ВСТУПНА ЛЕКЦІЯ

ТЕМА: ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОГО СКЛАДУ МАШИННОГО АГРЕГАТУ

ПЛАН ЗАНЯТТЯ

## Загальне формулювання задачі

1. **Метод та алгоритм розв’язку задачі**

## 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.

1. **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.

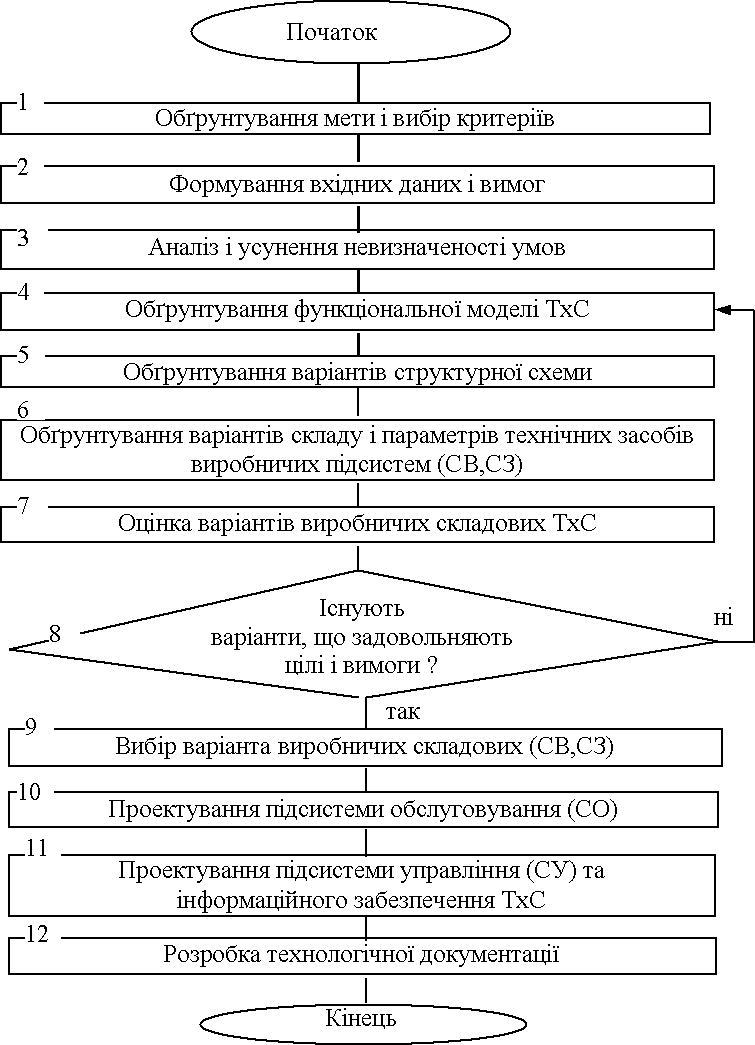


Рис. 1. Загальна схема проектування технологічних систем

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), обгрунтування 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 обгрунтування організаційної схеми, складу і параметрів підсистеми технічного обслуговування (крок 10) і управління (крок 11). Обгрунтування 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 випливає 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 ресурсоощадності***: 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 випливає 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 випливає і вимога трирівневого 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 обгрунтувати 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 (*Кп*) на підставі статистичних даних або імітаційного моделювання; надійність технічних засобів – їх коефіцієнтами готовності (*Кг*). Об’єднуючим показником може бути коефіцієнт використання календарного часу (*КD*):

*КD = Кп*  *Кг*. (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.

1. **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 *і=3%.*

Виходячи з наявного у господарстві МТП, обгрунтувати 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 *(Nзм)* на виконання заданого обсягу робіт *(F)*:

*Nзм=F\Wзм* , (2)

де *Wзм* – 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 грунт. Тому екологічність операції будемо оцінювати критерієм роботи деформації ґрунту:

*Af= P`f Ls = 104 (**fтGт+* *fмjGмj)/Bp* **,** (3)

де *Af* – робота на утворення колії, Дж/га;

*P`f* –складова опору коченню, що деформує ґрунт, Н;

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

 **–** коефіцієнт внутрішніх втрат у ходовій системі тракторів, який для колісних тракторів можна прийняти   *0,98*, а для гусеничних *= 0,9–0,93*;

*fт* і *fмj* – коефіцієнти опору коченню трактора і *j-ї* машини в агрегаті;

*Gт* і *Gмj* **–** експлуатаційна вага трактора та *j-ї* машини, Н;

*Вр* **–** ширина захвату агрегату, м.

У таблиці 1 наведено порівняльну оцінку агрегатів для сівби зернових культур за трьома критеріями: число нормозмін *Nзм*; погектарна витрата палива *q*,кг/га і робота ущільнення грунту *Аf*, 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 | *Wзм* , га | *Nзм* | *q*, кг/га | *Af* , 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 | Нормовані критерії | | | Відстань | Ранг |
| агрегати | *Nн*  *зм* | *qн* | *Aн* | до цілі  |
| 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 |

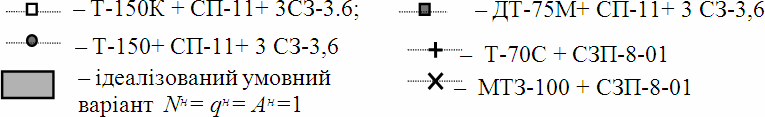
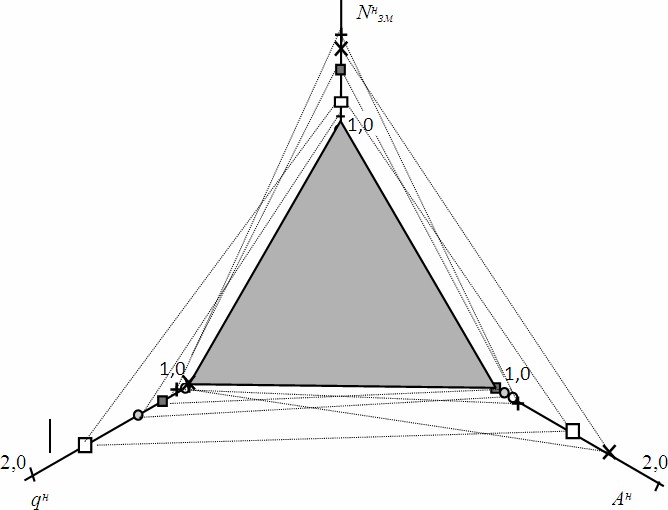
Найближче до ідеалізованого варіанта знаходяться посівні агрегати Т- 150+СП-11+3СЗ-3,6 і ДТ-75М+СП-11+3СЗ-3,6. Вони за відстанню до цілі  є майже рівноцінними.

Рис. 2. Порівняння посівних агрегатів у просторі нормованих критеріїв числа нормозмін (*Nн*), витрати палива (*qн*) і роботи на деформацію грунту (*Ан*)

Агрегати на базі колісних тракторів суттєво програють за критерієм роботи ущільнення ґрунту Аf. 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.

ЛЕКЦІЯ №2

ТЕМА: ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОПЕРАЦІЇ

ПЛАН ЗАНЯТТЯ

## Загальне формулювання задачі.

1. **Методика проектування операції.**
2. **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, обгрунтувати організацію роботи і контролю якості операції.

1. **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* 3 *M* *W*

*j*

*j n j k* 3 *M*  

*P*

*D*

***,*** (1)

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

*nj* – число агрегатів *j* -го типу;

 – обсяг робіт;

*Dp* – число днів, протягом яких потрібно виконати роботи;

*Tзм* – тривалість нормативної зміни;

*kзм* – 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 (*н*) і поза його межами *(*), а також нормативне число днів (*DH)* і відхилення від нього (*D*):

*K*  *H DH*   *1*   *1* , (2)

за умов:  

*CB*

   

*H DH*

  *D*

*1*  

*H*

 *D DH*

*1* *ctc*

* *D = Dнп – Dн ,* якщо *Dнп* *D фп , Dфз*  *Dнз*
* *D = Dфз – Dнз,* якщо *Dфз*  *Dнз , Dфп*  *Dнп*
* *D = (Dнп– Dфп) – (Dфз– Dнз),* якщо *Dнп*  *D фп,Dфз*  *Dнз*
* *D = 0,* якщо *Dфп*  *Dнп , Dфз*  *Dнз,*

де *Dнп* і *Dфп* – порядкові номери днів від початку року відповідно нормативного і фактичного початку операції;

*Dфз* і *Dнз* – порядкові номери днів нормативного і фактичного завершення операції.

*с* – частка несвоєчасно виконаного обсягу робіт;

*tс* – відносне відхилення від оптимальних агростроків. Показник своєчасності робіт бажано мати рівним 1, тобто:

*= 0* 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:

*КП = DР/D.* (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 *Еij*:

*ni*

*Eij*



*ni* 

 *m*

*m*

*g*

*g*

*m*

*T MT*  *r Mr*  *p M p*  *l Nl*

 *r p l* , (4)

*W*

*3M*

де *Еij* – затрати сукупної непоновлюваної енергії *j*-го агрегату при виконанні

*i*-тої операції, МДж/га;

*п,* *m* – енергетичні еквіваленти витраченого палива і m-того технологічного матеріалу, МДж/га;

*gп , gм* – витрата палива і технологічних матеріалів, кг/га;

*т,* *r,* *p* – енергетичні еквіваленти години роботи трактора, робочих машин **r**-того типу і обладнання *p*-го типу МДж/кггод;

*Mт,Mr,Mp* – маса трактора, с.-г. машин і обладнання, кг;

*l* – енергетичний еквівалент праці персоналу, МДж/год;

*Nl* – число працюючих *l*-тої категорії, чол.;

*Wзм* – змінна продуктивність агрегату, га/год.

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

прямі питомі витрати *Сп***,** грн./га

приведені витрати *П*, грн./га

*Сп= Соп+ Спмм+ Ср+ Скто***;** (5)

*П = Сп+ ЕнК,* (6)

де *Соп, Спмм* – питомі експлуатаційні витрати коштів відповідно на оплату праці та паливно-мастильні матеріали, грн./га;

*Ср, Скто* **–** відрахування на реновацію технічних засобів, капітальний ремонт і технічне обслуговування, грн./га;

*Ен* **–** нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень (*Ен***=** 0,15);

*К* –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 (*qп,* кг/га).

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

*Ешij= Ег + Аf +*  *Axp*, (7)

p

де *Ешij*– загальні шкідливі наслідки *і*-тої операції, що реалізована на базі *j*-го агрегату, МДж/га;

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

*Axp* – шкідлива дія засобів хімізації, МДж/га.

Отже, критеріями синтезу раціональної ТхСО можуть бути: продуктивність системи (*Wo*), узагальнений показник якості **(***О*), ресурсомісткість операції (*ЕО*), узагальнений показник шкідливих наслідків операції (*ЕШ*). Інколи замість ресурсомісткості в ролі критерію можуть виступати прямі або приведені грошові витрати (*Сп, П*), 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 (*Wо* і *EО*). Застосування відносних критеріїв (наприклад, відношення *Wо/EО*)

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 обгрунтування 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.

Обгрунтування 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

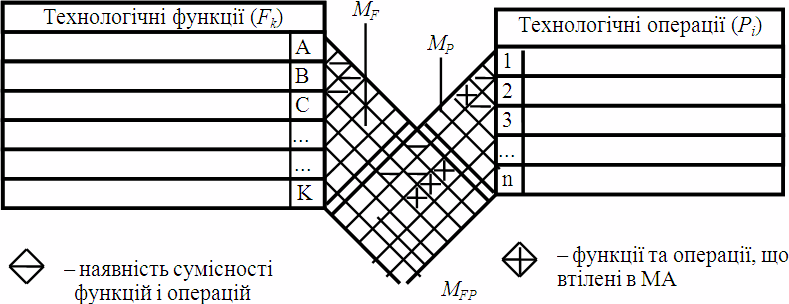
такою ширшою системою може бути технологічний цикл робіт (основний і передпосівний обробіток ґрунту, сівба, догляд, збирання). Приклад побудови матриці зв’язків наведений на рис. 1.

Рис. 1. Cхема побудови матриці взаємозв’язків технологічних функцій і операцій: *МF* – підматриця сумісності функцій; *МP* – підматриця сумісності операцій; *МFP* – 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 відстутність 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 *[Рi:Fj],* де *Pi* - *і*-та проста операція; *Fj* - *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:АВС*].

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

*T*

 *W 3M*

*j*

*j n j*  *W 3M*

, (8)

де *WT*

*3M*

* необхідний змінний темп робіт, га;

*W 3M j*

* змінний виробіток *j*-го агрегату, га;

*nj* – 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 обгрунтування потрібної кількості агрегатів для своєчасного виконання робіт. Якщо в господарстві є можливість сформувати певну кількість однакових за продуктивністю агрегатів, то з умови

* 1. їх число визначається як

*T*

*W*

 *3M ,*

*n*

*W 3M* *H*

(9)

де *Wзм.н* – 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 (Ксв**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 (*n1ф*  *n1*), то визначають обсяг робіт, який буде виконаний наявними агрегатами:

 *1 n 1™ W*



*1 T 3M*

*k 3M*

*D p* . (9)

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

*n*     *1 .*

*W*

*T*

(10)

*2 3M k D*

*2*

*3M p*

І так до моменту, коли буде забезпечена умова своєчасного виконання всього обсягу робіт, тобто *j=* *.*

Узагальнений показник якості та своєчасності технологічної операції можна визначити за формулою

*n*

*k Я*  *k Cb*    *i pi;*

*1*

де *kcв* – коефіцієнт своєчасності робіт;

*і*  *1...п ;*



    *1 ,*

*1*

(11)

*і* – вагомість *і*-го нормативного показника якості;

*pi* – імовірність дотримання нормативних значень *і*-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 *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.

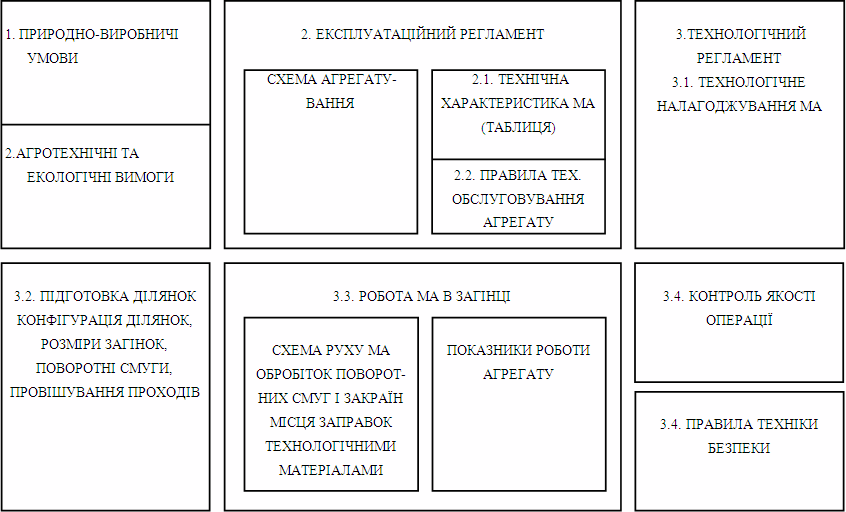
Технологічний і експлуатаційний регламенти є інформаційними складовими технологічної документації, зокрема, операційно-технологічної карти, якою завершується процес проектування операцій (рис. 2).

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 ресурсоощадності забезпечується суміщенням операцій, підвищенням коефіцієнта корисного використання технологічних матеріалів та енергії, вибором відповідних технічних засобів. Оцінка ресурсоощадності 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.

ЛЕКЦІЯ № 3

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 пожнивних рештків, розпушування, ґрунтопоглиблення і вирівнювання поверхні ґрунту. Спроектувати 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 *F1=140 га*, *F2=60 га*, довжини гонів відповідно *L1=700м*, *L2=400м*, ґрунти – середнього класу (питомий опір плуга *kпл=50кПа*). Роботи потрібно завершити за *D=6* робочих днів при коефіцієнті змінності *kзм=2*. Коефіцієнт сприятливих для оранки погодних умов в даному календарному періоді становить *kп=0,95*.

Згідно з умовою задачі критеріями вибору раціональних МА є денний темп робіт *Wд* (формула 1.4) і витрата палива *Gп* на весь обсяг робіт, тобто

*(Wд=**Dр=**Dkп)*  *(Тзмkзм**Wjnj=14**Wjnj) і Gп* *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: лущіння дискове і лемішне, оранка, щілювання, 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).

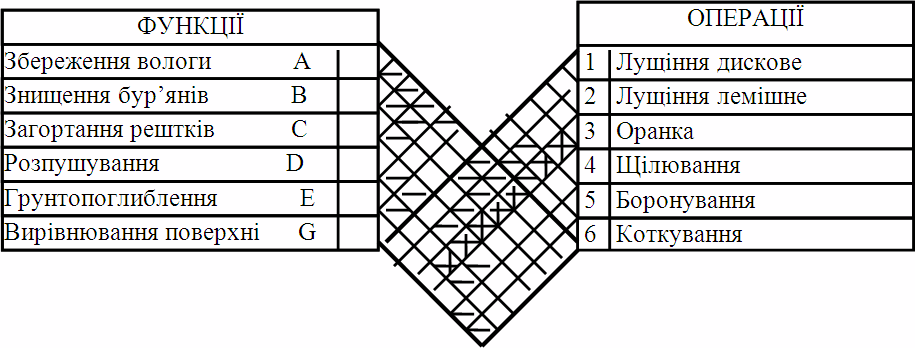


Рис. 1. Матриця зв’язків “функції – операції” для обробіку грунту під цукрові буряки. Прийнятий варіант: оранка з ґрунтопоглиблювачами і боронування [3,5:A,B,C,D,E].

Аналіз матриці взаємозв’язків дозволяє сумістити лемішне лущіння 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 *Wj* та витрата палива *Gп*) 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

*Ra= kплBpпh + Rгnг+ kбВрб* **,** (1)

де *Ra, Rг* – опір агрегату та лапи грунтопоглиблювача, кН;

*kпл, kб* **–** відповідно питомий опір плуга і борін (*kпл=50кПа, kб= 0,4 кН/м*);

*Bpп, Bpб* – ширина захвату плуга і борін, м;

*h* – глибина оранки, м;

*nг* **–** число грунтопоглиблювальних лап.

При встановленні грунтопоглиблювальних лап на 12–15 см глибше від оранки опір однієї лапи становить *Rг* *1 кН*. Тоді опір агрегату К-701+ПТК-9- 35+3БЗСС-1 становитиме

*Ra1= 50**3,15**0,25 + 1**9 + 0,4**3 = 49,575 кН*.

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

на 3-й передачі ІІ-го режиму – *Рн1=55,2кН, vp1=9,3 км/год*;

на 2-й передачі ІІI-го режиму – *Рн2=60,0кН, vp2=8,5 км/год*.

Тоді ступінь використання тягового зусилля при оранці на цих передачах дорівнює: *1= Ra1/Pн1= 49,6/55,2 = 0,90;*

*2= Ra2/Pн2= 49,6/60,0 = 0,83.*

Cтупінь нерівномірності тягового опору при оранці є значним *(**R=0,12– 0,25*), тому рекомендоване значення показника використання тягового зусилля

*= 0,85*. Отже, приймаємо 2-гу передачу ІІI-го режиму, на якій з урахуванням буксування робоча швидкість *vp= 8 км/год*.

Змінний виробіток МТА визначаємо за формулою

*Wзм=0,1**Вр* *vp**Тзм* , (2)

де *Вр* – робоча ширина захвату,м;

*vp* – робоча швидкість руху МТА, км/год;

*Тзм*– нормативна тривалість зміни, год;

 **–** коефіцієнт використання часу зміни.

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

*Wзм= 0,1* *3,1* *8,0*  *7*  *0,7 = 12,0 га.*

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

*qп= Gпзм /Wзм= 1/Wзм(GпрТр+ GпхТх+ GпзТз),* (3)

де *Gпзм* – витрата палива за зміну, л;

*Gпр, Gпх, Gпз*– значення годинної витрати палива відповідно на робочому ході, холостих поворотах і переїздах, при зупинці агрегату з працюючим двигуном, л/год;

*Тр, Тх, Тз* – 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+3БЗСС-1 *Gпр= 41кг/год = 50л/год*, *Gпх=27,5 л/год, Gпз=5л/год*. Час простоїв з працюючим двигуном *Тз=0,6год*, коефіцієнт поворотів

*rпов= vp**tпов/3,6**Lг = 8,7**50/3,6**550=0,22*;

коефіцієнт переїздів з ділянки на ділянку

*rпер=(tхп+Lпер/vтр)**Wг/Fпc=(0,07+1/8,5)**13,2/7**100=0,002.*

У цих формулах: *tпов, tхп* **–** час одного повороту та підготовки до переїзду;

*Wг* **–** годинна продуктивність МТА;

*Lг, Fпc* – середня довжина гону та площа ділянки.

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

*qп=1/13,2 (50**4,9+27,5**0,222**4,9+5**0,6)=20,8 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 (*fq = 1/qп*). 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 (*Wд=**Dkп=200/6**0,95=35,1га*).

Таблиця 1

Дані двокритеріальної оцінки агрегатів

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Склад агрегату | *Wзм*  га | *q* л/га | *fq = 1/q*  га/л |  | 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:

*Wд=* *Wзмj* *kзм= 12*  *2 + 5,8*  *2=35,6*  *35,1.*

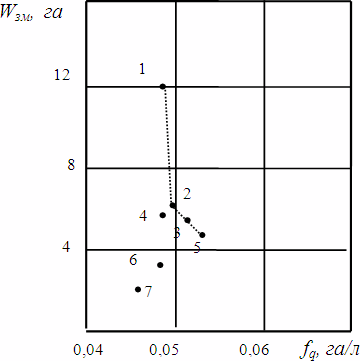


Рис. 4. Поле двокритеріальної оцінки МТА. Нумерація альтернатив згідно з табл.3. {1,2,3,5} – множина Парето.

За встановлений термін (*D=6днів*) 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=140га, Lг=700м*), а за другим – менше (*F=60га, Lг=400м*). 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:

*Сопт= 1,41**Вр*

*1110*  *2 L B*

Згідно з розрахунками отримуємо ширину загінки:

*.* (4)

для агрегату К-701+ПТК-9-35+3БЗСС-1 *Сопт1=172,7 м*, а з умови кратності подвоєній ширині захвату – *С1=28**2**3,1=173,6 м*; для Т-150+ПЛН-5- 35-6+2БЗСС-1 – *Сопт2= С2= 95,2 м*.

Ширина поворотних смуг (*Е*) встановлюється виходячи з радіуса повороту агрегату і умови їх обробітку парним числом проходів. Для агрегату К-701+ПТК-9-35+3БЗСС-1 *Е1=24,8 м*; для Т-150+ПЛН-5-35-6+2БЗСС-1 – *Е2=20,4 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.

ЛЕКЦІЯ №4

ТЕМА: ПРОЕКТУВАННЯ МЕХАНІЗОВАНИХ ПРОЦЕСІВ

ПЛАН ЗАНЯТТЯ

## Загальне формулювання задачі.

* + 1. **Методика проектування механізованих процесів.**

## Приклад розрахунку механізованого процессу.

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, потокові 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:

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

1. **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 обгрунтування структурно-функціональної схеми процесу (її називають також технологічною схемою). Розрізняють прямоточну, перевантажувальну 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 прямоточної 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 прямоточної схеми можна встановити, виходячи з мінімально допустимого значення коефіцієнта використання часу зміни *[**зм]min* основним агрегатом. Його значення зумовлене вимогами своєчасності робіт і економічними міркуваннями (окупністю додаткових витрат коштів). На величину *зм* основного агрегату при прямоточній схемі впливає, насамперед, відстань переїздів від поля до складу технологічних матеріалів. Для розподільчих процесів гранична відстань переїздів *[lтр]max*, при якій *зм*  *[**зм]min*, становить:

*l*  

*1*   *пц*

* *lxn*  *1*

 *G*  *t*  *G*

*vтр ,*

(1)

*тр* 

*зм* *min Lг*

*пн 2*

*0 H*

де *пц* – частка позациклового часу в загальній тривалості зміни;

*W*

*W*

*lхп, Lг* – відповідно, довжина повороту і гону;

*G* – вантажопідйомність основного агрегату;

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

*Wн* – продуктивність навантажувальних засобів;

*tпн* – час підготовки до навантаження;

*vтр*– середня за рейс транспортна швидкість.

Отже, якщо відстань транспортування технологічних матеріалів перевищує встановлене за формулою (20) граничне значення (***l***трф  [***l***тр]max), то приймається перевантажувальна схема розподільчого процесу. У випадках, коли ***l***трф  [***l***тр]max – прямоточна.

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

*n1W1=n2W2=*  *=nmWm* , (2)

де *n1, n2,...,nm* – число технічних засобів окремих ланок процесу;

*W1, W2,..., Wm* **–** продуктивність технічних засобів.

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

*nтр= noWo(1 – kпро)/Wтр(1 – kпрт)*. (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:

*n*

*Рл*= *qi* , *і=1,...,n,* (4)

*i* *1*

де *Рл* – імовірність безвідмовної роботи лінії;

*qi* – імовірність безвідмовної роботи *і*-тої машини технологічної лінії, яку числово можна прийняти рівною значенню коефіцієнта готовності машини.

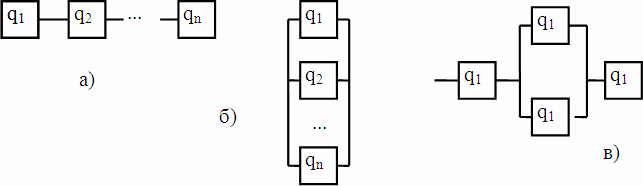


Рис. 1. Схеми взаємодії технічних засобів у механізованому процесі: а – послідовна; б – паралельна; в – змішана

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

*kг= Тр/(Tp+Tв) ,* (5)

де *Тр* і *Тв* – 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 (*Рп*), визначається за формулою

*n*

*Рп= 1 –*  *pi* , (6)

*i* *1*

де *рі* – імовірність відмови *і*-тої машини (*рі= 1 – qi*).

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

*Рз= Рл Рп.* (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 *kотн* визначається як

*kотн= kг kорг ,* (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 *kD* враховує організаційно-технологічну надійність і можливість несприятливих погодних умов:

*kD= kотн kм ,* (9)

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

1. **Приклад розрахунку механізованого процессу.** У господарстві на площі *200 га* потрібно внести мінеральні добрива з нормою витрати *Н=0,2 т/га*. Поле площею *F1=130 га* розташоване на відстані *lтр1=6 км* від складу мінеральних добрив, а поле з *F2=70 га* – на відстані *lтр2= 3 км*. Середня довжина гону полів *Lг= 500 м*. У господарстві є машина для внесення добрив МВУ-5, подрібнювач добрив АИР-20, трактор ЮМЗ-6АКМ, автомобіль ГАЗ- САЗ-4509 вантажопідйомністю *Ga=4 т*. Коефіцієнти готовності агрегатів: для внесення добрив *k1=0,95*, транспортування – *k2=0,98*, подрібнення – *k3=0,97*. Вибрати раціональну схему й оцінити надійність механізованого процесу.

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

мінімально допустимому значенні коефіцієнта використання часу зміни

[]min=0,65. Гранична відстань переїздів для прямоточної схеми становить:

*l*  

*1*   *пц*

* *lxn*  *1*

 *G*  *t*  *G*

*vтр* 

*тр* 

*зм* *min Lг*

*пн 2*

*0 H*

  *1*  *0,12*  *28*

*W*

*W*

 *1* *5*

 *0,03*  *5*

  *20*

 *4,55км.*

 *0,65*



*500*



 *10*  *0,2*



*20*  *2*

У розрахунках прийняті такі значення змінних:

частка позациклового часу в тривалості зміни (комплектування МТА, щоденне ТО тощо) становить *пц=0,12*; продуктивність за годину основного часу *W0=0,1Bpvp=10 га/год*; середня транспортна швидкість агрегату (з вантажем і без вантажу) *vтр=20 км/год*. Інші дані прийняті з технічних характеристик агрегатів.

Таким чином, для обробітку другого поля (*F2=70 га, lтр2=3 км*) прямоточна схема є доцільною (*l*тр2  *l*тр), тоді як для внесення добрив на першому полі доцільною буде перевантажувальна схема.

Проводимо узгодження технічних засобів процесу внесення мінеральних добрив за продуктивністю.

У прямоточній 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:

*Wзм1= 0,1Bpvp**зм= 0,1**10**10**0,7 = 7,0 га/год*,

за витратою добрив

*Wмзм1 = Wзм1* *Н = 7,0**0,2 = 1,4 т/год*.

Продуктивність агрегату АИР-20 за годину змінного часу при подрібнення та завантаженні становить *Wзм2= 20 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 *зм*:

*W’ = 0,1B v*  *= 0,1**10**10**0,85 = 8,5 га/год ,*

*зм1 p p зм*

*Wмзм1 = Wзм1* *Н = 8,5**0,2 = 1,7 т/год.*

Тривалість транспортного рейсу становить

*tтр=tпн+tн+tп= tпн + G/Wн+ 2lтр/vтр= 0,03+5/20+2**6/25=0,76 год.*

За умови завантаження основного МТА одним автомобілем (*Ga=4 т*)

тривалість спорожнення кузова становитиме

*tоп= G/ Wмзм1= 4/1,7 = 2,35 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:

*n n*

*Р*л=*qi* =*k‹ i = 0,95**0,97= 0,92*;

для перевантажувальної

*i**1*

*i**1*

*n*

*Рл*= *k‹ i i* *1*

= *0,95**0,97**0,98 = 0,90*.

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

ЛЕКЦІЯ №5 ТЕМА: ВИБІР РЕСУРСООЩАДНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

ПЛАН ЗАНЯТТЯ

## Загальне формулювання задачі.

1. **Математична модель і методика розв’язку задачі.**

## 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.

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

*Еij = eпj +*

 *em m*

* *elij + e Aij*

*Wrij*

*,* (1)

де *Еij* – витрати сукупної непоновлюваної енергії, Дж/га;

*eпj, em* – енергетичні еквіваленти відповідно погектарної витрати палива *j*-

тим агрегатом та витрати технологічних матеріалів *m*-го типу, Дж/га;

*elij* – енергетичний еквівалент праці людей, Дж/год;

*eАij* – енергоємність МА за годину роботи, Дж/год;

*Wrij* – продуктивність МА за годину змінного часу, га/год.

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

*ек =* *к Мк,* (2)

де *ек* – кількість сукупної енергії, що міститься в *к*-му матеріальному ресурсі, Дж/га;

*к* – енергетичний еквівалент одиниці *к-*го ресурсу, розмірність якого залежить від одиниць *Мк*; (Дж/кг, Дж/л);

*Мк* – кількісна характеристика витрати ресурсу (масова, об’ємна) , кг/га,

л/га.

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

*еlij =* *o no +* *д nд ,* (3)

де *o,* *д* – коефіцієнти переводу в енергетичні одиниці праці основних і допоміжних працівників, Дж/год;

*no, nд* – кількість основних і допоміжних працівників.

Енергоємність МА *еAij* (Дж/год) у спрощеному вигляді виражається залежністю

*еAij =* *Tj MТ +* *Mi MМi* , (4)

*i*

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

*Mтj, Mмi* – маса *j*-го трактора та *і*-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:

*Еu =* *оп Uоп +* *пп Uпп* , (5) де *оп,* *пп* – енергетичні еквіваленти одиниці основної та побічної продукції, Дж/кг;

*Uоп,Uпп* – врожайність основної та побічної продукції, кг/га.

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

*КЕТ = (**оп Uоп +* *пп Uпп) /* *Еij*  *max.* (6)

*i*

Умовами раціонального вибору будуть: досягнення запрограмованого врожаю

*оп Uоп +* *пп Uпп*  *ЕUп* , (7)

своєчасне виконання технологічних операцій

*Di =* *i /* *Wij*  *Dопт і* , (8)

*j*

де *ЕUп* – запрограмований урожай в енергетичних одиницях, Дж/га;

*Di, Dопт і* – фактична і оптимальна тривалість виконання *і*-тої операції,

днів;

*i* – обсяг робіт *і-*тої операції (га, т, ткм);

*Wij* – денний виробіток *j*-го МА на *і*-тій операції.

Таким чином, модель розв’язку задачі передбачає досягнення

фіксованого (запрограмованого) врожаю з мінімальними сукупними затратами енергії *(**Еij*  *min*), що забезпечує максимум коефіцієнта енергетичної ефективності технології (*КЕТ*  *max*).

Доцільно виділити два етапи аналізу існуючої технології вирощування c.- 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.

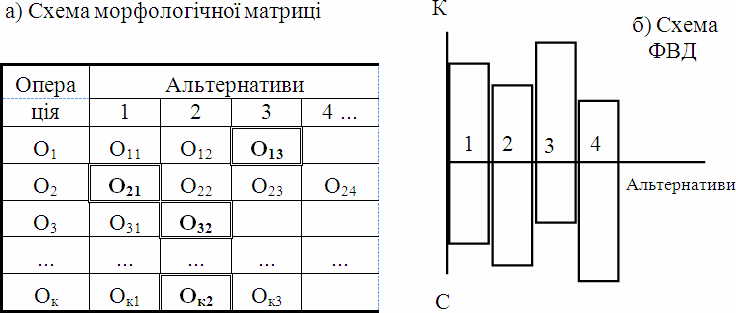
Детальний аналіз технологічних операцій доцільно проводити з використанням окремих процедур функціонально-вартісного аналізу (ФВА). Так, множину альтернативних варіантів технологічних операцій зручно подавати у вигляді морфологічної матриці (рис. 1, *а*), а оцінку їх корисності та ресурсомісткості –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

Рис. 1. Схеми побудови морфологічної матриці (а) та функціонально-вартісної діаграми (б). Умовні позначення: *Оij* – *j*-тий варіант *і*-тої операції; *К* – корисність операції; *С*– 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 ресурсоощадної технології в цілому.

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

Вихідні дані: площа *F=100 га*, середня площа ділянок *Fд= 50 га*, довжина гонів *Lг=600 м*, рельєф рівнинний; запрограмована урожайність коренеплодів *Uо= 350 ц/га*, гички – *Uд= 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 найвагоміший 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 ресурсоощадної 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 ресурсоощадної технології здійснюється вибір раціональних складів МТА за критеріями: продуктивність *Wг* (га/год) і питома енергомісткість *еAп* (Дж/га). Останній показник визначається діленням *еAij* (формула 4) на годинну продуктивність *Wг*. 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 | Альтернативні варіанти МА та їх показники | | |
| операція | 1 | 2 | 3 |
| Ранньовесняне боронування | ДТ-75М + СГ-21 +  + 21БЗТУ + 36БП-0,6  W11=9,1га/год еА11=50 МДж/га | Т-150 + СГ-21 +  +21БЗТУ+ 36БП-0,6  W12=11,9 га/год еА12=39 МДж/га | Т-70С + СП-11 +  + 12БЗТУ + 36БП-0,6  W13= 5,5 га/год  еА13= 47 МДж/га |
| Шлейфування | ДТ-75М + СГ-21 +  + 8 ШБ-2,5  W21=8,2 га/год еА21=54 МДж/га | Т-70С + СП-11 +  + 4 ШБ-2,5  W22= 4,6 га/год  еА22= 48 МДж/га | МТЗ-80 + СП-11 +  + 4ШБ-2,5  W23= 5,0 га/год  еА23= 39 МДж/га |
| Внесення мінеральних добрив | МТЗ-80 + МВУ-5  W31=6,8 га/год еА31=32 МДж/га | Т-70С + СТТ-10  W32=8,2 га/год еА32=29 МДж/га | Т-70С+УСМК-5,4Б+  +ПОМ-630-1  комплексний обробіток: |
| Внесення гербіцидів | МТЗ-80 + ОПШ-15  W41=3,6 га/год еА41=125 МДж/га | Т-70С + ПОМ-630  W42=3,6 га/год еА42=72 МДж/га | локальне внесення доб- рив, стрічкове внесення гербіцидів, передпосівна |
| Передпосівна культивація | ДТ-75М + РВК-3,6  W51=3,0 га/год еА51=97 МДж/га | Т-70С + УСМК-5,4Б  W52=3,2 га/год еА52=62 МДж/га | культивація W53=2,6 га/год еА53=134 МДж/га |
| Сівба із внесенням добрив | Т-70С + ССТ-12А  W61=1,7 га/год еА61=135 МДж/га | Т-70С + ССТ-12В  на кінцеву густоту W62=1,8 га/год еА62=127 МДж/га | – |
| Проріджування Сходів | МТЗ-80 + УСМП-5,4  W71=2,6 га/год еА71=120 МДж/га | Вручну W73=0,02 га/год еА73=100 МДж/га | Не проводиться |
| Перевірка сходів | Вручну W82=0,04га/г еА82=90 МДж/га | Не проводиться | – |

Енергомісткість агрегатів *ЕА* за своєю суттю близька до показника матеріаломісткості і не враховує витрат технологічних матеріалів. Порівняння операцій за показником *Ео* дає повну інформацію про їх ресурсомісткість. Зокрема, суміщення операцій внесення мінеральних добрив, внесення гербіцидів і передпосівної культивації порівняно з роздільними операціями забезпечує зниження витрати палива більше ніж на 40 %. Ще більший ефект досягається при локальному внесенні добрив і стрічковому внесенні гербіцидів. Ці технологічні прийоми дозволяють удвічі знизити витрату добрив і втричі – гербіцидів при досягненні 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 | Склад МТА | Про- дуктив | Кіль- кість | Прямі вит- рати на 1га | | Енергоємність, ГДж/га | | | | |
| операція | ність,  га/год | МТА | пали-  ва, кг | пра-  ці, год | тех-  ніки | пали-  ва | техн. ма-  теріалів | праці | Всього |
| Внесеня 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 культивація | 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 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| культивація з  локальним | Т-70С +  +ПОМ-630- | 2,6 | 1 | 5,1 | 0,38 | 0,134 | 0,269 | 7,407 | 0,479 | 8,289 |
| внесенням МД | 1+УСМК-5,4Б |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| і стрічковим внесенням | (з орієн- таторами) |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| гербіцид. |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Перший передбачає суцільне внесення добрив агрегатом

МТЗ-80+МВУ-5 і гербіцидів агрегатом Т-70С+ПОМ-630 з наступною передпосівною культивацією 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 культивацію. 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 ресурсоощадної технології.

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

*КЕТ = (2,55*  *35000 + 1,67*  *20000) / 53232 = 2,3.*

Для ресурсоощадної технології сукупні витрати енергії *Еі* знижуються майже на *40 %* і складають *31940 МДж*. Відповідно коефіцієнт енергетичної ефективності технології становить:

*КЕТ = 122650 / 31940 = 3,84.*

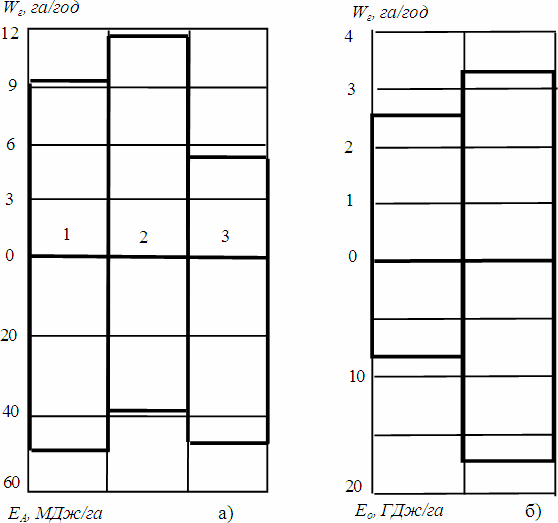


Рис. 2.Функціонально-вартісні діаграми оцінки агрегатів (а) – за табл. 2 і операцій (б) – за табл. 3. Умовні позначення: *Wг* – продуктивність за годину змінного часу; *ЕА, Ео* – сукупна енергомісткість агрегату і операції.

ЛЕКЦІЯ №6

ТЕМА: ПРОЕКТУВАННЯ СКЛАДУ КОМПЛЕКСІВ МАШИН І МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКУ

ПЛАН ЗАНЯТТЯ

## Загальна характеристика задачі

1. **Математична модель оптимізації складу технічних засобів**

## Методика підготовки банку даних.

1. **Організація розв’язку задачі на ПЕОМ.**
2. **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.

Обгрунтування набору техніки та стратегії її ефективного використання потрібно розглядати для кожного господарства окремо з урахуванням його природно-вироничих 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 (*З**min*), мінімум капіталовкладень (*К**min*), мінімум приведених затрат коштів (*С**min*), мінімум витрати палива (*Gп* *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.

1. **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 сільськогосподаських 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

*R0j = rij**j/Wij* **,** (1)

де *R0j* – затрати ресурсів на весь обсяг робіт *j*-тої операції;

*rij* – годинні затрати при роботі *і*-го агрегату на *j*-ій операції;

*Wij* – годинна продуктивність *і*-го агрегату на *j*-ій операції, га (т, ткм);

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

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Обсяг робіт при виконанні *j*-ої операції дорівнює: |  |
| *j =Fk kj ,* | (2) |
| де | *Fk* **–** площа вирощування даної с.-г. культури, га; |  |
|  | *kj* **–** коефіцієнт, який враховує обсяг робіт на одиниці площі. |  |
|  | Коефіцієнт *kj* визначається для польових технологічних операцій як  *kj =* *j,* | (3) |

для навантажувально-розвантажувальних операцій

*kj =* *jH,* (4)

для транспортних операцій

*kj =* *jHL,* (5)

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

*Н* – 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 *j***,** можна визначити годинні обсяги робіт:

*j = Fkkj/Tj ,* (6)

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

Тоді

*Rj = Tij Fkkj/Wij* **.** (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

*BT* 

 *R*

*=1*

*B*

*Pд*

, (8)

де *Вт* – максимальна теоретична ширина захвату, м;

*R**–* опір машини -го типу, що входить до складу МТА, кН;

*В* – конструктивна ширина захвату машини  -го типу, м. Тоді кількість *Z* машин -го типу в агрегаті дорівнює:

*Z* *= int**=1 (Вт/В**).* (9)

Продуктивність машинно-тракторних агрегатів на польових операціях визначається за формулою

*WT = 0,36B**Vp* *,* (10)

на навантажувально-розвантажувальних операціях:

*WH = W ’* , (11)

*H*

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

*В* – конструктивна ширина захвату агрегату, м;

 **–** коефіцієнт використання ширини захвату;

*Vp* **–** робоча швидкість агрегату, м/с;

 **–** коефіцієнт використання часу зміни;

*WH* – продуктивність навантажувачів, т/год;

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

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

*Wтр = Q*  *L / tц, ткм/год*, (12)

де *Q* – вантажопідйомність транспортного засобу, т;

 **–** коефіцієнт використання вантажопідйомності**;**

*L* **–** віддаль перевезення вантажу, км;

*tц* – тривалість циклу, год.

Знаючи годинні обсяги робіт і продуктивність машинних агрегатів (МА),

визначають необхідну їх кількість для виконання операції:

*xij = int (**j/Wij)+1,* (13)

де *int(**j/Wij)* – позначення цілочисельності *j/Wij.*

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

Затрати робочого часу при виконанні операцій визначаються за формулою

 *ni Ti*

*H*  *i* *1 , год/га ткм.* (14)

*Wij*

Тоді затрати на загальний обсяг робіт будуть рівні:

  *j* 

*rij T j int*   *1* 

*n*  *W* 

*R*   *ij*  *.*



*j S*

(15)

*j* *1 k*

Послідовно збільшуючи площі вирощування сільськогосподарських культур *Fк = Fн +* *Fк* , 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 забезчує виконання запланованого обсягу робіт.

Обгрунтування 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

*0 S k 0*

*d j*  *k*  *dЂOп ,*

(16)

  *0* 

*W 0T k*

*int*  *j*  *1*

*ij Ќ“ Ќ“*

 *W 0* 

 *ij* 

а кількість агрегатів для її виконання становитиме:

*х о = int (**o / Wo + 1).* (17)

*ij j ij*

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

*dД = d ,* (18)

*j j*

тоді кількість агрегатів для виконання допоміжної операції становитиме:

*хД = int (S ko / do WД N k + 1) .* (19)

*ij k j ij зм зм*

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

*dсj*  *dо .* (20)

*j*

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

*хсij = int (Skkс / dсjWсijNзмkзм + 1) ,* (21) де *хоij, xДij, xcij* **–** кількість агрегатів, необхідних для виконання відповідно основної, допоміжної та суміжної операції;

*Sk* – площа вирощування с.-г. культури;

*ko, kД, kc* – кратність виконання відповідних операцій;

*dДОП* – допустима за агротехнічними вимогами тривалість виконання заданого циклу робіт;

*dоj, dДj, dсj* **–** тривалість виконання відповідних операцій;

*Wоij, WДij, Wcij* – продуктивність агрегатів відповідно на основній, допоміжній і суміжній операціях;

*оj,* *Дj,* *сj* **–** годинний обсяг робіт на відповідних операціях;

*kзм* **–** коефіцієнт змінності.

Важливим показником при виборі кількості агрегатів для виконання механізованих робіт є коефіцієнт використання агрегату *Каij*, який визначається із залежності:

*Каij = Skk / djWijTзмkзмхij*  *1.* (22) Аналіз залежності (22) показує, що при *Каij**1 хij* збільшує своє значення, тобто зменшення до деякого значення *dj* не призводить до зміни *хij*. 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 *Wcijn’ =*

*j*, де *n’ = 1,2,...,N*, величина *хij* змінює своє значення. Це означає, що в певних межах значення *dj* величина *хij* 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 агрегатування. Технологічний процес вирощування та збирання с.-г. культури складається із конечного числа *n* операцій. Тоді прямокутна матриця розміром *n*  *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 Kв).* Показники використання МА виражаються через *аij (i=1,2,...m; j=1,2,...n)*.

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

*S = ||aij|| = {Vij, Dij, dij, xij, Wij, Cij, Hij, Mij, Kвij, Kпij}.* (23) У свою чергу підмножина *хij*  *S* включає елементи, в які входять типи енергетичних засобів *t (t = 1,2,...,T)*, сільськогосподарських машин 

*(**=1,2,...,**)* та їх кількість в агрегаті *z*, тобто

*xij= {t,* *, z**}.* (24)

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

*A*  *opt*

*a11 a12 ...a1m*

*n a21 a22 ... a2m .*

*j**1 ... ... ... ...*

*an1 an2 anm*

(25)

Очевидно, що матриця А 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,...,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 *Dj* і тривалість *dj* виконання *j*-ої операції, визначається строк закінчення механізованої роботи *Djk*:

*Djk = Dj + dj + 1***.** (26)

Оскільки *xij* залежить від тривалості виконання операції, то, знайшовши суму кількості агрегатів за строками виконання робіт *l* (*l=Dj, Dj+1, ... , 365*) і операціями *j (j=1,2, ... ,n)* щодо кожного енергетичного засобу *t (t=1,2, ... ,T)*, одержимо:

*x11 x*

*x12 x*

*...*

*...*

*x1T x*

*T n j*

*D*

*k*

*xij*

 *21*

*... x365 ,1*

*22*

*... x365 ,2*

*...*

*...*

*2T*

*... x365T*

  *xl( j )* **.** (27)

*t* *1 j* *1 l*  *Dj*

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

*max t*

*x*

 *max*

*T*

*t* *1*

*xti .*

(28)

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

*x*

*T*

*H*



*3*

*t*

*t* *1*

*n*



*j**1*

*l( j )d*

*j TЌ“* *.*

(29)

Тоді річне завантаження одиничного енергетичного засобу кожного типу становитиме:

*H 3* 

*T*

 *n*





 *j* *1*

*x*

*l( j ) d*



*j TCM* 



*.*

(30)

*t* 





*t* *1*

*max* 

*t* 

*x*



Аналіз одержаної залежності свідчить, що зменшення кількості енергетичних засобів *хtmax* 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 *хtmax* необхідно ввести поняття

“відсікаючої змінної *д*t“, початкове значення якої рівне:

*дt = хtmax – 1.* (31)

Розглядаючи елементи матриці (1.66) по кожному *t(t=1,2,...,T)*, знаходять значення *l*, для якого *хtl*  *дt***.** У цьому випадку із множини *хtl* для даного *t* i *l* знаходять таке значення (тобто таку операцію), для якого справедлива нерівність:

*хtl*  *хtmax – дt*. (32)

Такий пошук проводиться для всіх *t* по всіх *l*. Якщо нерівність (31) не підтверджується, то змінна *дt* 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*-ої роботи попередній агрегат, тобто частково звільнивши матрицю (27) від попереднього *t* по *Dj, Dj+1, ... ,Djk*, перевіряють її стан з новим *t*. Якщо у такому випадку справедлива нерівність (31), то матриця *А* перебудовується з урахуванням нововведеного агрегату. Перед цим перевіряють його взаємозв’язок з іншими агрегатами циклу робіт, у якому він знаходиться, і уточняють нові строки виконання робіт.

Кожний перерозподіл стану системи, яка розглядається, викликає нове значення матриці *А*. Тому на кожному етапі перерозподілу аналізується ця матриця для визначення випадку збільшення *ht*. 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” *дt* для всіх *t* прийме значення *дt=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

*T n Dk j*

*e*  *max*

*X*

*t l*

*t* *1*

 *xl*  *j*  *.*

*j**1 l* *Dj*

(33)

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

 *n Dk j*  

*e*

*X*  *max*

*l*

 *1*

 *xl*  *j* *z*

*j**1 l* *D*

**.** (34)

*j*

Виділивши з набору операцій ті, що використовуються при вирощуванні та збиранні окремих с.-г. культур, і прийнявши, що  – номер першої операції, а  – кількість операцій по культурі, визначають раціональні комплекси машин

щодо окремих культур. Для цього необхідно, використавши (32) і (33), взяти суму по *і* так, що *і=**,* *+1, ... ,* *+**.* 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

де *Ke* – критерій ефективності;

*F = opt*

*i*

*Ke = f(S(dio)),* (35)

*S(dio)* – 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.

1. **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).
2. **Організація розв’язку задачі на ПЕОМ.** Для організації розв’язку задачі на ПЕОМ необхідно мати пакет програм, який складається із двох блоків: OMTP1.EXE і OMTP2.EXE та вхідні параметри (банк даних) у вигляді чотирьох файлів: OMTPENER.DAT, OMTPARGO.DAT, OMTPKULT.DAT, OMTPTEXN.DAT. Після запуску послідовно першого блоку OMTP1.EXE і другого блоку програм OMTP2.EXE на екрані монітора ставиться ряд запитань, на які необхідно дати відповідь. Результати роботи першого блоку є у файлах OMTPUR0.REZ і OMTPUR1.REZ, які містять основні техніко-економічні показники роботи конкуруючих агрегатів, а результати другого блоку (файл OMTPUR2.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. пара- метр, кН; т;  кг/с | Потуж- ність, кВт | Питом. витрата палива, г/кВт.год  (г/км) | Експл. маса, т | Балан- сова варт., грн. | Світо ва ціна,  $ | Нормат річне завант. год | Норма відрах. на віднов- лення,  % | Норма відра- хувань на кап. ремонт,  % | Норма відрах. на поточ. ремонт,  % | Коеф. переве дення 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 4х4;3–колісні трактори 4х2 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/кВт.год; 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). |

Таблиця 2

Сільськогосподарські машини

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Марка c.-г. Маши- ни | Тип | Основ ний пара- метр, т; кг/с | Макс роб. швид., км/год | Маса с.-г. маш.,  т | Баланс. варт., грн. | Світо ва ціна,  $ | Мінім пит. опір., кН/м  кПа | Потуж- ність на ВВП,  кВт | Норм річне заван таж.,  год | Обсл. персо нал чол. | Норма відрах на амор.,  % | Норма відрах на ТО і ПР,  % | Кіне- мат. дов- жина  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 |

№ кол

Зміст колонки

1. Марка сільськогосподарської машини (текстова інформація розміром не більше 10

знаків).

1. Тип с.-г. машин: 0– комбайни; 1 – тягові причіпні; 2 – плуги; 3 – тягово-привідні; 4 – хедери; 5 – навантажувачі; 6 – тракторні причепи та машини їм подібні (розкидачі добрив тощо); 7 – автомобільні причепи; 8 – зчіпки; 9 – начіпні машини, крім типу 5. (Цифровий індекс розміром 00).
2. 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).
3. Максимально допустима робоча швидкість, км/год. (Цифровий індекс розміром 00).
4. Маса сільськогосподарської машини, т. (Цифровий індекс розміром 00.00).
5. Балансова вартість сільськогосподарської машини, грн. (Цифровий індекс розміром

000000).

1. Світова ціна, $. (Цифровий індекс розміром 000000).
2. Мінім. питомий опір с.-г.м., кН/м (для плугів–кН/м2). (Цифровий індекс розміром 00.0).
3. Потужність на привід робочих органів від ВВП, кВт. (Цифровий індекс розміром 00.0).
4. Нормативне річне завантаження сільськогосподарських машин, год. (Цифровий індекс розміром 000).
5. Кількість обслуговуючого персоналу (крім водія або механізатора, який обслуговує енергетичну машину. (Цифровий індекс розміром 00).
6. Норма амортизаційних відрахувань, %. (Цифровий індекс розміром 00.0).
7. Норма відрахувань на поточний ремонт і ТО машини, %. (Цифр. індекс розміром 00.0).
8. Кінематична довжина машини, м. (Цифровий індекс розміром 00.0).
9. Час на технічне і технологічне обслуговування протягом зміни, год. (Цифровий індекс розміром 0.00).
10. Шифр с.-г. машини, що шифр співпадає з її порядковим номером. (Цифровий індекс розміром 000).

Таблиця 3

Характеристика сільськогосподарських культур і полів

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наз | Міт | Пло | Uо, | Uп, | Нод | Нмд | Lв | Lп | Lг | hор | Грунти | | Щільність | | Ці- | Винесення | | | № |
| ва | ка | ща, га | т/га | т/га | т/га | ц/га | км | км | м | см | Клас с | боні тет Б | оп,  т/м3 | пп,  т/м3 | на Б ц/б | N | P | K | с.-г. 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. Uо – урожайність основної продукції, т/га. (Цифровий індекс розміром 00.0).
5. Uп – урожайність побічної продукції, т/га. (Цифровий індекс розміром 00.0).
6. Нод – норма внесення органічних добрив, т/га. (Цифровий індекс розміром 00.0).
7. Нмд – норма внесення мінеральних добрив, т/га. (Цифровий індекс розміром 0.0).
8. Lв–відстань перевезень продукції всередині господарства, км.(Цифр. індекс розміром

00.0).

1. Lп – відстань перевезень продукції за межі господарства, км. (Цифр. індекс розміром

00.0).

1. Lг – довжина гонів, м. (Цифровий індекс розміром 0000).
2. hор – глибина оранки, см. (Цифровий індекс розміром 00).

12 Кл. грунтів за пит. опором, кН/м2:1–30; 2–37; 3–44; 4–52; 5–58; 6–65; 7–71; 8–78; 9–85

1. Бонітет грунту Б, балів. (Цифровий індекс розміром 00).
2. оп – щільність основної продукції, т/м3. (Цифровий індекс розміром 0.00).
3. пп – щільність побічної продукції, т/м3. (Цифровий індекс розміром 0.00).
4. Ціна бонітету, ц/б. (Цифровий індекс розміром 0.00).
5. Винесення азоту N, кг/т. (Цифровий індекс розміром 0.00).
6. Винесення фосфору P, кг/т. (Цифровий індекс розміром 0.00).
7. Винесення калію K, кг/т. (Цифровий індекс розміром 0.00).
8. Порядковий номер технології даної культури у таблиці 4. (Цифровий індекс розміром

00).

Таблиця 4

Технології вирощування і збирання сільськогосподарських культур

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Назва | | Міт- | | Поча | | Трива | | % |  | Фон | | Спо- | | Вид | | % | Шифр енергозасобу | | | | |
| оп-ції | | ка | | ток | | лість,  днів | | від  площі | | сіб  руху | | продук  ції | | від  прод | 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 – грунтова 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). |

ЛЕКЦІЯ №7 ТЕМА: ОПТИМАЛЬНИЙ РОЗПОДІЛ ТЕХНІКИ НА ОКРЕМІ ВИДИ РОБІТ, ЩО ВИКОНУЮТЬСЯ ОДНОЧАСНО

ПЛАН ЗАНЯТТЯ

## Загальне формулювання задачі.

* 1. **Математична модель і алгоритм розв’язання задачі.**

## 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 *Fi (i=1,...,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,...,n)* при виконанні *і*-ї операції становить *Wij.* Прямі виробничі затрати на одиницю роботи будуть рівними *Сij*. Кількість агрегатів з тракторами *j*-го типу – *nj*. Тривалість зміни у період, що планується, становить *Тзм* годин. Робота агрегатів організована в *kзм* змін. Знайти оптимальний план розподілу обсягу робіт за окремими агрегатами, який забезпечив би мінімальні виробничі затрати на виконання всього обсягу робіт *(**Сij* *min*).

1. **Математична модель і алгоритм розв’язання задачі.** Подамо умову сформульованої задачі у вигляді математичної моделі. Позначимо через *Xij* – 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

*m n*

*Z*  *Cij X ij* , (71)

*i**1 j* *1*

де *Сij* – 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 *Xij,* щоб величина *Z* була мінімальною.

Можливі значення *Xij* будуть мати цілий ряд обмежень. Зокрема *Xij* буде обмежене, в першу чергу, областю додатних чисел, тобто

*X ij*  *0; i*  *1,m, j*  *1.n* (72)

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

*n*



*Xij*  *Fij*,*i* 1,*m*. (73)

*j*1

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

*Фj*  *DknkзмT*зм*nj* , (74)

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

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

*t*  *Xij* . (75)

*W*

*ij*

*ij*

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:

*m*

*T*  *t*

 *m X ij*

*; j*  *1, n*

*j*  *ij*

*W*

*i*  *1*



*i*  *1 ij*

. (76)

Отже, третє обмеження стосується не перевищення тракторами *j*-го типу наявного фонду часу в заданому періоді. Його можна записати у вигляді

*T j*  *Ф j* , тобто

*m*



*i* *1*

*X ij*

*Wij*

 *Dk*

*n k зм*

*T зм n j ; j*

 *1, n*

. (77)

Тоді математичне формулювання задачі набуде вигляду: знайти мінімум цільової функції

*m n*

*Z*   *Cij X ij*

 min (78)

при наступних обмеженнях:

*i* 1 *j* 1

*X ij*  0,*i*  1, *m*, *j*  1, *n* ;

*n*



*j*  *1*

 *Fi ,i*  *1,m* ; (79)

*m*

# 

*i* 1

*X ij*

*Wij*

 *Dk*

*n k зм*

*T*зм *n j* ,

*j*  1, *n*

В розгорненому вигляді математичну модель задачі можна записати як

при

*Z*  *C11 X 11*  *C12 X 12*  *...* *Cmn X mn*

*X ij*  *0,i*  *1,m, j*  *1,n*

 *min*

(80)

*X 11*

*X 21*

 *X 12*

 *X 22*

 *...* 

 *...* 

*X 1 n*

*X 2 n*

 *F 1*

 *F 2*

*.......... ........*

*X m 1* 

*X m 2*

 *...* 

*X mn*

 *F m*

*X 11*

*W 11*

*X 12*

*W 12*

 *X 21*

*W 21*

 *X 22*

*W 22*

 *...* 

 *...* 

*X m 1*

*W m 1*

*X m 2*

*W m 2*

 *Dk*

 *Dk*

*n k зм*

*n k зм*

*T зм n j*

*T зм n j*

*..........*

*..........*

*.....*

*X 1 n*

*W 1 n*

* *X 2 n*

*W 2 n*

 *...* 

*X mn*

*W mn*

 *Dk*

*n k зм*

*T зм 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

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| X11 | X12 | ... | X1n | X21 | X22 | ... | Х2n | ... | Xmn | Знак  нерів- ності | Віль-  ний член |
| С11 | С12 | ... | С1n | C21 | C22 | ... | C2n | ... | Cmn |  | *Min* |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | = | *F1* |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | = | *F2* |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | *...* |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | ... | 1 | = | *Fm* |
| *1*  *W 11* | 0 | 0 | 0 | *1*  *W 21* | 0 | 0 | 0 | ... | 0 |  | *Ф1* |
| 0 | *1*  *W 12* | 0 | 0 | 0 | *1*  *W 22* | 0 | 0 | ... | 0 |  | *Ф2* |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | *...* |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | ... | *1*  *W mn* |  | *Фm* |

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.

1. **Приклад розв’язання задачі на ПЕОМ.** Протягом десяти днів *(D=10)* машинно-технологічною станцією (МТС) планується одночасне проведення таких операцій: внесення мінеральних добрив, оранка, культивація, 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 *Fi*, годинна продуктивність *Wij* кожного агрегату на *i*-й операції з *j*-м трактором, а також питома витрата палива *Gij* в кілограмах на гектар наведені в таблиці 2. Тривалість зміни у період, що планується, становить *Т=7 год*. Коефіцієнт змінності *kзм=1,5*.

Скласти план використання техніки, який забезпечуватиме своєчасне виконання заданого обсягу робіт з мінімальною витратою палива (*G*  *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 | |
| *Wij,*  га/год | *Gij,*  кг/га | *Wij*,  га/год | *Gij*,  кг/га | *Wij*,  га/год | *Gij*,  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 = 2,2X12 + 3,0 X13 + 14,4X21 + 13,3X22 + 15,7X23 +2,3X31 +…*

*+ 2,4X32 + 2,9X33 + 2,8X42 + 2,7X43*  *min*

при наступних умовах:

*1. Хij*  *0; i = 1,2,3,4; j = 1,2,3;*

*2. X12 + X13 = 320;*

*3. X21 + X22 + X23 = 320;*

*4. X31 + X32 + X33 = 180;*

*5. X42 + X43 = 250;*

*6. 0,50 X21 + 0,10 X31*  *105;*

*7. 0,05X12 + 1,00X22 + 0,15X32 + 0,19X42*  *210;*

*8. 0,08X13 + 2,5X23 + 0,36X33 + 0,5X43*  *315.*

Приведемо у відповідність позначення невідомих *Хij* з позначеннями програми **ПЛП-88** (табл. 3):

*X1 = X12 Х4 = Х22 X7 = X32 X2 = X13 X5 = X23 Х8 = Х33*

*X3 = X21 X6 = X31 X9 = X42 X10 = X43*

Таблиця 3

Модель задачі в матричній формі (матриця коефіцієнтів)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Х12 Х1 | Х13 Х2 | Х21 Х3 | Х22 Х4 | Х23 Х5 | Х31 Х6 | Х32 Х7 | Х33 Х8 | Х42 Х9 | Х43 Х10 |  | Віль- ний 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 *Т-150К* будуть зайняті повністю протягом *10-ти* днів (використання фонду часу на *100 %*), а три трактори *МТЗ-80* використають фонд часу лише на *40 %*. Це означає, що *2* трактори *МТЗ-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 випливає 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.

ЛЕКЦІЯ №8

ТЕМА: МІНІМІЗАЦІЯ СТРОКІВ ПРОВЕДЕННЯ МЕХАНІЗОВАНИХ РОБІТ

ПЛАН ЗАНЯТТЯ

## Загальне формулювання задачі.

1. **Математична модель задачі.**

## 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 *Fi ( i*  *1,m )*. Для цього можуть бути використані n різних типів агрегатів. Кількість агрегатів кожного типу – *nj ( j*  *1,n )*. Продуктивність *Wij* агрегата *j*-го типу при виконанні *і*-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.

1. **Математична модель задачі.** Для математичного формулювання задачі позначимо через *Xij* – обсяг роботи, що виконується агрегатом *j*-го типу при використанні його на *і*-тій операції, а через *Tj* – загальну тривалість використання агрегатів цього типу. Величина Tj визначається як

*m*

*T*  

*X ij*

, *j*  1, *n*

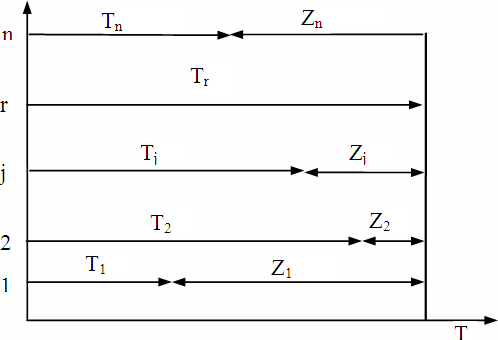
*j*

*i* 1

*Wij*

. (1)

*j*

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

n

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

Тоді загальна тривалість Т виконання заданого комплексу виробничих процесів у повному обсязі буде рівною максимальній із величин *Tj,* тобто

*T*  *max* *T* *, j*  *1,n* . (2)

*j*

Розв’язок задачі полягає в отриманні мінімально можливого значення *Т*,

тобто

*j*

*T*  *min*

*max* *T* *,*

*j*  *1, n* . (3)

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

Для конкретизації цільової функції допустимо, що з множини значень *Tj*

максимальним буде *r*-те значення. Тоді

*m*

*T*  *T r*  

*X ir*

 *min*

. (4)

*i*  *1*

*W ir n r*

Введемо додаткову змінну *Zj*, яка буде рівною різниці

*Z j*  *Tr*  *Tj*

(5)

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

Підставивши значення *Тr* і *Тj* у формули (4) і (5), отримаємо:

*Z*  *m X ir*  *m*

*X ij*

*j* 

*i*  1

*Wir nr*



*i* 1

*Wij n j*

. (6)

Межами зміни величини *Zj* будуть *O* і *Tr*, тобто *O*  *Z j*  *Tj* .

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:

*n*

 *X ij j* 1

 *Fi* , *i* 1, *m* .

Можливі значення *Хij* будуть обмежені тільки областю додатних чисел,

тобто

*X ij*  *O,i*  *1,m;*

*j*  *1,n* .

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

*T*  

*X ir* 

*min*

*i**1 W ir nr*

*m*

(7)

при обмеженнях:

1. *X ij*

 *0,i*  *1,m, j*  *1,n* ;

*m*

2. 

*i* 1

*X ij*

 *Fi* , *i*  1, *m* ;

*Z*  *m X ir*  *m*

*X ij* ,

*j*  1,2,..., *r*,..., *n*

3. 

*W*

*i* 1

*ir nr*



*i* 1

.

*ij n j*

*W*

**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 (*Т*

 *min*).

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

з трактором К-701

*Т1= Х21/n1W21 + X31 /n1W31 = Х21/1**2,0 + Х31/1**10,4;*

з тракторами Т-150К

*Т2=Х12/n2W12 + X22 /n2W22 + Х32/n2W32 + X42/n2W42=*

*=Х12/2**19,6 + Х22/2**1,0 + Х32/2**6,6 + Х42/2**5,3;*

з тракторами МТЗ-80

*Т3=Х13/n3W13 + X23 /n3W23 + Х33/n3W33 + X43/n3W43=*

*=Х13/3**12,1 + Х23/3**0,4 + Х33/3**2,8 + Х43/3**2,0.*

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

*Z1= T2 – T1 ; Z2= T2 – T3*

або

*Z1=Х12/n2W12+X22/n2W22+Х32/n2W32+X42/n2W42–(Х21/n1W21+X31/n1W31)=*

*=Х12/2**19,6+Х22/2**1,0+Х32/2**6,6+Х42/2**5,3–(Х21/1**2,0+Х31/1**10,4);*

*Z2=Х12/n2W12+X22/n2W22+Х32/n2W32+X42/n2W42–(Х13/n3W13+X23/n3W23+*

*+Х33/n3W33+X43/n3W43)=Х12/2**19,6+Х22/2**1,0+Х32/2**6,6+Х42/2**5,3–*

*-(Х13/3**12,1+Х23/3**0,4+Х33/3**2,8+Х43/3**2,0).*

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

*Т2 = Х12/2**19,6 + Х22/2**1,0 + Х32/2**6,6 + Х42/2**5,3*  *min,*

тобто *0,025Х12 + 0,5Х22 + 0,076Х32 + 0,094Х42*  *min*

при умовах:

*1. Х12+ Х13 = 320;*

*2. Х21+ Х22+ Х23= 320;*

*3. Х31+ Х32+ Х33= 180;*

*4. Х42+ Х43 = 250;*

*5. 0,025Х12 + 0,5Х22 + 0,076Х32 + 0,094Х42 – 0,50Х21 – 0,096Х31 = 0;*

*6. 0,025Х12+0,5Х22+0,076Х32+0,094Х42–0,028 Х13–0,82 Х23–0,12 Х33–0,17 Х43 = 0.*

Матриця коефіцієнтів цієї моделі наведена в таблиці 1.

Таблиця 1

Матриця коефіцієнтів

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Х12 | Х13 | Х21 | Х22 | Х23 | Х31 | Х32 | Х33 | Х42 | Х43 |  |  |
| Х1 | Х2 | Х3 | Х4 | Х5 | Х6 | Х7 | Х8 | Х9 | Х10 | – |  |
| 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):

Х2 = Х13 = 320 га; Х3 = Х21 = 156 га; Х4 = Х23 = 106 га; Х5 = Х23 = 58 га;

Х8 = Х33 = 180 га; Х9 = Х42 = 250 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 |
| Культивація | – | – | 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 півторазмінній роботі *(kзм=1,5)*. При цьому всі трактори будуть зайняті приблизно однаковий час, а загальна витрата палива буде становити *G= 6,7 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 т*.

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