РЕФЕРАТ НА ТЕМУ:

Математичні методи та моделі в управлінні аграрним виробництвом

Зміст

[1. Склад машинних агрегатів та їх експлуатаційні показники](#_Toc273184050)

[3. Прямі експлуатаційні витрати](#_Toc273184051)

[4. Транспортне забезпечення механізованих технологічних процесів](#_Toc273184052)

[5. Методика багатокритеріальної оцінки технологічних систем](#_Toc273184053)

[6. Оптимізація використання комплексів машин](#_Toc273184054)

[6. Аналіз показників машиновикористання та оцінка технічного оснащення виробництва](#_Toc273184055)

[Використана література](#_Toc273184056)

## 1. Склад машинних агрегатів та їх експлуатаційні показники

Розрахунки по використанню машин у механізованих технологічних процесах включають обґрунтування та визначення робочих швидкостей руху, питомого та загального опору, коефіцієнту використання тягового зусилля, ефективної потужності двигуна та ступеню її використання, змінної продуктивності агрегату, витрати палива та мастильних матеріалів на одиницю роботи, витрати праці та коштів, необхідної кількості основних та допоміжних агрегатів і транспортних засобів.

*Робоча швидкість агрегату*

Робоча швидкість повинна бути в межах агротехнічнодопустимої (Табл.1), забезпечуватись потужністю двигуна енергетичного засобу та конкретною його передачею.

Таблиця 1.

Рекомендовані швидкості руху машинних агрегатів

|  |  |
| --- | --- |
| Основні операції | км/год |
| Оранка | 4…12 |
| Снігозатримання | 6…12 |
| Лущення дисковими знаряддями | 8…12 |
| Боронування зубовими боронами | 5…13 |
| Боронування голчастими боронами | 8…12 |
| Суцільна культивація | 6…12 |
| Коткування | 6…15 |
| Внесення мінеральних добрив | 8…20 |
| Внесення органічних добрив | 9…13 |
| Посів зернових | 7…14 |
| Посів кукурудзи, соняшника | 4…12 |
| Посів цукрового буряку | 5…8 |
| Посадка картоплі | 4…10 |
| Посадка розсади | 0,6…3,5 |
| Міжрядна культивація кукурудзи, соняшника | 6…12 |
| Обприскування | 6…10 |
| Підгортання картоплі | 5…7 |
| Збирання трав на сіно | 6…12 |
| Збирання трав на зелений корм | 6…8 |
| Скошування зернових у валки | 6…10 |
| Збирання зернових | 3…8 |
| Збирання кукурудзи: на зерно | 4…10 |
| на силос | 5…12 |
| Збирання картоплі: комбайнами | 1…5 |
| копачами | 2…8 |
| Збирання цукрового буряку | 3…9 |

У тому випадку, коли є можливість комплектувати агрегати різної ширини захвату, бажано вибирати передачу трактора, яка має тягове зусилля близьке до його тягового класу.

Для тягових агрегатів (оранка, культивація, посів безприводними сівалками та ін) в діапазоні агротехнічнодопустимих швидкостей руху вибирають передачі трактора, що знаходяться в цьому діапазоні, виходячи з умови:

*Vmin* ≤ *VT* ≤ *Vmax*;

Де *VT* - теоретична швидкість руху агрегату на даній передачі.

Робоча швидкість руху агрегату дорівнює:

*Vp = VT ηδ*,

Де *ηδ* - коефіцієнт, що враховує втрату швидкості від буксування.

Коефіцієнт, що враховує втрату швидкості від буксування дорівнює:

*ηδ = 1 - δ / 100;*

Де *δ* - коефіцієнт буксування в%;

3% - гусеничні трактори;

12% - колісні 4К4;

16% - колісні 4К2.

На вибраних передачах визначають тягові зусилля трактора.

Для тягово-приводних агрегатів та самохідних машин визначають максимальну допустиму швидкість, яку забезпечує потужність двигуна.

Для тягово-приводного агрегату:

 км/год.,

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *NЕН* | - | номінальна ефективна потужність двигуна трактора, кВт; |
| *ξ* | - | ступінь використання ефективної потужності двигуна (*ξ* = 0,9); |
| *NВВП* | - | потужність, що реалізується через ВВП, кВт; |
| *ηВВП* | - | ККД механізму приводу ВВП (*ηВВП* = 0,95); |
| *ηТР* | - | ККД трансмісії приводу рушіїв трактора (*ηТР* = 0,9); |
| *і* | - | величина підйому; |
| *Ga* | - | вага агрегату, що в загальному випадку включає вагу трактора, робочих машин, зчіпки, робочого матеріалу (насіння, добрива, зібраний урожай і т.д.), кН; |
| *f* | - | коефіцієнт опору кочення; |
| *Кv* | - | питомий опір при робочій швидкості агрегату, кН/м; |
| *Вр* | - | робоча ширина захвату, м. |

Самохідні збиральні машини по характеру витрат енергії умовно можна поділити на дві групи:

машини, витрата енергії якими істотно не залежить від урожайності (бурякозбиральні, картоплезбиральні та інші з підкопуючими робочими органами);

машини, витрата енергії якими залежить від урожайності (зернозбиральні, кукурудзозбиральні, кормозбиральні).

Для першої групи машин допустима швидкість визначається рівністю:

км/год.,

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *NP* | - | потужність, необхідна на збирання з одного рядка, кВт; |
| *nP* | - | кількість рядків, шт; |
| *ηк* | - | ККД трансмісії комбайна. |

Для другої групи машин:

 км/год

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Nx* | - | потужність, що витрачається на холостий хід механізмів комбайна, кВт; |
| *BP* | - | робоча ширина захвату; м. |
| *U* | - | урожай зерна, т/га; |
| *δс* | - | соломистість (відношення маси соломи до маси зерна); |
| *Nпит* | - | питома потужність, яка необхідна для обмолоту (подрібнення) одиниці маси урожаю, кВт с/кг. |

Для тягово-приводного збирального агрегату:

**км/год

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Gа* | - | вага агрегату, кН; |
| *m* | - | ширина міжрядь, м. |

Для машин з обмеженою пропускного здатністю (зернозбиральні комбайни) визначається швидкість, обумовлена пропускною здатністю:

км/год.,

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *qф* | - | фактична для заданих умов пропускна здатність, кг/с. |

*Питомий і загальний опір та коефіцієнт використання тягового зусилля*

Ці показники визначають для тягових та тягово-приводних агрегатів*.* Питомий опір с. /г. машин при робочій швидкості дорівнює:

для плугів:

кН/м2;

для інших с. /г. машин:

кН/м;

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *КV* | - | розрахунковий питомий тяговий опір сільськогосподарських машин з урахуванням швидкості руху, кН/м2 (кН/м); |
| *КО* | - | питомий тяговий опір машин при русі з швидкістю *V0* =5 км/год, кН/м2; |
| *ΔК* | - | темп наростання питомого (тягового) опору машин при збільшенні швидкості руху агрегату на 1 км/год,%; |

Загальний питомий опір дорівнює:

для тягових агрегатів

*причіпних плугів*

*Кзаг = Кv а + gм с і,* кН/м;

*начіпних плугів*

*Кзаг = Кv a + gм (λ fТР + с і),* кН/м,

*інших причіпних с. /г. машин*

*Кзаг = Кv + gм і + gзч (fзч + і),* кН/м;

*інших начіпних с. /г. машин*

*Кзаг = Кv + gм (λfТР + і),* кН/м;

для тяговопривідних агрегатів

*причіпних*

кН/м;

*Начіпних*

кН/м;

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *а* | - | глибина оранки, м; |
| *gм* | - | питома вага машини, кН/м; |
| *c* | - | коефіцієнт, що враховує наявність ґрунту на корпусах плуга (*с* = 1,1…1,4); |
| *і* | - | величина підйому; |
| *λ* | - | коефіцієнт, що враховує довантаження трактора начіпною машиною; |
| *fТР*, *fзч* | - | коефіцієнт опору коченню трактора і зчіпки; |
| *в* | - | ширина захвату машини (корпуса плуга), м; |
| *RВВП* | - | додатковий опір, еквівалентний навантаженню, що передається через ВВП, кН. |

Додатковий опір дорівнює

 кН;

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *NВВП* | - | потужність, що реалізується через ВВП, кВт; |
| *ηТР* | - | коефіцієнт корисної дії трансмісії (*ηТР* = 0,95); |
| *Vp* | - | робоча швидкість руху агрегату, км/год. |

Максимально можлива ширина захвату агрегату рівна

 м;

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Ргак* | - | тягове зусилля на вибраній передачі, кН. |

Розрахункова кількість машин (корпусів плуга) в агрегаті рівна



де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *вк* | - | конструктивна ширина захвату однієї машини (корпуса плуга), м. |

Фактичну кількість машин (корпусів плуга) приймають рівною цілому числу, виконуючи умову:

*пф ≤ п р.*

Якщо в агрегаті більше однієї машини, підбирають зчіпку, виконуючи умову

*Фзч розр = (пф - 1) в ≤ Фзч*, м;

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Фзч* | - | фронт зчіпки, м. |

Загальний опір машинв агрегаті дорівнює

*Ra = Kзаг вк пф,* кН

Коефіцієнт використання тягового зусилля



де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Ргак* | - | тягове зусилля трактора на даній передачі. |

*Необхідна ефективна потужність двигуна та ступінь її використання*

Для тягових агрегатів:

кВт

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Gа* | - | вага агрегату, кН; |
| *ηТР* | - | коефіцієнт корисної дії трансмісії трактора. |

*ηТР = ηαц · ηβк*,

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *ηц*, *ηк* | - | відповідно ККД циліндричних (0,98…0,99) і конічних (0,97…0,98) пар; |
| *α*, *β* | - | відповідно кількість циліндричних і конічних пар. |

Для тягово-приводних агрегатів:

кВт

Для самохідних збиральних агрегатів витрати енергії якими мало залежать від урожайності:

кВт

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *ηк* | - | ККД трансмісії комбайна (0,80…0,85). |

Для самохідних збиральних агрегатів витрати енергії якими істотно залежать від урожаю:

кВт

Для тягово-приводного збирального агрегату:

кВт

Ступінь використання ефективної потужності двигуна

 (11.1)

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *NEH* | - | номінальна ефективна потужність двигуна, кВт. |

*Кінематичні характеристики агрегату та загінки і продуктивність агрегату.* Для тягових агрегатів:

Робоча ширину захвату агрегату дорівнює:

*Вр = вк·пф·β*, м;

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *β* | - | коефіцієнт використання ширини захвату (табл.1.5). |

Робоча довжина загінки рівна

*Lp = L -* 2·*E*,м;

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *L* | - | довжина загінки, м; |
| *Е* | - | ширина поворотної смуги, м. |

Ширина поворотної смуги дорівнює: *для петльових поворотів*

*Е =* 3·*Rп + е*, м;

*для безпетльових поворотів*

*Е =* 1,5*·Rп + е*, м;

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Rn* | - | радіус повороту агрегату, м; |
| *е* | - | довжина виїзду, м. |

Довжина виїзду агрегату рівна: *для причіпних агрегатів -*

*е = (*0,5…0,75) ·*lК*, м;

*для начіпних агрегатів із задньою начіпкою –*

*е =* 0,1·*lК*, м;

*для начіпних агрегатів з передньою начіпкою -*

*е =*·- *lК*, м;

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *lК* | - | кінематична довжина агрегату, м. |

Кінематична довжина агрегату рівна

*lК = lТР* + *lзч* + *lм,* м;

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *lТР*, *lзч*, *lм* | - | кінематична довжина відповідно трактора, зчіпки та сільськогосподарської машини, м. |

Після визначення розрахункового значення ширини поворотної смуги *Е* фактичне її значення приймається із умови

*Еф = п Вр ≥ Е*, м;

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *п* | - | коефіцієнт кратності (*п* =1, 2, 3, …, *і*). |

Середня довжина повороту агрегату *Lx*, що приходиться на один робочий хід, та *оптимальна ширина загінки* *C* для різних способів руху агрегатів приведена в таблиці 2.

Таблиця 2.

Середня довжина повороту та оптимальна ширина загінки

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Спосіб руху | Довжина повороту | Оптимальна ширина загінки |
| Всклад, врозгін | 0,5С + 2,5R + 2е |  |
| Човниковий | 6R + 2е |  |
| Перекриттям | 0,5С + 1,5R +2е | 10 R |
| Круговий | (1…2) R | L / 5…8 |
| Комбінований безпетльовий | 0,5С + 2R + 2е |  |
| Діагональний човниковий | 6R + 2е | (0,75...1,0) L |
| Діагональний перехресний | 4R + 2е | (0,75...1,0) L |

Продуктивність агрегату

Продуктивність агрегату за годину зміни дорівнює

*Wг =* 0,1*·Вр·Vр·τ*, га/год;

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *τ* | - | коефіцієнт використання часу зміни. |

Коефіцієнт використання часу зміни дорівнює



де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *TР* | - | час чистої роботи; |
| *Tзм* | - | тривалість зміни*.* |

Час чистої роботи за зміну визначимо знайшовши час чистої роботи за один цикл. Кількість циклів за зміну дорівнює –



де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | - | сума позациклових простоїв агрегату за зміну, що включає:  підготовчо-заключний час;  час на виконання технічного і технологічного обслуговування агрегату;  час переїздів до місця роботи;  час на власні потреби; |
| *tц* | - | тривалість циклу, год.; |

Тривалість циклу дорівнює:

*для агрегатів, що не мають технологічних місткостей*

 год.;

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *tp* | - | час чистої роботи за один цикл, год.; |
| *tx* | - | час виконання повороту, год.; |
| *Lp* | - | робоча довжина загінки, км; |
| *Vp* | - | робоча швидкість агрегату, км/год.; |
| *Lx* | - | довжина повороту, км; |
| *Vx* | - | швидкість агрегату при виконанні повороту, км/год.; |

*для агрегатів з технологічними місткостями, що завантажують (вивантажують) їх в загінці*

 год.;

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *tтехн* | - | час завантаження (вивантаження) технологічної місткості, год.; |
| *Vδ* | - | об’єм технологічної місткості, м3; |
| *γ* | - | об’ємна вага с. /г. продукції, т/м3; |
| *K* | - | коефіцієнт заповнення або спорожнення; |
| *Bp* | - | робоча ширина захвату, м; |
| *U* | - | урожайність або норма висіву (внесення), т/га; |

*для агрегатів з технологічними місткостями, що завантажують їх за межами загінки*



де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *tor* | - | час очікування завантаження, год.; |
| *tзав* | - | час завантаження, год.; |
| *tПВ* | - | час руху з вантажем до загінки, год.; |
| *tПХ* | - | час руху до місця заправки, год.; |
| *Q* | - | маса вантажу, що перевозиться агрегатом, т; |
| *П* | - | продуктивність завантажувача, т/год.; |
| *S’* | - | відстань від загінки до місця завантаження, км; |
| *VB* | - | транспортна швидкість руху з вантажем, км/год.; |
| *VBx* | - | транспортна швидкість руху без вантажу, км/год. |

Чистий час роботи за зміну (час виконання основної технологічної операції) дорівнює

*Tр = tр·nц*, год. (11.2)

Час поворотів за зміну рівний

*Tх = tх·nц*, год. (11.3)

Час завантаження (розвантаження) технологічних місткостей за зміну дорівнює

*Tтехн = tтехн·nц*, год.

*Витрати палива і робочого часу на одиницю роботи та прямі експлуатаційні витрати*

Витрату палива на одиницю роботи для агрегатів, що не мають технологічних місткостей та для агрегатів з технологічними місткостями, що завантажують (вивантажують) їх в загінцівизначають за формулою:

кг/га;

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *QP*, *Qx*, *Qпм*, *Qз* | - | годинна витрата палива, відповідно, при виконанні технологічного процесу, на поворотах, на переїздах до місця роботи, на зупинках з працюючим двигуном, кг; |
| *ТР*, *Тx*, *Тпм*, *Тз* | - | тривалість, відповідно, чистого часу зміни, поворотів, переїздів до місця роботи, зупинок з працюючим двигуном на протязі зміни, год.; |
| *Wзм* | - | виробіток за зміну, га. |

*Тр*, *Тx* визначають відповідно за формулами (11.2), (11.3). *Тпм* задається нормативно - 0,14 год.

*Тз* визначають за формулою:

*Тз* = *Ттехн* + (*Σ Тнц* - *Тпм)*, год.

Витрату палива на одиницю роботи для агрегатів з технологічними місткостями, що завантажують їх за межами загінкивизначають за формулою:

 кг/га;

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Qв* | - | годинна витрата палива на переїздах із заповненою технологічною місткістю, кг; |
| *Тв* | - | тривалість переїздів з місця завантаження до загінки (із заповненою технологічною місткістю) протягом зміни, год. |

Час переїздів *Тп* включає в себе час переїздів до місця роботи *Тпм* та час переїзду до місця завантаження *Тпx*, тобто:



де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Тпм* | - | час переїздів до місця роботи (*Тпм* = 0,14 год); |
| *Тпx* | - | час переїздів до місця завантаження. |

Годинна витрата палива при різних режимах навантаження двигуна дорівнює:

*Qг = NEH*·*gH*·*ξ*, кг/год.;

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *NЕН* | - | номінальна ефективна потужність двигуна (Табл.3), кВт; |
| *gН* | - | питома витрата палива при номінальній потужності двигуна (Табл.3), кг/кВт год.; |
| *ξ* | - | ступінь використання ефективної потужності двигуна (визначається по рівнянню 11.1). |

Затрати робочого часу

, люд. год. /га;

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *пр* | - | кількість робітників, які обслуговують агрегат; |
| *Wг* | - | продуктивність за годину змінного часу. |

Таблиця 3.

Експлуатаційні показники тракторів

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Назва параметрів | ЮМЗ-6Л | МТЗ-80, 82 | Т-70С | ДТ-75М | Т-150 | Т-150К | К-701 |
| Номінальна потужність, кВт | 44,1 | 58,8 | 51,5 | 66,2 | 110,3 | 121,3 | 220,6 |
| Номінальна частота обертання колінчастого валу, об/хв. | 1750 | 2200 | 2100 | 1750 | 2000 | 2100 | 1900 |
| Питома витрата палива, кг/кВт год. | 0,252 | 0,251 | 0,252 | 0,251 | 0,251 | 0,251 | 0,245 |
| Витрата палива на зупинках з працюючим двигуном, кг/год. | 1,2 | 1,4 | 1,2 | 1,9 | 2,2 | 2,4 | 4,0 |
| Експлуатаційна вага, кН | 31,1 | 33,47  35,71 | 44,15 | 66,5 | 74,0 | 79,0 | 131,0 |
| Кінематична довжина, м | 1,2/1,3 | 1,2/1,3 | 1,85 | 2,35/1,55 | 2,12-2,55 | 2,9-2,4 | 2,35-2.9 |
| Нормативне річне завантаження, год. | 1350 | 1350 | 1100 | 1300 | 1350 | 1350 | 1350 |

## 3. Прямі експлуатаційні витрати

Прямі експлуатаційні витрати на одиницю роботи дорівнюють:

*С* = *С1* + *С2* + *С3* + *С4*, грн/га;

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *С1* | - | оплата праці персоналу, що обслуговує агрегат, грн/га; |
| *С2* | - | вартість витрачених паливо-мастильних матеріалів, грн/га; |
| *С3* | - | відрахування на реновацію трактора і сільськогосподарських машин, що входять в агрегат, грн/га; |
| *С4* | - | відрахування на капітальний і поточний ремонти, технічне обслуговування, грн/га. |

*Оплата праці обслуговуючому персоналу дорівнює:*

**грн/га;

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *mi* | - | кількість працівників на агрегаті *і*-ої кваліфікації; |
| *ni* | - | оплата праці за змінну норму виробітку робочого *і*-ої кваліфікації, грн; |
| *WЗМ* | - | змінна продуктивність агрегату, га. |

*Вартість паливо-мастильних матеріалів дорівнює:*

грн/га;

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *ЦK* | - | комплексна ціна одного кілограма палива, грн/кг (орієнтовно - *ЦK* - 4,6 грн/кг); |
| *QП* | - | витрата паливо-мастильних матеріалів, кг/га. |

Витрата мастильних матеріалів визначається процентним відношенням до витрати палива:

дизельне (моторне) масло -4%;

трансмісійне масло -0,8%;

консистентні мастила -0,3%;

пусковий бензин -1,0%.

*Відрахування на реновацію машин в агрегаті дорівнюють:*

грн/га;

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *БТР*, *БМ* | - | балансова вартість відповідно трактора і сільськогосподарської машини, грн.; |
| *QТР*, *QМ* | - | норми відрахувань на реновацію відповідно трактора і сільськогосподарської машини,%; |
| *WЗ* | - | продуктивність агрегату, га/год.; |
| *tТР*, *tМ* | - | зональне річне завантаження трактора і сільськогосподарської машини, год. |

Відрахування на капітальний, поточний ремонти і технічне обслуговування дорівнюють:

грн/га;

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *РТР*, *РМ* | - | сумарна норма відрахувань на капітальний, поточний ремонт і технічне обслуговування відповідно трактора і сільськогосподарської машини,%. |

*Визначення необхідної кількості агрегатів і транспортне забезпечення механізованих технологічних процесів*

Необхідна кількість машинних агрегатів визначається за формулою:



де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *S* | - | площа посіву, га; |
| *Wг* | - | продуктивність машинного агрегату за годину часу зміни, га/год.; |
| *Тзм* | - | тривалість зміни. Існуючі норми виробітку на механізовані сільськогосподарські роботи розраховані на нормативну 7‑годинну зміну, а для робіт, з шкідливими умовами праці (обпилювання, обприскування сільськогосподарських культур та ін) - на 6-годинну зміну. Таким чином *Тзм* дорівнює 7 або 6 год.; |
| *Кзм* | - | коефіцієнт змінності; |
| *Д* | - | агротехнічний строк, днів. |

## 4. Транспортне забезпечення механізованих технологічних процесів

Необхідна кількість транспортних засобів при застосуванні агрегатів з технологічними місткостями (бункерів) виходячи з умов потоковості збирання дорівнює:



де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Uз* | - | урожайність с. /г. культури, т/га; |
| *Wгод і* | - | продуктивність *і*-го агрегату, га/год.; |
| *tЦТ* | - | тривалість циклу транспортного засобу, год.; |
| *Q* | - | фактична вантажопідйомність транспортного засобу, т. |

Тривалість циклу транспортного засобу дорівнює:



де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *tрδ* | - | час розвантаження бункера (для зернозбирального комбайну *tрδ* =0,05 год); |
| *L* | - | довжина гонів, км; |
| *S* | - | відстань перевезення с. /г. продукції, км; |
| *nδ* | - | кількість бункерів, що завантажує транспортний засіб; |
| *VB* | - | швидкість руху транспортного засобу з вантажем, км/год (для автомобілів *VB* = 30 км/год); |
| *tзв* | - | тривалість зважування (*tзв* = 0,03 год); |
| *tроз* | - | тривалість розвантаження, год. (ЗИЛ-ММЗ-554М - *tроз* = 0,02 год.; КАМАЗ-5320 - *tроз* = 0,03 год); |
| *Vх* | - | швидкість руху транспортного засобу без вантажу, км/год. (для автомобілів *Vх* = 40 км/год). |

Необхідна кількість транспортних засобів при застосуванні агрегатів без технологічних місткостей (бункерів) виходячи з умов потоковості дорівнює



де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *tЦТ* | - | тривалість циклу транспортного засобу, год.; |
| *tр* | - | час заповнення транспортного засобу, год. |

Тривалість циклу транспортного засобу дорівнює

год.;

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *tр* | - | тривалість заповнення транспортного засобу, год.; |
| *tв* | - | тривалість руху з вантажем, год; |
| *tрозв* | - | тривалість розвантаження транспортного засобу, год; |
| *tвх* | - | тривалість руху без вантажу, год; |
| *tзам* | - | тривалість заміни транспортного засобу (*tзам* = 0,01 год); |
| *Vδ* | - | об’єм кузова транспортного засобу, м3; |
| *γ* | - | об’ємна вага с. /г. продукції, т/м3; |
| *K* | - | коефіцієнт заповнення кузова; |
| *Bp* | - | робоча ширина захвату агрегату, м; |
| *U* | - | урожайність с. /г. культури, т/га; |
| *Vp* | - | робоча швидкість агрегату, км/год.; |
| *S* | - | відстань перевезень с. /г. продукції, км; |
| *VB* | - | швидкість руху транспортного засобу з вантажем, км/год.; |
| *Vx* | - | швидкість руху транспортного засобу без вантажу, км/год. |

## 5. Методика багатокритеріальної оцінки технологічних систем

*Математична модель (ММ) багатокритеріальної задачі*

Системний підхід до обґрунтування рішень часто викликає необхідність застосовувати для оцінки альтернативних варіантів декілька критеріїв. У багатьох випадках рішення повинно відповідати декільком критеріям, що суперечать один одному (продуктивність - якість, рівень механізації - затрати паливо-мастильних матеріалів, втрати урожаю - затрати на виконання робіт), тобто зміна характеристик системи з метою покращення одного з них викликає погіршення іншого. Побудова єдиної шкали для оцінки всієї сукупності критеріїв, що мають різний фізичний зміст, викликає значні труднощі.

У загальному вигляді математична модель (ММ) багатокритеріальної задачі описується виразом:

*MM = T, S,U, L, H, Y;*

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *T* | - | тип багатокритеріальної задачі (оптимізація, ранжування, вибір); |
| *S* | - | множина варіантів характеристик системи, що оцінюється; |
| *U* | - | множина критеріїв, за якими оцінюється система; |
| *L* | - | шкала оцінок по кожному критерію; |
| *H* | - | система пріоритетів особи, що приймає рішення на множині варіантів *S*; |
| *Y* | - | правило вирішення, яке на множині варіантів *S* задає відношення переваги відповідно до системи пріоритетів *H*. |

Для пошуку кращого рішення необхідно множину варіантів *S* представити у просторі критеріїв *U* зі шкалами оцінок *L* і відповідно до правила вирішення *Y* впорядкувати цю множину, використовуючи систему пріоритетів *Н.*

У інженерній діяльності застосовують методи багатокритеріального вибору рішення із множини можливих варіантів.

Одним із методів багатокритеріального вибору є метод відстані до цілі. Суть його полягає в порівнянні *J*-го варіанту вихідної множини альтернативних варіантів з ідеалізованим варіантом.

За ідеалізований варіант приймають умовний варіант, якому приписуються кращі значення критеріїв з вихідної множини альтернативних варіантів. При цьому необхідно зауважити, що формування множини прийнятих критеріїв необхідно здійснювати при однаковому напрямку покращення всіх критеріїв. Пояснимо це на прикладі (табл.4).

Таблиця 4.

Вихідна множина альтернативних варіантів та критеріїв

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Склад машинних агрегатів | *W*, га/год. | *G*, кг/гa | *Fg*,  га/кг | *С*,  грн. /га | *Fс*,  га/грн. | *μ* |
| К-701+ЛДГ-20 | 8,3 | 4,5 | 0,22 | 314,5 | 0,00318 | - 0, 197 |
| Т-150К+ЛДГ-15 | 7,5 | 3,1 | 0,32 | 232,9 | 0,00429 | - 0,040 |
| Т-150К+ЛДГ-10 | 5,2 | 3,1 | 0,32 | 227,5 | 0,00439 | - 0,123 |
| Ідеалізований варіант | 8,3 |  | 0,32 |  | 0,00439 | 0 |

У нашому прикладі умова покращення всіх критеріїв в одному напрямку не дотримується, бо покращення продуктивності *W* спрямоване у бік її зростання, а витрата палива *G* та прямі експлуатаційні затрати *С* - у бік зниження.

Для забезпечення умови введемо критерії *Fg* = 1*/G* та *Fс =* 1*/С*, тобто обернені відповідно до витрати палива та прямих експлуатаційних затрат. Такі критерії характеризують розмір площі, що обробляється при затраті одиниці палива та одиниці коштів, а їх покращення, як і продуктивність, спрямовані у бік зростання.

У випадку, коли всі критерії мають однакову значущість, для кожного *j*‑го варіанту вихідної множини альтернатив визначається показник відстані до цілі за формулою:



де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *μі* | - | відстань до цілі *j* - го варіанту; |
| *N* | - | число критеріїв; |
| *Uij* | - | значення *i*-го критерію *j*-го варіанту; |
| *Uio* | - | значення *i*-го критерію ідеалізованого варіанту. |

З вихідної множини альтернатив вибирається варіант, що знаходиться найближче до ідеалізованого варіанту, для якого *μ* = 0*.*

У випадку коли критерії нерівноцінні, то визначають значущість критеріїв, використовуючи метод розставлення пріоритетів. Коефіцієнт значущості критеріїв розраховують при забезпеченні умови *еi* =1, наступним чином.

При попарному порівнянні критеріїв у відповідних комірках матриці (таблиця 5) проставляють коефіцієнти переваг. Якщо критерій в *i*-й стрічці має перевагу над критерієм в *j*-у стовпчику, то коефіцієнт приймають рівним - 1,5; при їх однаковій значущості - 1,0, а при меншій - 0,5.

Таблиця 5.

Матриця визначення значущості критеріїв

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Індекс критерію | *К1* | *К2* | *К3* | *Σ Кi* | *Pij* | *i* |
| *К1* | 1,0 | 1,0 | 0,5 | 2,5 | 7,0 | 0,27 |
| *К2* | 1,0 | 1,0 | 0,5 | 2,5 | 7,0 | 0,27 |
| *К3* | 1,5 | 1,5 | 1,0 | 4,0 | 11,5 | 0,46 |
|  |  |  |  |  | *Σ Pij* = 25,5 |  |

Коефіцієнти значущості *λі* визначають за формулою:



де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Ріj* | - | визначається, як сума добутків кожного елементу *i*-ї стрічки на елементи вектор-стовпчика *Σ Kij*; |

тобто,



Пояснимо це на прикладі (табл.12.2), у якому критерій *К1* та критерій *К2* рівнозначні, а критерій *К3* домінує над критеріями *К1* та *К2*, тобто

*К1* = *К2* *⎨* *К3*.

Тоді, для 1-ї стрічки матриці:

*P1J = K11еK1+K12еK2+K13еK3 =*1,0×2,5 *+* 1,0×2,5 *+* 0,5×4,0 *=*7,0.

Для 2-ї стрічки матриці:

*Р2J = K21еK1 + K22еK2 + K23еK3 =* 1,0×2,5 + 1,0×2,5 + 0,5 ×4,0 = 7,0.

Для 3-ї стрічки матриці:

*Р3J = K31еK1 + K32еK2 + K33еK3 =* 1,5×2,5 + 1,5×2,5 + 1,0×4,0 = 11,5.

Тоді коефіцієнти значущості критеріїв будуть рівні:

*1* = 7,0/25,5 = 0,27;

*2* =7,0/25,5 = 0,27;

*3* = 11,5/25,5 = 0,46.

Визначивши коефіцієнти значущості критеріїв, розраховують відстань до цілі для заданої множини альтернативних варіантів:



де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Uij* | - | значення *i*-го критерію *j*-го варіанту; |
| *Uio* | - | значення *i*-го критерію ідеалізованого варіанту; |
| *λi* | - | коефіцієнт значущості *i*-го критерію. |

З вихідної множини альтернатив вибирається варіант, що знаходиться найближче до ідеалізованого варіанту, для якого ** = 0.

*Методика багатокритеріальної оцінки машинних агрегатів на персональному комп’ютері.*

Комп’ютерна програма "Комплексна (багатокритеріальна) оцінка технічних та технологічних систем" дозволяє оцінити машинні агрегати одночасно по всім групам критеріїв (функціональним, експлуатаційних затрат, економічної ефективності, екологічності), тобто прийняти рішення щодо оптимальної структури комплексу машин, враховуючи всі фактори стосовно виробничих умов.

Комп’ютерна програма "Комплексна (багатокритеріальна) оцінка технічних та технологічних систем" дозволяє давати оцінку одночасно 100000 машинним агрегатам по 1500 критеріям.

Для початку роботи з програмою необхідно натиснути кнопку (Рис.1)"*Розпочати роботу".*



Рис.1. - Загальний вигляд вікна комп’ютерної програми "Комплексна (багатокритеріальна) оцінка технічних та технологічних систем"

Після появи вікна "*Кількісні параметри задачі"* (Рис.2) ввести кількість аналізуємих МА та кількість критеріїв і натиснути кнопку "*Продовжити роботу".*

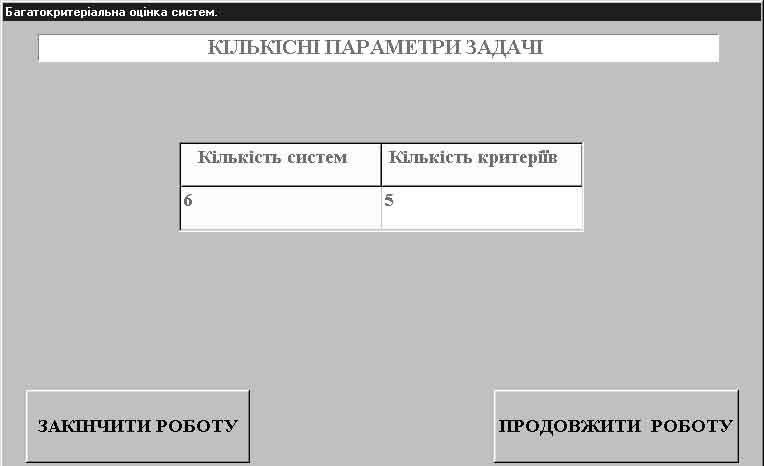


Рис.2. - Загальний вигляд вікна “Кількісні параметризадачі"

Після появи вікна "*Вихідні дані для вибору систем" (*Рис.3) ввести дані щодо складу МА та значення прийнятих критеріїв, після чого ввести, в залежності від напрямку покращення критеріїв ідеалізований варіант МА.

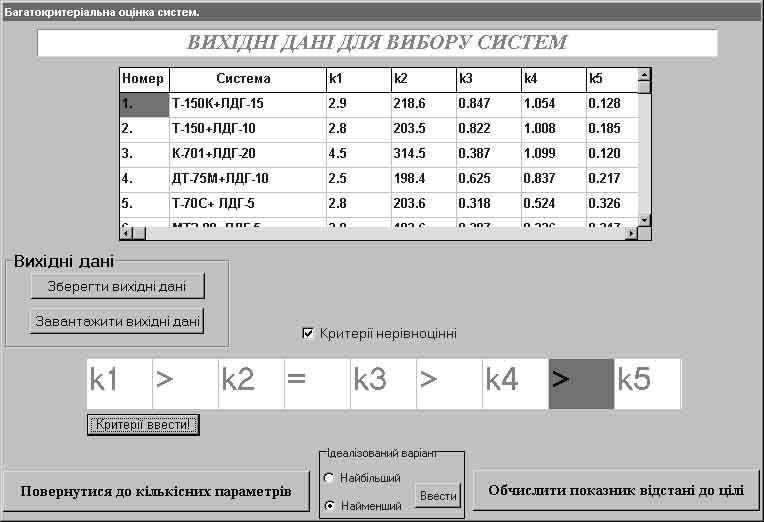


Рис.3. - Загальний вигляд вікна "Вихідні дані для вибору систем"

Далі вводиться порядок домінування критеріїв і натиснувши кнопки "*Критерії ввести"* та "*Обчислити показник відстані до цілі"* відкриваємо вікно "*Ранжування систем" (*Рис.4), де подається відстань до цілі та ранжування машинних агрегатів у залежності від прийнятих критеріїв та порядку іх домінування.



Рис.4. - Загальний вигляд вікна "Ранжування систем"

Для збереження одержаної інформації в персональному комп’ютері натиснути кнопку "*Зберегти",* для виводу інформації на принтер натиснути кнопку "*Друкувати".*

## 6. Оптимізація використання комплексів машин

*Загальні положення про лінійні оптимізаційні моделі*

У практиці обґрунтування інженерних рішень важливе місце займають оптимізаційні задачі з використанням детермінованих моделей.

Кожна технічна система функціонує для досягнення певної мети, а ступінь її досягнення і вся сукупність операцій, що відбувається в системі мають кількісну міру, тобто можуть бути описані математично.

Структура оптимізаційної моделі в загальному випадку включає цільову функцію *F (x),* яку необхідно мінімалізувати або максималізувати, обмеження *hk (х)* у вигляді рівнянь, обмеження *gj (x)* у вигляді нерівностей, а також область *S* допустимих значень незалежних змінних *хі*. Наприклад, якщо оптимізація передбачає мінімізацію цільової функції *F (x),* то математичну модель в загальному вигляді можна записати так:

*F (x)* = *f* (*x1*, *x2*,...*,* *xn*) → *min*; (1.1)

*hk (x)* = 0,*k* = 1, 2,...*,* *k*; (1.2)

*gj (x)* ≥ 0,*g* = 1, 2,...*,* *j*; (1.3)

*xiH* ≤ *xi* ≤ *xib*, i = 1, 2,...*,* *N;*

де *xiH*, *xib* - відповідно нижнє і верхнє значення *і*-ої змінної.

Оптимізаційні моделі можна класифікувати відповідно до вигляду функцій (1.1 - 1.3) та розмірності вектора *х*, тобто числом *N* змінних.

Задачу умовної оптимізації, в яких функції *hk (x)* і *gj (x)* є лінійними, входять у клас задач з лінійними обмеженнями. Якщо і цільова функція в них лінійна, то такі задачі відносяться до лінійного програмування.

*Стандартна форма задач лінійного програмування*

Серед методів багатомірної оптимізації з обмеженнями особливе місце займає лінійне програмування. Це пояснюється широким колом задач, що можуть бути зведені до лінійних моделей, а також розвинутим математичним і програмним забезпеченням методу лінійного програмування.

Задача лінійного програмування у стандартній формі має вигляд:

*Z* = *C1x1* + *C2x2* + *…* + *Cnxn* → *min*

при*a11x1* + *a12x2* + *…* + *a1nxn* = *b1* (1.4)

*am1х1* + *am2x2* + *…* + *amnxn* = *bm*

*x1* ≥ 0,*x2* ≥ 0,*…xn* ≥ 0 (1.5)

*b1* ≥ 0,*b2* ≥ 0,*…bm* ≥ 0

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *n* | - | число незалежних змінних; |
| *m* | - | число обмежень; |
| *ai*, *Ci* | - | числові коефіцієнти при змінних *хі*. |

Застосування загальних методів розв’язання задач лінійного програмування потребує зведення математичних моделей до певного однотипного вигляду.

Обмеження (1.4 - 1.5) можуть бути задані у вигляді нерівностей та рівнянь.

При цьому в нерівностях ліва і права частини можуть бути зв’язані знаками ≤ і ≥.

Змінні, що входять у математичну модель, можуть бути додатними або не мати обмежень у знаку. Це народжує певну різноманітність математичних моделей, які можуть бути зведені до стандартної форми лінійних моделей, яка передбачає, що всі обмеження записуються у формі рівнянь з додатною правою частиною, значення всіх змінних моделі є додатними; цільову функцію потрібно мінімізувати або максимізувати.

Будь-яку лінійну модель можна звести до стандартної форми, використовуючи наступні прийоми.

Зведення нерівності до рівняння здійснюється шляхом введенням додаткової змінної, абсолютне значення якої дорівнює різниці між правою і лівою частинами. Ця змінна додається до лівої частини якщо має місце нерівність типу ≤.

Якщо вихідне обмеження є нерівністю типу ≥, то додаткова змінна віднімається від лівої частини.

Значення правої частини рівняння повинно бути додатнім (не від’ємним). Якщо ця вимога не задовольняється, то ліву і праву частини рівняння множать на - 1.

*Методика оптимізації використання комплексів машин методом лінійного програмування*

Більшість технологічних операцій рільництва може бути виконана з використанням агрегатів на базі різних тракторів. Отже різні агрегати на виконанні однакових робіт мають різні техніко-експлуатаційніпоказники, що можуть істотно відрізнятися.

Тобто при обґрунтуванні складу комплексів машин є можливість вибирати різні варіанти використання сільськогосподарської техніки при виконанні однієї і тієї ж технологічної операції.

Оптимальним буде той варіант, який забезпечить мінімальні затрати ресурсів на виконання заданого обсягу робіт.

У загальному вигляді задачу оптимального використання комплексів машин можна сформулювати наступним чином:

у заданий календарний період (*D* днів) необхідно виконати певне число (*m*) технологічних, навантажувальних або транспортних операцій обсягом *Fi* (*i*=1, 2, …, *m*) (табл.4).

Для цього використовують *n* видів агрегатів *j*-го складу.

Годинна продуктивність *j*-го машинного агрегату (*j*=1, 2, …, *n*) становить *Wij*.

Прямі експлуатаційні витрати на виконання *i*-тої операції *j*-м машинним агрегатом складають *Cij*, витрати палива на одиницю роботи на виконання *i*‑тої технологічної операції *j*-м агрегатом складають *Gij*.

Кількість агрегатів кожного складу дорівнює *naj*.

Тривалість зміни у період, що планується, становить - *Тзм*.

Коефіцієнт змінності при виконанні операцій становить *kзм*.

Таблиця 4

Вихідні дані задачі

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Механізована робота | Обсяг робіт,  *F*,  га. | Машинний агрегат | | | | |
| Продуктивність, *Wij*, га/год. / Прямі експлуатаційні затрати, *Сij*, грн/га. / Витрати палива, *Gij*, кг/га | | | | |
| 1 | 2 | 3 | … | *n* |
| Навантаження МД | *F1* | *W11/C11/G11* | *W12/C12 /G12* | *W13/C13/G13* | *…/…/…* | *W1n/C1n /G1n* |
| Транспортування МД | *F2* | *W21/C21/G21* | *W22/C22 /G22* | *W23/C23/G23* | *…/…/…* | *W2n/C2n /G2n* |
| Внесення МД | *F3* | *W31/C31/G31* | *W32/C32 /G32* | *W33/C33/G33* | *…/…/…* | *W3n/C3n /G3n* |
| Оранка | *F4* | *W41/C41/G41* | *W42/C42 /G42* | *W43/C43/G43* | *…/…/…* | *W4n/C4n /G4n* |
| … | *…* | *…* | *…* | *…* | *…/…/…* | *…* |
| *і*-та операція | *Fm* | *Wm1/Cm1/Gm1* | *Wm2/Cm2 /Gm2* | *Wm3/Cm3/Gm3* | *… / …/…* | *Wmn/Cmn /Gmn* |

Необхідно знайти оптимальний план розподілу обсягу робіт за окремими агрегатами, який забезпечив би мінімальні затрати ресурсів (затрат праці *Hij*, витрати палива *Gij*, прямих експлуатаційних затрат *Cij*) на виконання всього обсягу робіт.

Побудову математичної моделі проводимо виходячи з того, що змінною величиною буде обсяг робіт *Хij*, що виконується всіма агрегатами *j*-го складу на *і*-тій операції за період *D* днів, а через *Z* - суму затрат ресурсів (затрат праці, витрати палива, прямих експлуатаційних затрат) на виконання всього обсягу робіт.

Цільову функцію виразимо залежністю:

при мінімізації затрат праці



при мінімізації витрати палива



при мінімізації прямих експлуатаційних затрат



Згідно з умовою задачі потрібно визначити такі значення *Хij*, щоб величина *Z* була мінімальною.

Можливі значення *Хij* будуть мати цілий ряд обмежень.

Зокрема *Хij* буде обмежене, в першу чергу, областю додатніх чисел, тобто



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

**

Виробіток технологічних агрегатів дорівнює

*Xij* = *xij*, га.

Виробіток навантажувальних агрегатів дорівнює

*Xij* = *H·xij*, т.

Виробіток транспортних агрегатів дорівнює

*Xij* = *H·S·xij*, т·км.

Трете обмеження стосується не перевищення тракторами *j*-го складу наявного фонду часу *Фj* в заданому періоді, тобто загальний час використання тракторів *j*-го виду за *D* днів неповинен перевищувати фонду їх робочого часу *Фj*:

*Тj ≤ Фj*.

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



Так як трактори *j*-го типу можуть використовуватись при виконанні декількох операцій, то загальні затрати часу агрегатами цього типу в період *D*, будуть дорівнювати:



Фонд робочого часу *Фj* тракторів *j*-го виду за *D* днів становить

*Фj* = *D·kзм·kп·Тзм·пj;*

де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *kn* | - | коефіцієнт, що враховує частку сприятливих для виконання операції днів. |

Тоді третє обмеження можна записати у вигляді

**

Математичне формулювання задачі набуде вигляду:

знайти оптимум цільової функції

*Z (x) =f (H,G, C) → opt*

при наступних обмеженнях:

I. 

II. **

III. **

Запишемо в розгорненому вигляді математичну модель задачі.

Цільова функція, як загальна величина затрат ресурсів для виконання всього обсягу робіт (по всіх) виконаних комплексом машин, буде дорівнювати:

при оптимізації затрат праці



при оптимізації витрати палива



при оптимізації прямих експлуатаційних затрат



при умовах:









…











де

Рішення даної задачі математичного програмування дозволяє оптимізувати використання комплексів машин.

*Методика рішення задачі лінійного програмування графічним методом (для двохмірної оптимізації)*

Рішення задачі лінійного програмування графічним методом (для двохмірної оптимізації) здійснюється наступним чином:

Визначають область допустимих рішень. Для цього в усіх обмеженнях почергово прирівнюють до нуля змінні *X1* та *X2* і знаходять відповідне значення іншої змінної. Ці значення будуть відповідати точкам перетину граничної прямої обмежень з осями координат *X1* та *X2*.

Визначають напрям поширення області допустимих рішень відносно граничних прямих. Це встановлюють підставляючи в нерівності довільні значення *X1* та *X2*. Якщо при цих значеннях умова обмеження задовольняється, то точка з координатами (*X1і*; *X2і*) знаходиться у півплощині допустимих рішень. Зручно задавати *X1і* = *X2і* = 0 і за умовою обмеження встановлювати приналежність початку координат до області допустимих рішень. Напрямок поширення півплощини допустимих рішень позначають штрихуванням. Область допустимих рішень знаходиться за сукупністю всіх обмежень. Якщо будь-яке з обмежень не впливає на область допустимих рішень, то воно є зайвим.

Положення прямої цільової функції *Z* знаходять довільним наданням її значення, при якому пряма перетинає в межах рисунка осі координат, відсікаючи на них відрізки *Z*/*C1* і *Z*/*C2*. Проводячи плоскопаралельне переміщення прямої цільової функції в напрямку області допустимих рішень, знаходять точку або лінію на її межі, що відповідає оптимальному рішенню. При знаходженні максимуму цільової функції ця точка (лінія) буде знаходитись на верхній межі області допустимих рішень, а при пошуку мінімуму - на нижній.

Розв’язавши рівняння цільової функції з даними оптимальними значеннями *X1* та *X2* знаходять оптимальне значення цільової функції *Z*.



Рис.5. - Рішення задачі лінійного програмування графічним методом

*Приклад побудови математичної моделі задачі оптимального використання комплексів машин з метою мінімізації прямих експлуатаційних затрат на виконання всього обсягу робіт методом лінійного програмування*

Умови задачі:

У господарстві за 5 днів планується провести культивацію на площі 500 га.

На виконання цієї роботи може бути виділено:

1 агрегатТ-150К+КШУ-12;

3 агрегатиМТЗ-80+КПС-4.

Роботи проводяться в 1 зміну.

Відомі годинна продуктивність *Wij* кожного агрегату, а також відповідні прямі експлуатаційні затрати *Сіj* (табл.5).

Потрібно знайти варіант оптимального використання цих агрегатів, забезпечивши мінімум прямих експлуатаційних затрат при виконанні всього обсягу робіт.

Таблиця 5

Вихідні дані задачі

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Показники | Т-150К+КШУ-12 | МТЗ-80+КПС-4 |
| *W*, га/год. | 9,4 | 2,2 |
| *C*, грн. /га. | 3,8 | 6,4 |

Побудову математичної моделі проводимо виходячи з того, що змінною величиною буде площа *Хj*, яку повинен обробити *j*-й машинний агрегат.

Таблиця 6. Розподіл агрегатів за обсягом робіт.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Обсяг робіт, га | Площа обробітку агрегатами | |
| Т-150К+КШУ-12 | МТЗ-80+КПС-4 |
| 500 | *X1* | *X2* |

Цільову функцію запишемо у вигляді виразу:

*Z* = 3,8 *X1* + 6,4 *X2* → *min*;

при наступних умовах:

*Xij* ≥ 0; *i* = 1; *j* = 1, 2;

*X1* + *X2* = 500;

0,106 *X1* ≤ 35;

0,455 *X2* ≤ 105.

Рішення задачі (див. Рис.60) дає наступні результати:

*X1* = 330,2 га;

*X2* = 169,8 га;

*Zmin* = 2341,51 грн.

Це означає, що агрегат на базі трактора Т-150К виконує культивацію на площі 330,2 га.

Агрегати на базі трактора МТЗ-80 виконують культивацію на площі 169,8 га.

Фонд робочого часу трактора Т-150К використовується повністю, а фонд робочого часу тракторів МТЗ-80 недовикористовується на 27,8 години, тобто вони можуть бути в даний проміжок часу зайняті на інших роботах.



Рис.6. - Графічний розв’язок задачі

*Приклади задач оптимального використання МТА з метою мінімізації прямих експлуатаційних затрат на виконання всього обсягу робіт*

Приклад 1.

Умови задачі:

Згідно плану механізованих робіт у господарстві за 10 днів планується провести:

▪ внесення мінеральних добрив на площі 240 га;

▪ оранку на площі 240 га;

▪ культивацію на площі 190 га;

▪ сівбу зернових на площі 360 га;

▪ сівбу кукурудзи на площі 280 га;

▪ сівбу цукрових буряків на площі 130 га.

На виконання всього комплексу робіт може бути виділено з відповідним набором с. /г. машин:

1 тракторК-701;

1 тракторТ-150К;

4 тракториМТЗ-80.

Роботи проводяться в 2 зміни.

Відомі:

▪ годинна продуктивність *Wij* кожного агрегату на *і*-й операції з *j*-м трактором (табл.7);

▪ відповідні прямі експлуатаційні затрати *Сіj*.

Таблиця 7. Вихідні дані задачі

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Технологічна операція | Обсяг робіт, га | Машинні агрегати | | |
| продуктивність, *Wij*, га/год. /прямі експлуатаційні затрати, *Сij*, грн/га | | |
| К-701 | Т-150К | МТЗ-80 |
| Внесення мінеральних добрив | 240 | 28,7/ 2,5 | 19,6/1,6 | 14,1/1,9 |
| Оранка | 240 | 1,7/24,6 | 1,3/15,6 | 0,7/17,8 |
| Культивація | 190 | 13,7/4,5 | 9,4/3,8 | 2,2/6,4 |
| Сівба зернових | 360 | - | 4,1/11,1 | 2,6/6,8 |
| Сівба кукурудзи | 280 | - | 4,9/17,8 | 2,5/11,9 |
| Сівба цукрових буряків | 130 | - | - | 2,1/24,5 |

*Потрібно знайти варіант оптимального використання агрегатів, забезпечивши мінімум прямих експлуатаційних затрат при виконанні всього обсягу робіт.*

*Рішення задачі.*

*Побудову математичної моделі проводимо виходячи з того, що змінною величиною буде площа Хij (табл.8), яку повинен обробити j-й МТА на і-й операції.*

*Таблиця 8. Розподіл агрегатів за видами робіт.*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Технологічна  операція | Обсяг робіт,  га | Площа обробітку тракторами | | |
| К-701 | Т-150К | МТЗ-80 |
| Внесення мінеральних добрив | 240 | *X11* | *X12* | *X13* |
| Оранка | 240 | *X21* | *X22* | *X23* |
| Культивація | 190 | *X31* | *X32* | *X33* |
| Сівба зернових | 360 | - | *X42* | *X43* |
| Сівба кукурудзи | 280 | - | *X52* | *X53* |
| Сівба цукрових буряків | 130 | - | - | *X63* |

*Тоді цільову функцію запишемо у вигляді виразу*

*Z=2,5X11+1,6X12+1,9X13+24,6X21+15,6X22+17,8X23+4,5X31+3,8X32+*

*+6,4X33+11,1X42+6,8X52+17,8X43+11,9X53+24,5X63 → min;*

*при наступних умовах:*

*Xij ≥ 0; i =1, 2, 3, 4, 5, 6; j = 1, 2, 3;*

*X11+X12+X13 = 240;*

*X21+X22+X23 = 240;*

*X31+X32+X33 = 190;*

*X42+X43 = 360;*

*X52+X53 = 280;*

*X63 = 130;*

*0,035X11+0,588X21+0,073X31 ≤ 140;*

*0,051X12+0,796X22+0,106X32+0,244X42+0, 204X52 ≤ 140;*

*0,071X13+1,429X23+0,455X33+0,385X43+0,4X53+0,476X63 ≤ 560.*

*Рішення задачі на ПК із застосуванням програми OKM BASE дає наступні результати (табл.9):*

*X12 = 240 га;*

*X22 = 135,2 га;*

*X23 = 104,8га;*

*X32 = 190 га;*

*X43 = 360 га;*

*X53 = 280 га;*

*X63 = 130 га;*

*Zmin = 14045,6 грн.*

*Таблиця 9.*

*Оптимальний розподіл агрегатів за видами робіт*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Технологічна  операція | Обсяг робіт,  га | Площа обробітку тракторами | | |
| К-701 | Т-150К | МТЗ-80 |
| Внесення мінеральних добрив | 240 | - | 240 | - |
| Оранка | 240 | - | 135,2 | 104,8 |
| Культивація | 190 | - | 190 | - |
| Сівба зернових | 360 | - | - | 360 |
| Сівба кукурудзи | 280 | - | - | 280 |
| Сівба цукрових буряків | 130 | - | - | 130 |

Це означає, що агрегати на базі трактора Т-150К виконують внесення мінеральних добрив на всій площі (240 га), оранку на площі 135 га, культивацію на всій площі (190 га).

Агрегати на базі трактора МТЗ-80 виконують оранку на площі 104,8 га, сівбу зернових, кукурудзи та цукрових буряків на всій площі (відповідно 360, 280 та 130 га).

Агрегати на базі трактора К-701 не використовуються, тобто вони можуть бути в даний проміжок часу зайняті на інших роботах.

Фонд робочого часу трактора Т-150К використовується повністю, а фонд робочого часу тракторів МТЗ-80 недовикористовується на 97,76 годин, тобто вони також можуть бути в даний проміжок часу зайняті на інших роботах.

Приклад 2

Умови задачі:

Згідно плану механізованих робіт у господарстві з 19.07 по 26.07 планується провести:

▪ пряме комбайнування на площі- 450 га;

▪ транспортування зерна з об’ємом робіт - 4050 т. км;

▪ підбір соломи на площі- 450 га;

▪ транспортування соломи з об’ємом робіт- 1080 т. км;

▪ скиртування соломи з об’ємом робіт- 2700 т;

▪ очищення зерна з об’ємом робіт- 1215 т;

▪ транспортування зерна з об’ємом робіт - 11664 т. км.

На виконання всього комплексу робіт може бути виділено з відповідним набором с. г. машин:

▪ 3 - комбайна ДОН-1500Б;

▪ 3 - комбайна ДОН-2600;

▪ 2 - комбайна МФ-34

▪ 3 - автомобілів КрАЗ-250;

▪ 6 - автомобілів КамАЗ-5320;

▪ 13 - тракторів ЮМЗ-6АКЛ;

▪ 13 - тракторів МТЗ-80;

▪ 2 - трактори МФ-6130;

▪ 1 - очисників зерна ЗАВ-40

Відомі витрата палива *Gij*, кг/га, годинна продуктивність *Wij* кожного агрегату на *і*-й операції з *j*-м трактором (табл.10), а також відповідні прямі експлуатаційні затрати *Сіj*.

Знайдемо варіант оптимального використання агрегатів, що забезпечує мінімум прямих експлуатаційних затрат при виконанні всього обсягу робіт.

Рішення задачі

Побудову математичної моделі проводимо виходячи з того, що змінною величиною буде площа *Хij* (табл.78), яку повинен обробити *j*-й машинний агрегат на *і*-й операції.

Тоді цільову функцію запишемо у вигляді виразу

*Z* (*C*) = 305,41*Х11* + 297,06*Х12* + 499,56*Х13* +

+ 1,45*Х24* +1,92*Х25* +

+ 26,1*Х36* + 20,45*Х37* + 20,41*Х38* +

+ 13,44*Х47* + 14,50*Х48* +

+ 6,0*Х57* + 6,28*Х58* +

+ 15,73*Х69* +

+ 1,12*Х73* → *min*.

при наступних умовах:

*Х11* + *Х12* + *Х13* = 450;

9*Х24* + 9*Х25* = 4050;

*Х36* + *Х37* + *Х38* = 450;

2,4*Х57* + 2,4*Х48* =1080;

6*Х57* + 6*Х58* = 2700;

3*Х69* = 1350;

28,8 *Х75* = 11664;

0,365*Х11* ≤ 168;

0,3846*Х12* ≤ 84;

0,3378*Х13* ≤ 84;

0,3295*Х24* ≤ 252;

0,3681*Х25* + 0,3928*Х75* ≤ 759;

0,3584*Х36* ≤ 84;

0,3817*Х37* + 0,952*Х47* + 1,2448*Х57* ≤ 840;

0,3676*Х38* +0,9302*Х48* + 1, 2048*Х58* ≤ 336;

0,1167*Х69* ≤ 84.

Рішення задачі на ПК із застосуванням програми OKM BASE дає наступні результати (табл.10):

Таблиця 10

Оптимальний розподіл обсягів робіт

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Технічні операції | Обсяг робіт | Машинні агрегати | | | | | | | | |
| Дон‑2600 | Дон‑1500Б | МФ‑34 | КрАЗ‑250 | КамАЗ‑5320 | МФ‑6130 | ЮМЗ‑6АКЛ | МТЗ‑80 | ЗАВ‑40 |
| Пряме комбайнування | 450 га | 231,6 | 218,4 | - |  |  |  |  |  |  |
| Транспортування зерна | 4050 т‑км |  |  |  | 450 | - |  |  |  |  |
| Підбір соломи | 450 га |  |  |  |  |  | - | - | 450 |  |
| Транспортування соломи | 1080 т‑км |  |  |  |  |  |  | 450 | - |  |
| Скиртування соломи | 2700 т |  |  |  |  |  |  | 329,1 | 120,9 |  |
| Очищення зерна | 1215 т |  |  |  |  |  |  |  |  | 450 |
| Транспортування зерна | 11664 т‑км |  |  |  |  | 450 |  |  |  |  |

*Zопт* = 161812,1 грн.

Це означає, що комбайн ДОН-1500Б виконує збирання на площі 218,4 га, а комбайн ДОН-2600 - 231,6 га.

На транспортуванні зерна з поля буде використовуватися лише КрАЗ-250 - 4050 т. - км, а КамАЗ-5320 буде здійснювати транспортування зерна за межами господарства в повному обсязі - 11664 т. - км.

Агрегати на базі трактора МТЗ-80 виконують підбір соломи на всій площі (450 га).

Агрегати на базі трактора ЮМЗ-6АКЛ виконують весь об’єм робіт по транспортуванню соломи на край поля (4050 т. - км).

На скиртуванні соломи задіяні агрегати на базі тракторів ЮМЗ-6АКЛ та МТЗ-80 з такими обсягами робіт:

ЮМЗ-6АКЛ- 1586,2 т;

МТЗ-80- 602,3 т.

Агрегати зерноочисні ЗАВ-40 виконують весь обсяг робіт (1215 т).

Агрегати на базі трактора МФ-6130 не використовуються, тобто вони можуть бути в даний проміжок часу зайняті на інших роботах. Також не використовується комбайн МФ-34, який може бути резервним.

*Методика вирішення на ПК задачі лінійного програмування*

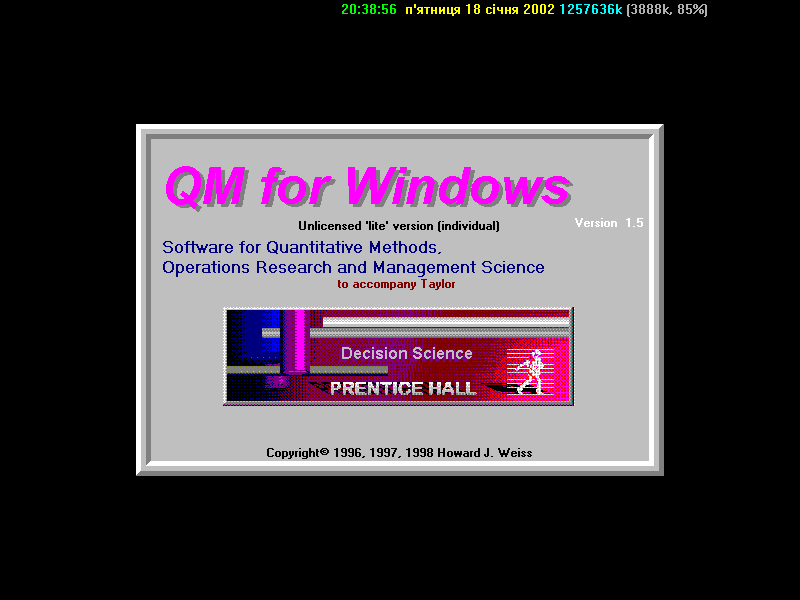


Рис.7. - Загальний вигляд вікна комп’ютерної програми „*QM for Windows*”

Натисніть клавіші *Number of constrains* та *Number of Variables* (Рис.8) та введіть необхідну кількість обмежень (*constraints*) і перемінних (*variables*).

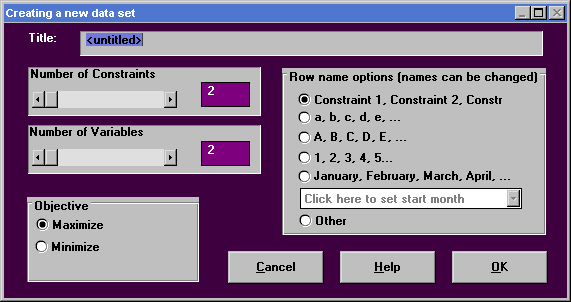


Рис.8. - Загальний вигляд вікна

Кнопкою *Objective* визначте тип оптимізації і натисніть клавішу *Ок*.

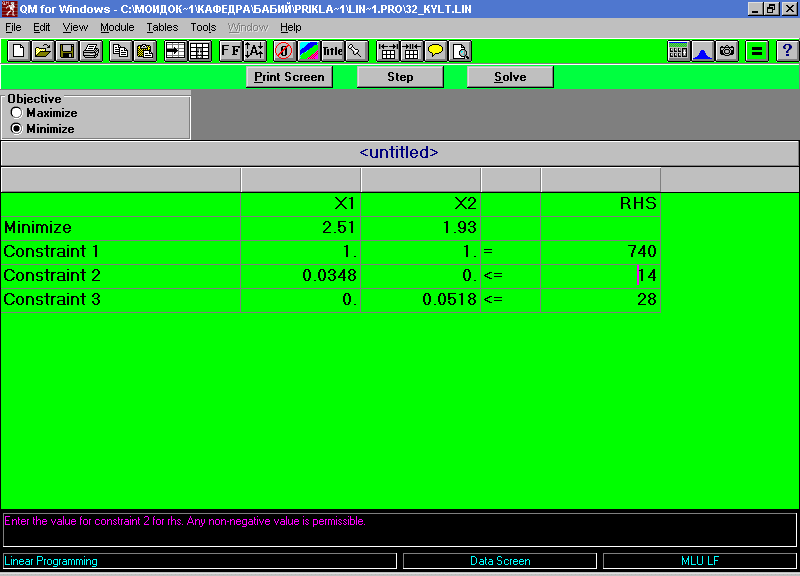


Рис.9. - Загальний вигляд вікна

У верхню вільну стрічку матриці введіть коефіцієнти цільової функції. У нижні стрічки введіть коефіцієнти рівнянь обмежень та вільні члени цих рівнянь.

Натисніть клавішу *Solve* для рішення задачі.

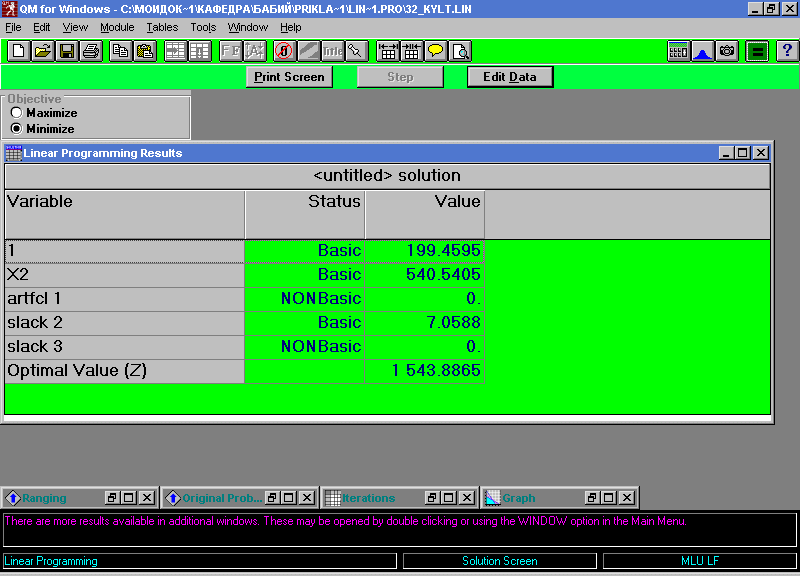


Рис.10. - Загальний вигляд вікна

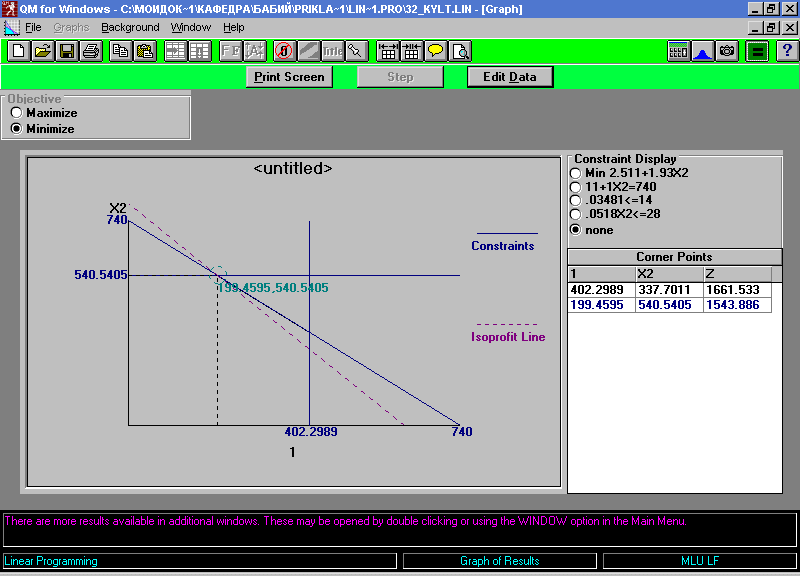


Рис.11. - Загальний вигляд вікна

У випадку рішення двомірної задачі лінійного програмування для побудови графічної інтерпретації рішення використайте кнопку " = ".

## 6. Аналіз показників машиновикористання та оцінка технічного оснащення виробництва

*Методика визначення та оцінки показників машиновикористання*

До найважливіших показників машиновикористання належать:

обсяг (Ω*м*) і щільність (*ωм*) механізованих робіт;

річний та змінний виробіток трактора (Ω*т*);

коефіцієнт своєчасності механізованих робіт (*kсв*);

коефіцієнт змінності (*kзм*);

питома витрата палива на еталонний гектар (*gп*).

Річний обсяг механізованих робіт визначається як сума виробітків окремих машинних агрегатів на різних операціях протягом року в умовних еталонних гектарах:



де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *λj* | - | еталонна годинна продуктивність *j*-го машинного агрегату, ум. ет. га/год.; |
| *Nзм* | - | число нормозмін на виконання *і*-тої операції; |
| *Тзм* | - | тривалість нормативної зміни, год. |

Щільність механізованих робіт може визначатися як у господарстві, так і для окремих сільськогосподарських культур. Цей показник характеризується відношенням обсягу механізованих робіт Ω*м* (у господарстві чи щодо культури) до площі *Fп* ріллі або певної культури:



Своєчасність робіт забезпечується умовою



де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Wj* | - | продуктивність *j*-го машинного агрегату за годину змінного часу; |
| *nj* | - | число агрегатів *j*-го типу; |
| *Тзм* | - | тривалість нормативної зміни; |
| Ω*м* | - | обсяг робіт у фізичних одиницях; |
| *Dp* | - | число днів, протягом яких потрібно виконати роботи; |
| *kзм* | - | коефіцієнт змінності. |

Для загальної оцінки рівня виконання робіт в оптимальні агротехнічні строки (*Рсв*) використовують відношення фактичного обсягу робіт, що виконаний в оптимальні строки (Ω*н*), до запланованого (Ω*нп*):



Своєчасність залежить як від обсягів, так і від тривалості робіт, проведених поза оптимальними строками. Уточнений показник своєчасності робіт для особливо відповідальних щодо строків їх проведення (сівба, збирання, хімічний захист) можна виразити через обсяги виконаної роботи в межах нормативного агротехнічного строку (Ω*н*) і поза його межами (*Δ*Ω), а також нормативне число днів (*Dн*) і відхилення від нього (*ΔD*):



за умов:



*ΔD* = *Dнп* - *Dн*, якщо*Dнп* > *Dфп*,*Dфз* ≤ *Dнз*;

*ΔD* = *Dфз* - *Dнз*, якщо*Dфз* > *Dнз*,*Dфп* ≥ *Dнп*;

*ΔD* = (*Dнп* - *Dфп*) - (*Dфз* - *Dнз*), якщо*Dнп* > *Dфп*,*Dфз* > *Dнз*;

*ΔD* = 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. |

Показник своєчасності робіт бажано мати близьким до 1, тобто *Δ*Ω → 0 і *ΔD* → 0.



Середньорічна питома витрата палива на еталонний гектар визначається відношенням



де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Gпр* | - | загальна витрата палива на виконання механізованих робіт за рік, кг. |

Рівень питомої витрати палива стосовно нормативного значення показника *gпн* визначається як



Коефіцієнт змінності роботи тракторів розраховується за формулами:

у певному періоді –



за рік –



де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *Тф* | - | фактичний час роботи трактора за *Dp* днів, год.; |
| *Тнзм* | - | тривалість нормативної зміни, год.; |
| *Nмзм* | - | число машинозмін; |
| *Nмд* | - | число машиноднів. |

*Оцінка впливу факторів на показники машиновикористання*

На показники машиновикористання впливає сумісна дія факторів різної природи. Для керування ситуацією важливо встановити міру впливу окремих факторів на кінцеві результати.

Міру впливу окремих факторів на показник можна оцінити методом *елімінування* (вилучення), при якому почергово визначається вплив одного фактора при нейтралізації впливу інших змінних.

Елімінування здійснюється шляхом ланцюгових підстановок (табл.11).

Таблиця 11.

Загальна схема ланцюгових підстановок

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Підстановка | Фактори | | | | | | Функція  *y* | Вплив  фактора |
| *x1* | *x2* | *…* | *xі* | *…* | *xn* |
| Нульова | *x10* | *x20* | *…* | *xі0* | *…* | *xn0* | *y0* | - |
| Перша | *x1ф* | *x20* | *…* | *xі0* | *…* | *xn0* | *y1* | *y1* - *y0* |
| Друга | *x1ф* | *x2ф* | *…* | *xі0* | *…* | *xn0* | *y2* | *y2* - *y1* |
| *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* |
| *і*-та | *x1ф* | *x2ф* | *…* | *xіф* | *…* | *xі0* | *уі* | *yі* - *yі* - *1* |
| *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* | *…* |
| *n*-на | *x1ф* | *x2ф* | *…* | *xіф* | *…* | *xnф* | *уф* | *yф* - *yn* - *1* |

Нульова підстановка характеризує базисні (нормативні) дані факторів *хі* та функції *y0*. індекс *ф* ставиться біля фактичних значень факторів і функції. Число підстановок відповідає числу факторів, що входять у розрахункову формулу.

Баланс відхилень визначають за формулою:



де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *у0* і *уф* | - | базисне (планове) і фактичне значення функції. |

*Методика визначення та оцінки показників технічного оснащення*

Ефективність сільськогосподарського виробництва тісно пов’язана з рівнем механізації технологічних процесів, який залежить від структури та складу машинно-тракторного парку господарства.

Аналіз технічного оснащення проводиться з метою виявлення наявних невідповідностей між існуючим станом механізації і можливостями підвищення рівня механізації та структурного удосконалення машинно-тракторного парку.

Основними показниками технічного оснащення господарства є:

тракторозабезпеченість;

машинозабезпеченість;

енергонасиченість землеробства;

енергоозброєність праці.

Тракторозабезпеченість - (*nтр*) визначається відношенням середньорічної кількості еталонних тракторів (*nтр. ет*) до 100 га ріллі (*Fp*), тобто



де

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *nфт* | - | число тракторів певної марки; |
| *λт* | - | коефіцієнт їх переведення в еталонні трактори. |

Машинозабезпеченість - (*mсгм*) характеризується відношенням балансової вартості сільськогосподарських машин - (*Бсгм*), що агрегатуються з тракторами, до балансової вартості тракторів - (*Бт*):



Енергонасиченість землеробства - (*Eз*) оцінюється сумарною ефективною потужністю тракторів, комбайнів, самохідних машин і енергетичних засобів - (*ΣΝен*), що припадає на 100га ріллі:



Енергоозброєність праці оцінюється сумарною ефективною потужністю тракторів, комбайнів, самохідних машин і енергетичних засобів - (*ΣΝен*), що припадає на одного середньорічного працівника - (*nп*), зайнятого на виробництві або на одного механізатора - (*nм*). Відповідні формули мають вигляд:

 і 

Рівень механізації виробництва або окремих його процесів визначається як відношення обсягу механізованих робіт - (Ω*мех*) або затрат праці - (*Змех*) при механізованих роботах до загального обсягу робіт - (Ω*заг*) або затрат праці - (*Ззаг*):

 і 

Рівень показників визначається як відношення фактичного його значення - (*Пф*) до нормативного або кращого з досягнутих у господарствах певної зони - (*Пн*), якщо їх покращання йде в напрямку зростання - (*Рп+*) і навпаки, коли показники покращуються в сторону зниження - (*Рп-*), тобто

 і 

За рівнем показників технічного оснащення виробництва роблять висновки щодо його удосконалення і розвитку.

## Використана література

1. Білоусько Я. Узагальнення та прогнозні оцінки форм машиновикористання у сільському господарстві. // Техніка АПК. - 1998. - №2. - С.8-9.
2. Свирщевский Б.С. Основы эксплоатации автотракторного и машинного парка. - М. - Л., Сельхозгиз, 5 тип. Трансжелдориздата в Мск. 1935. - 279с.
3. Киртбая Ю.К. Основы теории использования машин в сельском хозяйстве. - К.; М.: Машгиз, 1957. - 278с.
4. Киртбая Ю.К. Поліпшення використання МТП в колгоспах і радгоспах. // Поліпшення використання МТП в колгоспах і радгоспах. (Збірник статей) - К., Вид-во Укр. акад. с. г. наук, 1960. - С.15-35.
5. Свирщевский Б.С. Эксплуатация машинно-тракторного парка. [Для ин-тов и фак. Механизации и электрификации с. х.] 3-е перераб. изд. - М., Сельхозгиз, 1958. - 660с.
6. Натанзон І.Й. Комплектування машинно-тракторного парку колгоспів і радгоспів різних зон УРСР. - К., Вид-во Укр. акад. с. г. наук, 1961. - 104с.
7. Журавлев Г.Е., Лобань В.Г. Определение состава машинно-тракторного парка для сельскохозяйственных предприятий. // Определение состава МТП с использованием математического программирования. Материалы выездного пленума отд-ния механизации и электрификации сел. хоз-ва ВАСХНИЛ в 1964г. [Ред. коллегия: акад. Лучинский и др.] - М., "Колос" 1966. - С.3-23.
8. Губко В.Р., Финн Э.А., Варшавский М.Л., Определение состава машинно-тракторного парка для хозяйств основных зон Украинской ССР. - К.: УкрНИИНТИ, 1972. - 44с.
9. Терехов О.П. Математична модель задачі на розрахунок оптимального плану машиновикористання // Застосування математичних методів у дослідженнях складних процесів сільськогосподарського виробництва. / Ред. кол.: В.С. Крамаров / - К., Урожай, 1972. - С.3-7.
10. Губко В.Р., Фінн Е.А., Комзакова Л.М. Питання методики і результати розрахунків машинно-тракторного парку на ЕОМ. // Застосування математичних методів у дослідженнях складних процесів сільськогосподарського виробництва. / Ред. кол.: В.С. Крамаров / - К., Урожай, 1972. - С.10-17.
11. Тихонов В.А. Экономика и организация применения техники в сельском хозяйстве.М., "Колос", 1972.343с.
12. Определение оптимальной потребности в тракторах и сельхозмашинах (методические рекомендации по проектированию и эксплуатации автоматизированной системы расчетов) / - Минск, НИИЭиЭММП при Госплане БССР. 1979. - 114с.
13. Саакян Д.Н. Система показателей комплексной оценки мобильных агрегатов. - М., "Машиностроение", 1969. - 256с.
14. Л.В. Погорелый, В.Г. Бильский, Н.П. Кононенко Научные основы повышения производительности сельскохозяйственной техники. - К.: Урожай, 1989. - 240с.
15. Зангиев А.А. Оптимизация состава и режимов работы МТА по критериям ресурсосбережения: Автореф. дис… д-ра техн. наук: 05.20.03/ МИИСП им. Горячкина. - М., 1988. - 33с.
16. Производственная эксплуатация машинно-тракторного парка: Учебник для студентов высших учебных заведений по специальности 311300 "Механизация сельского хозяйства" / Зангиев А.А., Лышко А.Н., Скороходов О.А. - М.: Колос, 1996. - 320с.