час, тобто для них значення T_j будуть різними. Графічно цю умову можна зобразити діаграмою (рис. 1), де на осі абсцис відкладемо час, а на осі ординат – порядкові номери агрегатів.

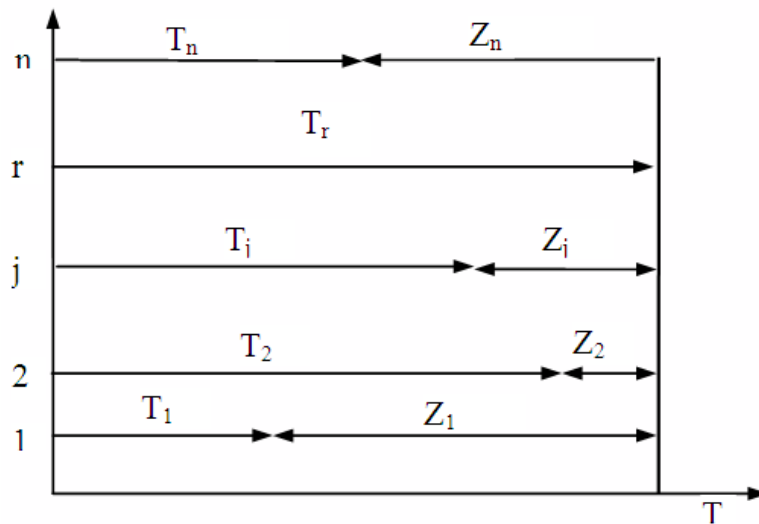


Рис. 1. Діаграма тривалості використання агрегатів у періоді T .

Тоді загальна тривалість T виконання заданого комплексу виробничих процесів у повному обсязі буде рівною максимальній із величин T_j , тобто

$$T = \max \{T_j\}, j = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Розв'язок задачі полягає в отриманні мінімально можливого значення T , тобто

$$T = \min \max \{T_j\}, j = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Вираз (3) є задачею на мінімакс, коли потрібно знайти мінімальне серед максимальних значень функції.

Для конкретизації цільової функції допустимо, що з множини значень T_j максимальним буде r -те значення. Тоді

$$T = T_r = \sum_{i=1}^m \frac{X_{ir}}{W_{ir} n_r} = \min . \quad (4)$$

Введемо додаткову змінну Z_j , яка буде рівною різниці

$$Z_j = T_r - T_j \quad (5)$$

і означатиме час протягом якого агрегати j -го типу не використовувалися при виконанні заданих робіт.

Підставивши значення T_r і T_j у формули (4) і (5), отримаємо:

$$Z_j = \sum_{i=1}^m \frac{X_{ir}}{W_{ir} n_r} - \sum_{i=1}^m \frac{X_{ij}}{W_{ij} n_j} . \quad (6)$$

Межами зміни величини Z_j будуть 0 і T_r , тобто $0 \leq Z_j \leq T_r$.

Використовуючи агрегати кількох типів для виконання заданого обсягу робіт, ми отримаємо мінімальну тривалість цих робіт тільки у тому випадку, коли можливості агрегатів будуть повністю використані.

Приймемо ряд необхідних обмежень. При вирішенні задачі нас задовольнить виконання тільки повного обсягу робіт щодо кожного із заданих виробничих процесів, що згідно з прийнятими позначеннями може бути виражено рівнянням обмеження:

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = F_i, i = \overline{1, m} .$$

Можливі значення X_{ij} будуть обмежені тільки областю додатних чисел, тобто $X_{ij} \geq 0, i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$.

Отже, математичне формулювання даної задачі набуде вигляду: знайти мінімум функції

$$T = \sum_{i=1}^m \frac{X_{ir}}{W_{ir} n_r} = \min \quad (7)$$

при обмеженнях:

1. $X_{ij} \geq 0, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}$;
2. $\sum_{i=1}^m X_{ij} = F_i, i = \overline{1, m}$;
3. $Z = \sum_{i=1}^m \frac{X_{ir}}{W_{ir} n_r} - \sum_{i=1}^m \frac{X_{ij}}{W_{ij} n_j}, j = 1, 2, \dots, r, \dots, n$.

3. Приклад розв'язку. Для порівняння результатів розподілу техніки на окремі види робіт при різних критеріях оптимізації розв'яжемо задачу мінімізації строків робіт для вихідних даних попередньої задачі (див. п. 3 і табл. 2).

Отже, для умов задачі п.3 і табл. 2 скласти план використання техніки, який забезпечуватиме виконання заданого обсягу робіт в мінімальні строки ($T \rightarrow \min$).

Тривалість виконання технологічних операцій агрегатами з тракторами різних марок згідно з таблицею 12 становитиме:

з трактором К-701

$$T_1 = X_{21}/n_1 W_{21} + X_{31}/n_1 W_{31} = X_{21}/1 \cdot 2,0 + X_{31}/1 \cdot 10,4;$$

з тракторами Т-150К

$$\begin{aligned} T_2 &= X_{12}/n_2 W_{12} + X_{22}/n_2 W_{22} + X_{32}/n_2 W_{32} + X_{42}/n_2 W_{42} = \\ &= X_{12}/2 \cdot 19,6 + X_{22}/2 \cdot 1,0 + X_{32}/2 \cdot 6,6 + X_{42}/2 \cdot 5,3; \end{aligned}$$

з тракторами МТЗ-80

$$\begin{aligned} T_3 &= X_{13}/n_3 W_{13} + X_{23}/n_3 W_{23} + X_{33}/n_3 W_{33} + X_{43}/n_3 W_{43} = \\ &= X_{13}/3 \cdot 12,1 + X_{23}/3 \cdot 0,4 + X_{33}/3 \cdot 2,8 + X_{43}/3 \cdot 2,0. \end{aligned}$$

Припускаємо, що на заданих операціях найповніше використовуються трактори Т-150К. Це припущення підтверджується результатами розв'язку попередньої задачі. Тоді

$$Z_1 = T_2 - T_1; \quad Z_2 = T_2 - T_3$$

або

$$Z_1 = X_{12}/n_2 W_{12} + X_{22}/n_2 W_{22} + X_{32}/n_2 W_{32} + X_{42}/n_2 W_{42} - (X_{21}/n_1 W_{21} + X_{31}/n_1 W_{31}) = \\ = X_{12}/2 \cdot 19,6 + X_{22}/2 \cdot 1,0 + X_{32}/2 \cdot 6,6 + X_{42}/2 \cdot 5,3 - (X_{21}/1 \cdot 2,0 + X_{31}/1 \cdot 10,4);$$

$$Z_2 = X_{12}/n_2 W_{12} + X_{22}/n_2 W_{22} + X_{32}/n_2 W_{32} + X_{42}/n_2 W_{42} - (X_{13}/n_3 W_{13} + X_{23}/n_3 W_{23} + \\ + X_{33}/n_3 W_{33} + X_{43}/n_3 W_{43}) = X_{12}/2 \cdot 19,6 + X_{22}/2 \cdot 1,0 + X_{32}/2 \cdot 6,6 + X_{42}/2 \cdot 5,3 - \\ - (X_{13}/3 \cdot 12,1 + X_{23}/3 \cdot 0,4 + X_{33}/3 \cdot 2,8 + X_{43}/3 \cdot 2,0).$$

Математичну модель задачі (цільову функцію та обмеження) запишемо у вигляді

$$T_2 = X_{12}/2 \cdot 19,6 + X_{22}/2 \cdot 1,0 + X_{32}/2 \cdot 6,6 + X_{42}/2 \cdot 5,3 \rightarrow \min,$$

тобто $0,025X_{12} + 0,5X_{22} + 0,076X_{32} + 0,094X_{42} \rightarrow \min$

при умовах:

1. $X_{12} + X_{13} = 320;$

2. $X_{21} + X_{22} + X_{23} = 320;$

3. $X_{31} + X_{32} + X_{33} = 180;$

4. $X_{42} + X_{43} = 250;$

5. $0,025X_{12} + 0,5X_{22} + 0,076X_{32} + 0,094X_{42} - 0,50X_{21} - 0,096X_{31} = 0;$

6. $0,025X_{12} + 0,5X_{22} + 0,076X_{32} + 0,094X_{42} - 0,028X_{13} - 0,82X_{23} - 0,12X_{33} - 0,17X_{43} = 0.$

Матриця коефіцієнтів цієї моделі наведена в таблиці 1.

Таблиця 1

Матриця коефіцієнтів

X_{12}	X_{13}	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{31}	X_{32}	X_{33}	X_{42}	X_{43}		
X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	-	
0,025			0,5			0,076		0,094		→	min
1	1									=	320
		1	1	1						=	320
					1	1	1			=	180
								1	1	=	250
0,025		-0,5	0,5		-0,096	0,076		0,094		=	0
0,025	-0,028		0,5	-0,82		0,076	-0,12	0,094	-0,17	=	0

Розв'язок задачі на ПЕОМ дає такі результати (табл.2):

$X_2 = X_{13} = 320$ га; $X_3 = X_{21} = 156$ га;

$X_4 = X_{23} = 106$ га; $X_5 = X_{23} = 58$ га;

$$X_8 = X_{33} = 180 \text{ га}; \quad X_9 = X_{42} = 250 \text{ га}.$$

Таблиця 2

Розподіл обсягів робіт за критерієм мінімальних строків їх проведення

Технологічна операція	Площа (га) обробітку агрегатами на базі		
	К-701	Т-150К	МТЗ-80
Внесення добрив	–	–	320
Оранка	156	106	58
Культивуація	–	–	180
Сівба зернових	–	250	–
Зайнятість тракторів, год	76	77	78

Отже, за результатами розв'язку задачі всі роботи можуть бути завершені за 7,5 днів при півтораазмінній роботі ($k_{зм}=1,5$). При цьому всі трактори будуть зайняті приблизно однаковий час, а загальна витрата палива буде становити $G=6,7 \text{ т}$.

Порівняємо дані таблиці 2 з результатами розв'язку попередньої задачі (див. табл. 4 Л7). При мінімізації витрати палива весь обсяг механізованих робіт завершувався на 10-тий день, причому найбільше часу займала оранка. Оскільки на цій операції є значною й різниця в погектарній витраті пального окремими агрегатами, то найменш економічні орні агрегати на базі тракторів МТЗ-80 не використовувались. При мінімізації термінів робіт були задіяні всі МТА, що дозволило скоротити час проведення робіт приблизно на 2,5 дні, але витрати палива при цьому зросли на $0,4 \text{ т}$.

З цього порівняння випливає важливість правильного вибору критерію оптимізації, а також ціна інженерних рішень в ефективному використанні техніки.