

Міністерство освіти і науки України

Національний університет водного господарства  
та природокористування

Кафедра агроінженерії

**02-07-51М**

### **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання практичних робіт та самостійної роботи  
з дисципліни «Ресурсо- і енергозбереження в АПК»  
для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня  
за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія»  
спеціальності 208 «Агроінженерія»  
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано  
науково-методичною  
радою з якості ННМІ  
Протокол № 2 від 02.10.2024 р.

Рівне – 2024

Методичні вказівки для виконання практичних робіт та самостійної роботи з дисципліни «Ресурсо- і енергозбереження в АПК» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія» спеціальності 208 «Агроінженерія» денної та заочної форм навчання. [Електронне видання] / Голотюк М. В., Налобіна О. О., Ювчик Н. О., Шимко А. В. – Рівне : НУВГП, 2024. – 42 с.

Укладачі: Голотюк М. В. – к.т.н., доцент кафедри агроінженерії;  
Налобіна О. О. – д.т.н., професор, завідувачка кафедри агроінженерії;  
Ювчик Н. О. – старший викладач кафедри агроінженерії;  
Шимко А. В. – к.т.н., доцент кафедри агроінженерії.

Відповідальний за випуск: Налобіна О. О., доктор технічних наук, професор, завідувачка кафедри агроінженерії.

Попередня версія 02-01-485

© М. В. Голотюк,  
О. О. Налобіна,  
Н. О. Ювчик,  
А. В. Шимко, 2024  
© НУВГП, 2024

## Вступ

При вирішенні інженерних та виробничих задач необхідно швидко прийняти правильне рішення, скласти оптимальний план виробничої діяльності. Прийняття рішення пов'язане з вибором оптимального варіанту, в якому, досить часто, шукані величини виражені неявно і залежать від багатьох виробничих факторів.

Для вирішення такого роду задач існує математичний апарат, який дозволяє відшукати оптимальний варіант побудови плану виробничої діяльності.

Найпростішим методом пошуку оптимального рішення є графічний. Більш складними, але точнішими методами є: симплекс-метод, модифікований двоїстий симплекс-метод, транспортний. Вказані методи відносяться до математичного лінійного програмування.

До виробничих задач, для яких оптимальне рішення можна знайти методами лінійного програмування належать:

- знаходження оптимального плану випуску продукції;
- раціональне використання виробничих потужностей та технічних засобів;
- задача розкрою матеріалів;
- транспортна задача (мінімізація транспортних витрат на перевезення вантажів);
- планування виходу на роботу працівників (графік зайнятості) та ін.

Для розв'язування виробничих задач за допомогою ПЕОМ доцільно використовувати системи **Mathcad**, **Matlab**, табличний процесор **Microsoft Excel** та інші пакети прикладних програм.

### 1. Методика розв'язку оптимізаційних виробничих задач за допомогою надбудови “Excel” “Пошук рішення”.

#### 1.1. Структура надбудови “Пошук рішення”

“Пошук рішення” – це надбудова “Excel”, яка дозволяє вирішувати задачі з декількома незалежними змінними, тобто такі задачі, в яких змінні взаємодіють одна з одною за допомогою різних

формул. Надбудова “Пошук рішення” може знайти оптимальне рішення задачі.

Найбільш зручно знайомитись із “Пошуком рішення”, застосовуючи його для вирішення конкретних виробничих задач. В пакет програм “Microsoft Office” входить робоча книга “Excel” з прикладами задач. Вона знаходиться у файлі C:\Program Files\Microsoft Office\Office\Examples\Solver\Solvsamp.xls. Після відкриття цієї робочої книги з’являється перша задача, яка показана на рис. 1.1. В кожному робочому листі є пояснення до прикладу і опис основних комірок, які використовуються в задачі.

- **Короткий огляд.** Це перший лист в книзі Solvsamp.xls. В ньому вирішується задача підвищення прибутковості компанії шляхом вибору оптимальної кількості засобів, які повинні бути витрачені на рекламу.
- **Структура виробництва.** В цьому прикладі представлена задача оптимізації асортименту товарів, які випускаються, враховуючи затрати на виробництво і об’єм випуску кожного із товарів.
- **Транспортна задача.** Показана задача оптимізації роботи декількох заводів – виробників в залежності від потреб декількох гуртових складів, а також оптимізація витрат для забезпечення всіх складів необхідною кількістю товарів.
- **Графік зайнятості.** Таку задачу доводиться вирішувати на більшості підприємств: планувати зайнятість таким чином, щоб забезпечити потреби виробництва, які постійно змінюються при мінімально можливих витратах.
- **Управління капіталом.** В цій задачі показано, як можливо оптимізувати прибуток, який отримано від різних видів інвестицій ( розглядаються одно-, трьох, і шестимісячні кредити), і при цьому врахувати можливість використання частини прибутку у випадку необхідності.
- **Портфель цінних паперів.** В цьому прикладі визначається оптимальне співвідношення різних видів цінних паперів, які необхідно мати для того, щоб максимально збільшити прибуток при мінімально можливому ризику.
- **Проектування ланцюга.** Розглядається задача розрахунку електричного ланцюга у відповідності з визначеними конструктивними вимогами.

Для більшості із задач, які наведені в прикладах, спочатку

необхідно відповідним чином налаштувати засіб “Пошук рішення”. Наприклад, щоб запустити “Пошук рішення” для задачі про графік зайнятості необхідно виконати наступні дії:

1. Відкриваємо робочий лист *Графік зайнятості*.
2. Вибираємо команду *Сервіс* ⇒ *Пошук рішення*.

З’явиться діалогове вікно “Пошук рішення” (рис.2).

Якщо в меню *Сервіс* відсутня команда *Пошук рішення*, тоді необхідно завантажити цю надбудову Excel. Виберіть команду *Сервіс* ⇒ *Надбудови* і активізуйте надбудову *Пошук рішення*. Якщо цієї надбудови немає в діалоговому вікні *Надбудови*, то необхідно за допомогою панелі управління *Windows* встановити цю надбудову із інсталяційного пакету Microsoft Office.

В діалоговому вікні “Пошук рішення” є три основних параметри:

- *Встановити цільову комірку*
- *Змінюючи комірки*
- *Обмеження*

Спочатку необхідно заповнити поле *Встановити цільову комірку*. В усіх задачах для засобу “Пошук рішення” оптимізується результат в одній із комірок робочого листа. Цільова комірка пов’язана з іншими комірками цього робочого листа за допомогою формул. Засіб “Пошук рішення” використовує формули, які дають результат в цільовій комірці, для перевірки можливих значень. В даному випадку використовують групу перемикачів параметра *Рівною*, щоб вказати, яким чином необхідно оптимізувати результат в цій цільовій комірці. Можна вибрати пошук найменшого або найбільшого значення для цільової комірки або встановити конкретне значення.

Другий важливий параметр “Пошуку рішення” – це параметр *Змінюючи комірки*. Комірки, які змінюються – це ті комірки, значення в яких будуть змінюватись для того, щоб оптимізувати результат в цільовій комірці. Для пошуку рішення можна вказати до **200** комірок, які змінюються. До комірок, які змінюються існують дві основні вимоги:

1. комірки не повинні включати формул;

2. зміна їх значень повинна відображатись на зміні результату в цільовій комірці (цільова комірка залежна від комірок, які змінюються).

Третій, основний параметр, який необхідно вводити для пошуку рішення, - це список обмежень. **Обмеження** – це правила, які “Пошук рішення” буде використовувати при знаходженні правильної відповіді. Якщо обмеження вибрані некоректно, то “Пошук рішення” може видати рішення, які не будуть мати змісту, наприклад скласти графік для від’ємного значення робочого часу або запропонувати, щоб підприємство випускало нереальну кількість продукції.

Після натискання на кнопку **Виконати** “Пошук рішення” починає шукати відповідь. Коли відповідь буде знайдена, з’являється діалогове вікно **Результати пошуку рішення**.

Перед тим, як приймати рішення, яке запропоноване “Пошуком рішення”, необхідно перевірити результат, який був запропонований. Якщо рішення має зміст і є прийнятним, то можна підтвердити результати, після чого зміни будуть внесені в робочий лист.

### **1.2. Звіт про результати пошуку рішення**

Існуює три типи звітів, які можна проглянути після того, як “Пошук рішення” закінчить свою роботу: **Результати**, **Стійкість** і **Межі**. В діалоговому вікні **Результати пошуку рішення** можна вибрати потрібний звіт, перш ніж клацнути по кнопці **ОК**. Кожен звіт створюється на окремому листу робочої книги.

В звіті про результати представлені результати, які отримані за допомогою “Пошук рішення”. В цей звіт включені вихідні і кінцеві значення цільової комірки, перевірки всіх комірок, які змінюються і поправка на обмеження, які були визначені для даної задачі.

В звіті про стійкість приводяться відомості про відносну стійкість кожної комірки, що змінюється, на цільову комірку.

В звіті по межах показаний вплив обмежень на пошук рішення.

### 1.3. Налаштування параметрів пошуку рішення

Перед тим, як вирішувати задачу, клацнувши по кнопці **Виконати** в діалоговому вікні **Пошук рішення**, доцільно змінити деякі параметри. Це також необхідно зробити в тому випадку, коли автоматично знайти рішення не вдалось або знайдене рішення виявилось неприйнятним. Для цього в діалоговому вікні **Пошук рішення** необхідно клацнути по кнопці **Параметри**. Відкриється діалогове вікно **Параметри пошуку рішення**. В табл. 1.1 описані опції цього діалогового вікна.

Таблиця 1.1.

Параметри пошуку рішення

№ з/п	Параметри	Опис
1	2	3
1.	Максимальний час	Визначає максимальний час виконання задачі. В цьому полі можна вказати час до 32767 с (9,1 год)
2.	Гранична кількість ітерацій	Визначає максимальну кількість можливих рішень, які будуть випробувані перш, ніж “Пошук рішення” не знайде прийнятного рішення, або представить найкращий із результатів, який зможе знайти за допомогою такої кількості ітерацій. Максимальна кількість – 32767 ітерацій.
3.	Відносна похибка	Точність, з якою виконується наближення комірки до цільового значення або до вказаних границь. Обчислення з великою кількістю знаків після коми (наприклад, 0,000001, встановлене по замовчуванню) дають більш точні рішення, ніж обчислення з меншою кількістю знаків (наприклад,

		0,01), однак при більшій точності для рішення задачі необхідно більше часу.
4.	Допустиме відхилення	Якщо в задачі встановлено цілочисельне обмеження, то її трудніше рішення. Для задач з цілочисельним обмеженням можна ввести більш високе значення відхилення, щоб пошук рішення виконувався швидше за рахунок деякої втрати точності.
5.	Сходжуваність	Для нелінійних задач сходжуваність показує мінімальне значення зміни, яке повинно враховуватись в кожній ітерації. Якщо зміна значення цільової комірки менша за вказане значення сходжуваності для п'яти ітерацій, пошук рішення припиняється і пропонується найкращий із знайдених варіантів. Чим менше вказане значення сходжуваності, тим більше часу потрібно для пошуку рішення.
6.	Лінійна модель	Якщо відомо, що дана задача має лінійний характер, то можна встановити цей параметр, щоб скоротити час, необхідний для пошуку рішення.
7.	Невід'ємні значення	Якщо цей параметр встановлений, то від'ємні значення не будуть підставлятись в жодну із комірок, які змінюються. (Альтернатива – запис обмеження, що всі значення в комірках, які змінюються, більші або дорівнюють нулю).
8.	Автоматичне масштабування	Якщо комірки, які змінюються і цільова комірка відрізняються на декілька порядків, тоді необхідно встановити цей параметр, щоб результати були



		точними.
9.	Показувати результати ітерацій	Якщо встановлений цей параметр, то після кожної виконаної ітерації пошук рішення буде зупинитись. Це допоможе виконати налагодження пошуку рішення.
10.	Завантажити модель	Завантажує модель – набір параметрів пошуку – із збереженого набору параметрів робочого листа.
11.	Зберегти модель	Зберігає модель в одній або декількох комітках робочого листа, після чого її можна знову використовувати. Кнопки <i><b>Завантажити модель</b></i> і <i><b>Зберегти модель</b></i> використовуються для збереження моделі в проміжках між сеансами роботи або при роботі з кількома моделями для однієї і тієї ж задачі.
12.	<b>Оцінки</b>	
	Лінійна	Цей параметр встановлюється, якщо задача має лінійний характер.
	Квадратична	Цей параметр встановлюється, якщо задача має нелінійний характер.
13.	<b>Різниці</b>	
	Прямі	Цей перемикач встановлений по замовчуванню і підходить для вирішення більшості задач. Використовується, якщо комірки, які мають обмеження незначно змінюються при кожній ітерації.
	Центральні	Якщо комірки, які мають обмеження змінюються швидко і на великі значення, то установка цього

		перемикача може підвищити точність обчислень.
14.	<b>Метод пошуку</b>	
	Ньютона	Метод Ньютона – один із двох методів, який використовується для пошуку рішення. Він вимагає більше пам'яті, але виконується при меншій кількості ітерацій.
	Спряжених градієнтів	Вимагає менше пам'яті, але використовує більше ітерацій. Застосовується при роботі з дуже великими задачами.

## 2. Приклади математичних моделей виробничих задач лінійного програмування.

Лінійне програмування – це розділ математики, в якому вивчаються методи знаходження мінімуму, або максимуму лінійної функції скінченного числа змінних при умові, що змінні задовільняють скінченному числу додаткових умов (обмежень), які мають вигляд лінійних рівнянь або лінійних нерівностей.

Тобто, в загальному випадку, задача лінійного програмування може бути сформульована наступним чином.

Необхідно знайти такі значення дійсних змінних  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , для яких цільова функція

$$Q(x) = p_1x_1 + p_2x_2 + \dots + p_nx_n$$

прийме мінімальне (максимальне) значення на множині точок, координати яких задовільняють умови:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n = b_1 ,$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n = b_2 ,$$

.....

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n = b_m ,$$

$$x_1 \geq 0, \quad x_2 \geq 0, \quad \dots, \quad x_n \geq 0.$$

Коефіцієнти  $a_{ij}, b_i, p_j$  ( $i=1,2, \dots, m; j=1,2, \dots, n$ ) – дійсні числа, причому  $b_1 \geq 0, \quad b_2 \geq 0, \dots, \quad b_m \geq 0$ .

На початковому етапі вирішення оптимізаційних задач необхідно скласти математичну модель задачі, враховуючи фактори, від яких залежить кінцевий результат. Приклади складання математичних моделей виробничих задач наведені нижче.

### ***2.1. Задача про планування випуску продукції***

Необхідно виготовити чотири види деталей  $A_i$  в кількостях від  $a_i$  до  $b_i$  ( $i=1, 2, 3, 4$ ). Прибуток від реалізації однієї деталі складає  $p_i$ . На виготовлення кожної деталі  $A_i$  витрачається  $a_{ij}$  хвилин робочого часу на кожному із верстатів  $M_j$  ( $j=1, 2, 3$ ), ресурс використання яких повинен бути в межах від  $n_j$  до  $m_j$  хвилин. Необхідно скласти такий план виробництва, щоб прибуток від реалізації деталей був максимальний.

#### **Модель задачі**

Вводимо змінну  $x_i$  – кількість деталей виду  $A_i$ , які необхідно виготовити.

Тоді:

$$a_{1j}x_1 + a_{2j}x_2 + a_{3j}x_3 + a_{4j}x_4 \leq m_j \quad \text{для } j=1, 2, 3;$$

$$a_{1j}x_1 + a_{2j}x_2 + a_{3j}x_3 + a_{4j}x_4 \geq n_j \quad \text{для } j=1, 2, 3;$$

$$x_i \leq b_i, \quad x_i \geq a_i, \quad x_i \geq 0 \quad \text{для } i=1, 2, 3, 4.$$

Прибуток від реалізації деталей (цільова функція):

$$P_{\max}(x) = p_1x_1 + p_2x_2 + p_3x_3 + p_4x_4.$$

### ***2.2. Задача про оптимальний розкрій матеріалів***

Для заготовок у вигляді стержнів довжиною  $l$  кожний є варіанти розкрою  $Z_i$  ( $i=1, 2, 3, 4, 5, 6$ ). Необхідно отримати  $a_j$  частин  $T_j$  довжиною  $l_j$  ( $j=1, 2, 3, 4$ ). При кожному варіанті розкрою отримуємо  $k_{ij}$

частин  $T_j$ . Яким чином слід проводити розкрій, щоб отримати необхідну кількість частин з мінімальної кількості стержнів?

### Модель задачі

Вводимо змінну  $x_i$  – кількість стержнів, розрізаних згідно варіанту розкрою  $Z_i$ .

Тоді:

$k_{1j}x_1 + k_{2j}x_2 + k_{3j}x_3 + k_{4j}x_4 + k_{5j}x_5 + k_{6j}x_6 \geq a_j$  для  $j=1, 2, 3, 4$ ;

$x_i \geq 0$  для  $i=1, 2, 3, 4, 5, 6$ .

Мінімальна кількість стержнів (цільова функція):

$$Q_{\min}(x) = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6.$$

**Примітка:** умова  $k_{i1}l_1 + k_{i2}l_2 + k_{i3}l_3 + k_{i4}l_4 \leq l$ , накладена на коефіцієнти, міститься у визначенні “варіант розкрою” і не належить до умов оптимізації.

### 2.3. Транспортна задача.

Транспортна задача полягає в знаходженні такого плану перевезень продукції від  $m$  складів до  $n$  споживачів, при якому витрати будуть мінімальні. Якщо споживач  $j$  отримує одиницю продукції (по прямій дорозі) із складу  $i$ , то виникають витрати  $p_{ij}$ . При цьому робимо припущення, що транспортні витрати пропорційні кількості продукції, яка перевозиться, тобто на перевезення  $k$  одиниць продукції витрати складають  $kp_{ij}$ .

Припустимо, що

$$\sum_{i=1}^m b_i = \sum_{j=1}^n a_j,$$

де  $b_i$  – кількість продукції на  $i$ -му складі;

$a_j$  – потреби  $j$ -го споживача.

Позначивши через  $x_{ij}$  кількість продукції, що перевозиться від  $i$ -го складу до  $j$ -го споживача, отримаємо математичну модель задачі лінійного програмування, яку необхідно вирішити відносно цільової функції  $K_{\min}$ :

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = a_j \quad \text{для } j=1, \dots, n;$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = b_i \quad \text{для } i=1, \dots, m;$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \text{для } i=1, \dots, m \text{ та } j=1, \dots, n;$$

$$K_{\min} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij} x_{ij}.$$

**Зауваження:** якщо  $\sum_{i=1}^m b_i > \sum_{j=1}^n a_j$ , то кількість продукції

$\sum_{i=1}^m b_i - \sum_{j=1}^n a_j$  залишиться на складах. В такому випадку необхідно

вводити “фіктивного” споживача  $n+1$  з потребами  $\sum_{i=1}^m b_i - \sum_{j=1}^n a_j$ , а

транспортні витрати  $p_{i,n+1}$  приймаємо рівними нулю для всіх  $i$ . Якщо

$\sum_{i=1}^m b_i < \sum_{j=1}^n a_j$ , то потреби споживачів не можуть бути задоволені,

тому початкові умови необхідно змінити таким чином, щоб задовольнити потреби споживачів.

Транспортну задачу характеризують транспортною таблицею та таблицею витрат:

	$a_1$	.	.	.	$a_n$
$b_1$	.				
.		.			
.			.		
.				.	
$b_m$					.

	$a_1$	.	.	.	$a_n$
$p_{11}$	.	.	.	.	$p_{1n}$
.					.
.					.
.					.
$p_{m1}$	.	.	.	.	$p_{mn}$

Допустимий план перевезень необхідно представити у вигляді транспортної таблиці:

	$a_1$	.	.	.	$a_n$
$b_1$	$x_{11}$	.	.	.	$x_{1n}$
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
$b_m$	$x_{m1}$	.	.	.	$x_{mn}$

Сума елементів рядка  $i$  повинна бути рівна  $b_i$ , а сума елементів стовпця  $j$  повинна бути рівна  $a_j$ , і всі  $x_{ij}$  повинні бути додатними.

Таким чином, отримуємо **модель транспортної задачі**:

$$x_{11} + x_{12} + \dots + x_{1n} = b_1;$$

$$x_{11} + x_{21} + \dots + x_{m1} = a_1;$$

$$x_{21} + x_{22} + \dots + x_{2n} = b_2;$$

$$x_{12} + x_{22} + \dots + x_{m2} = a_2;$$

.....  
 .....

$$x_{m1} + x_{m2} + \dots + x_{mn} = b_m.$$

$$x_{1n} + x_{2n} + \dots + x_{mn} = a_n.$$

$$x_{ij} \geq 0 \text{ для } i=1, \dots, m \text{ та } j=1, \dots, n.$$

Мінімальна транспортна робота (цільова функція):

$$K_{\min} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_{ij} x_{ij}.$$

#### 2.4. Оптимізація графіка зайнятості працівників

Для забезпечення безперервного випуску продукції на підприємстві, де необхідна кількість працівників  $a_j$  ( $j=1, 2, \dots, n$ ) у

визначений день  $T_j$  розподілена нерівномірно по днях тижня, запроваджено позмінне виконання робіт із  $Z_i$  – можливими на протязі тижня робочими змінами ( $i=1, 2, \dots, 7$ ). Необхідно визначити мінімальну кількість робітників у кожній робочій зміні  $Z_i$ , за умови виконання запланованого об'єму робіт у повному обсязі.

### Модель задачі.

Вводимо змінну  $x_i$  – кількість робітників, які працюють у робочій зміні  $Z_i$ .

Умовно приймаємо, що зміна  $Z_i$  працює ( $k_{ij}=1$ ), а у випадку  $k_{ij}=0$  – дана зміна не виходить на роботу.

Тоді:

$$k_{1j}x_1 + k_{2j}x_2 + k_{3j}x_3 + k_{4j}x_4 + k_{5j}x_5 + k_{6j}x_6 + k_{7j}x_7 \geq a_j \text{ для } j=1, 2, \dots, n;$$

$$x_i \geq 0 \text{ для } i=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.$$

Мінімальна кількість працівників (цільова функція):

$$R_{\min}(x) = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7.$$

### 3. Варіанти завдань для практичних робіт

#### ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1. РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ВИРОБНИЦТВА ПРОДУКЦІЇ

Для виробництва трьох видів виробів (А, В, С) використовується сировина типів I, II та III, причому закупівля сировини типу I та III обмежена можливостями постачальників. В табл. 3.1 приведені норми витрат сировини, ціни на сировину та на вироби, а також обмеження по закупівлі сировини.

Необхідно скласти план виробництва продукції з метою отримання максимального прибутку.

Таблиця 3.1

Тип сировини	Вартість 1 кг сировини, у.о.	Норми витрат сировини на один виріб, кг			Обмеження по закупівлі сировини, кг
		A	B	C	
I	2	1	3	$a$	3000
II	1	4	1	3	-
III	$b$	6	5	2	3320
	Вартість одного виробу, у.о.	$6b+12$	$5b+22$	$c$	

Вихідні дані згідно варіанту приведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

№ вар.	Вихідні дані		
	$a$	$b$	$c$
1.	2	1	17
2.	2	2	19



3.	2	3	21
4.	2	4	23
5.	3	1	21
6.	3	1	22
7.	3	2	23
8.	3	2	24
9.	3	2	25
10.	3	3	25
11.	3	3	26
12.	3	4	26
13.	4	1	25
14.	4	1	27
15.	4	2	26
16.	4	2	27
17.	4	3	28
18.	4	3	30
19.	4	4	30
20.	4	4	32
21.	2	2	20
22.	1	2	15
23.	3	2	20
24.	3	1	25
25.	2	1	15
26.	2	4	19

**ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2.**  
**РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ**  
**ОПТИМАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ СИРОВИНУ ДЛЯ**  
**ВИГОТОВЛЕННЯ СПЛАВУ**

Металургійний цех в якості сировини закуповує латунь типів I, II та III – різні за складом сплави міді та цинку (з деякими добавками) – та переплавляє цю сировину в співвідношенні 1:1:3, для того щоб отримати сплав, який містить 57 % міді та 34 % цинку.

З'явилась можливість закуповувати сировину нових типів IV, V та VI. Характеристики сировини кожного типу наведені в табл. 3.3. Яку сировину необхідно закуповувати тепер цеху, і в яких пропорціях переплавляти, щоб випускати той же сплав, витрачаючи на сировину якомога менше коштів?

Таблиця 3.3

Тип сировини	Вміст міді, %	Вміст цинку, %	Вартість, у.о./кг
I	75	20	5
II	60	30	3
III	50	40	2
IV	<i>a</i>	$95 - a$	<i>c</i>
V	<i>b</i>	$90 - b$	2
VI	45	40	1

Вихідні дані згідно варіанту приведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

№ вар.	Вихідні дані		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
1.	72	58	4,2
2.	72	60	4
3.	72	62	4,2
4.	72	62	4
5.	72	65	4,2
6.	72	70	4,2

7.	68	58	3,4
8.	68	60	3,2
9.	68	62	3,4
10.	68	64	3,2
11.	68	65	3,4
12.	68	70	3,4
13.	72	60	4,2
14.	68	58	3,2
15.	74	58	4,6
16.	74	60	4,4
17.	74	62	4,6
18.	74	64	4,4
19.	74	65	4,6
20.	74	70	4,6
21.	73	56	3,2
22.	73	58	4,6
23.	73	61	4,4
24.	73	59	4,8
25.	72	61	3,6
26.	71	69	3,2

**ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3.**  
**РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ**  
**ПРОЦЕСАХ ПЕРЕГОНКИ НАФТИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА**  
**ПАЛИВА**

Нафтопереробний завод може використовувати дві різні технології перегонки нафти для виробництва бензину, гасу, солярового масла. В табл. 3.5 наведені дані, які вказують вихід продукції, відходи, виробничі витрати (вартість нафти, заробітна плата, амортизація та ін.) та завантаження обладнання в розрахунку на 1 т переробленої нафти. Крім того, вказані вартість 1 т готової продукції та добовий об'єм замовлення, який необхідно задовольнити.

Ресурс обладнання складає 75 маш-год на добу. Всі відходи повинні пройти через очисні споруди, продуктивність яких складає с т/добу. Надходження нафти та попит на всю продукцію заводу

необмежені. Скласти такий план випуску продукції за добу, при якому прибуток буде максимальним.

Таблиця 3.5

Назва продукції	Вихід продукції, т		Вартість 1 т готового продукту, у.о.	Добовий об'єм замовлення, т
	Технологія №1	Технологія №2		
Бензин	0,6	0,3	100	117
Гас	0,1	0,3	50	54
Солярове масло	-	0,3	20	-
Відходи	0,3	0,1	-	-
Виробничі витрати, у.о.	<i>a</i>	<i>b</i>		
Завантаження обладнання, маш.-год.	0,2	0,05		

Вихідні дані згідно варіанту приведені в табл. 3.6.

Таблиця 3.6

№ вар.	Вихідні дані		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
1.	13	37	130
2.	15	37	135
3.	17	37	140
4.	19	37	145
5.	21	37	130
6.	21	39	135
7.	23	39	140
8.	25	39	145
9.	29	41	130
10.	31	41	135
11.	37	43	140
12.	39	45	145
13.	37	45	130

14.	35	45	135
15.	33	45	140
16.	39	45	145
17.	31	45	130
18.	37	45	135
19.	35	45	140
20.	33	45	145
21.	14	37	125
22.	16	38	130
23.	18	40	135
24.	20	42	140
25.	30	42	130
26.	38	44	135

**ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4.  
РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ  
ПРОЦЕСАХ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІКИ ПІД ЧАС  
ВИКОНАННЯ РОБІТ**

Для копання котлована об'ємом  $a$  м<sup>3</sup> будівельники отримали три екскаватори. Екскаватор ЕО-4121 продуктивністю  $\Pi_1 = 22,5$  м<sup>3</sup>/год витрачає за годину  $Q_1 = 10$  літрів/годину дизельного палива. Характеристики екскаваторів ЕО-3323 та ЕО-2621 складають відповідно:  $\Pi_2 = 10$  м<sup>3</sup>/год,  $Q_2 = b$  л/год;  $\Pi_3 = 5$  м<sup>3</sup>/год,  $Q_3 = 2$  л/год. Екскаватори можуть працювати одночасно, не заважаючи один одному. Запас палива у будівельників обмежений і рівний  $c$  літрів.

Відомо, якщо копати котлован лише екскаватором ЕО-2621, то дизельного палива вистачить, але це займе дуже багато часу.

Визначити, як необхідно використовувати дану техніку, для того щоб час на будівництво котлована був мінімальним.

Вихідні дані згідно варіанту приведені в табл. 3.7.

Таблиця 3.7

№ вар.	Вихідні дані		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
1.	1350	10/3	548
2.	1080	4	460
3.	1080	11/3	444
4.	1440	10/3	580
5.	1140	4	480
6.	1350	11/3	552
7.	1620	10/3	656
8.	2160	11/3	888
9.	1200	4	500
10.	1320	4	550
11.	1890	11/3	777
12.	1200	4	510
13.	1800	10/3	728
14.	1380	4	580
15.	1620	11/3	666
16.	1500	4	630
17.	1980	10/3	800
18.	1890	11/3	780
19.	1860	4	780
20.	1140	4	470
21.	1520	10/3	600
22.	1680	11/3	715
23.	1200	11/3	768
24.	1320	10/3	512
25.	1460	11/3	758
26.	1970	4	650

**ПРАКТИЧНА РОБОТА 5.  
РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ  
ПРОЦЕСАХ ВИГОТОВЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ**

Для серійного виробництва рам зварної конструкції необхідні комплекти заготовок профільного прокату.

Кожний комплект складається із  $a$  заготовок довжиною 1800 мм та  $b$  заготовок довжиною 700 мм. Яким чином необхідно розрізати  $c$  полос прокату стандартної довжини 6000 мм, щоб отримати максимальну кількість вказаних комплектів?

Вихідні дані згідно варіанту приведені в табл. 3.8.

Таблиця 3.8

№ вар.	Вихідні дані		
	$a$	$b$	$c$
1.	1	3	660
2.	1	3	720
3.	1	3	780
4.	1	3	840
5.	2	5	660
6.	2	5	770
7.	2	5	880
8.	2	5	990
9.	3	7	640
10.	3	7	800
11.	3	7	960
12.	3	8	510
13.	3	8	680
14.	3	8	850
15.	4	9	600
16.	4	9	630
17.	4	9	660
18.	4	9	690
19.	4	9	720
20.	4	9	750
21.	2	3	750
22.	2	4	560
23.	3	4	890

24.	3	5	1020
25.	2	7	1110
26.	3	9	980
27.	4	6	690

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6 ВИЗНАЧЕННЯ РЕСУРСНИХ ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ МАШИН

**Мета заняття:** ознайомлення студентів з методами визначення ресурсних показників надійності машин та їх аналізу відповідно до умов експлуатації.

Основними ресурсними показниками є: гама-відсотковий ресурс  $T_\gamma$ ; середній ресурс  $T_p$  (до списання; до першого капітального ремонту; міжремонтний); календарний термін служби  $T_c$ ; планове напрацювання на функціональну відмову  $T_{відм}$ .

Розрахункові формули для визначення гамма-відсоткового ресурсу  $T_\gamma$  мають наступний вигляд:

- для нормального розподілу (НР)

$$T_\gamma = \bar{t} - U_\gamma \cdot \sigma_t \quad (1)$$

де  $\bar{t}$  і  $\sigma_t$  – параметри НР;  $U_\gamma$  – квантиль НР;

- для розподілу Вейбула (РВ)

$$T_\gamma = t_0 \cdot (-\ln \gamma)^{\frac{1}{m}} + t_{зм} = t_0 \cdot H_{(1-\gamma)}^B + t_{зм} \quad (2)$$

де  $m$  і  $t_0$  – параметри РВ;  $t_{зм}$  – зсув початку розсіювання;  $H_{(1-\gamma)}^B$  – квантиль РВ;

- для експоненціального розподілу (ЕР)

$$T_\gamma = \frac{1}{\lambda} \cdot (-\ln \gamma) \quad (3)$$

де  $\lambda$  – параметр ЕР.

Для визначення гама-відсоткового доремонтного ресурсу машин



$T_{pd\gamma}$  використовується наступна залежність

$$T_{pd\gamma} = \frac{T_{pd}}{K_\gamma} \quad (4)$$

де  $T_{pd}$  – доремонтний ресурс;  $K_\gamma$  – коефіцієнт, що залежить від рівня регламентованої імовірності  $\gamma$ , коефіцієнта варіації ресурсу  $V$  і закону розподілу ресурсу. Наприклад, при  $\gamma = 0,8$ ,  $V = 0,4$  і РВ  $K_\gamma = 1,5$ .

Розрахунок  $T_\gamma$  при РВ можна робити за допомогою номограми Ю В. Булгакова (рис 1).

Номограма базується на залежності (2) при  $t_{3M} = 0$ :

$$T_\gamma = t_0 \cdot (-\ln \gamma)^{\frac{1}{m}} \quad (5)$$

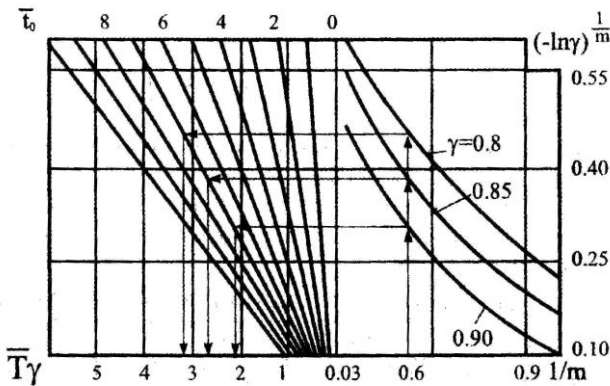


Рис. 1. Номограма для визначення гамма-відсоткового ресурсу при РВ.

Для одержання значень  $t_0$  потрібно помножити  $\bar{t}_0$  на  $10^n$ , де  $n$  – ціле число, обиране в залежності від порядку величини  $\bar{t}_0$ . Аналогічно одержують значення  $T_\gamma$ . У правому квадранті номограми побудовані функції  $(-\ln \gamma)^{\frac{1}{m}}$  для  $\gamma = 0,80; 0,85; 0,9$  і  $m = 1 \dots 3$ . У лівому квадранті виконується множення  $\bar{t}_0$  на  $(-\ln \gamma)^{\frac{1}{m}}$ . Вхідна величина –

відношення  $1/m$ .

Номограма придатна також для ЕР ( $m=1,0$ ) і НР ( $m=3,3$ ).

Для визначення середнього ресурсу машин до першого капітального ремонту  $T_{pd}$  використовуються дві залежності:

а) формула ВНДІбуддормаша

$$T_{pd} = \frac{t_a}{1 + C_d} = \frac{T_c \cdot T_p \cdot K_c}{1 + C_d} \quad (6)$$

де  $t_a$  – рекомендоване напрацювання машини до списання (м.-год.);  $T_c$  – нормативний термін служби машини (у роках);  $T_p$  – середня тривалість експлуатації машини протягом календарного року (м.-год.);  $C_d$  – коефіцієнт, що враховує зниження довговічності машини до списання;  $K_c$  – коефіцієнт переходу від напрацювання машини до напрацювання двигуна.

б) формула НАТИ:

$$T_{pd} = T_c \cdot T_p \cdot \left( 1 + \sum_1^{n_{кр}} K_{bi} \right)^{-1} \quad (7)$$

де  $K_{bi}$  – коефіцієнт відновлення ресурсу після  $i$ -го капітального ремонту;  $n_{кр}$  – число планових капітальних ремонтів.

На підставі залежності (7) М.А. Халфін розробив номограму (див. рис. 2) для визначення  $T_{pd}$  і  $T_{pd\gamma}$  базових машин за умови, що ресурс описується РВ, а  $K_{bi} = 0,8$ .

Номограма дозволяє визначення  $T_{pd}$  та  $T_{80}$  при середньорічній зайнятості машин  $T_p = 50 \dots 2000$  м.-год.;  $T_c = 7, 8$  і  $9$  рокам;  $n_{кр} = 1, 2, 3$ .

Для великої групи будівельних і меліоративних машин поточні експлуатаційні витрати апроксимуються залежностями:

- у доремонтний період

$$C_e^D(t) = C_0 \cdot t^\delta \quad (8)$$

- у міжремонтний період

$$C_e^M(t) = q \cdot C_0 \cdot t^\delta \quad (9)$$

де  $C_0$  – коефіцієнт, що визначає вихідну норму прогресуючих витрат,  $\delta$  – показник зростання витрат,  $q > 1$  – коефіцієнт, що враховує

збільшення числа відмов після капітального ремонту (у середньому на 20% після кожного КР);  $t$  - напрацювання.

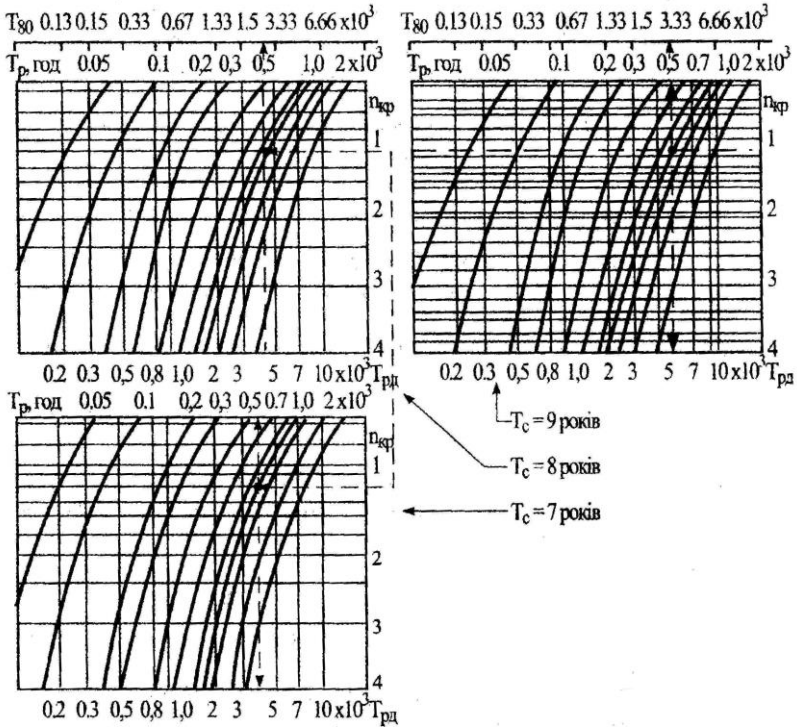


Рис. 2. Номограма М.А. Халфіна для визначення  $T_{pd}$  та 80 %  $T_{80}$ .

У цьому випадку оптимальні значення доремонтного ресурсу  $T_{pd}^{onm}$  і міжремонтних ресурсів  $T_{pm}^{onm}$  визначаються за формулами М. А. Халфіна:

$$T_{pd}^{onm} = T_c \cdot \left( 1 + n_{кр} \cdot q \frac{1}{\delta - 1} \right)^{-1} \quad (10)$$

$$T_{pm}^{onm} = T_c \cdot \left( n_{кр} + q \frac{1}{\delta - 1} \right)^{-1} \quad (11)$$

де  $T_c = \text{const}$  – нормативний термін служби машини;  $n_{кр}$  – число планових капітальних ремонтів.

У багатьох випадках швидкість зношування можна прийняти постійною і рівною

$$\alpha_u = k \cdot p^m \cdot V^n \quad (12)$$

де  $p$  – тиск на поверхні тертя;  $V$  – швидкість відносного ковзання;  $k$  – коефіцієнт зносу, що залежить від матеріалу пар тертя й умов зношування;  $m=0,5\dots3,0$ ;  $n=1$  для більшості пар тертя.

Для абразивного зношування (при  $b_u = 0$ )

$$\alpha_u = k \cdot p \cdot V \quad (13)$$

$$I(t) = k \cdot p \cdot V \cdot t = \alpha_u \cdot t \quad (14)$$

Швидкість зношування й інтенсивність зношування зв'язані між собою співвідношенням

$$\alpha_u = j \cdot V \quad (15)$$

Зміна ресурсу деталі (чи сполучення) при зношуванні описується НР із параметрами  $\bar{t}_R$  і  $\sigma_R$ .

Тоді імовірність безвідмовної роботи з критерію зношування буде:

$$P_{3H}(t_R) = 0,5 \cdot \left[ 1 - \Phi \cdot \left( \frac{t_R - \bar{t}_R}{\sigma_R} \right) \right] \quad (16)$$

де  $\Phi(\cdot)$  – подвоєна функція Лапласа.

Якщо прийняти, що  $\alpha_u$ ,  $p$  і  $V$  мають НР із параметрами  $(\bar{\alpha}_u; \sigma_{\alpha_u})$ ;  $(\bar{p}; \sigma_{p_0})$ ;  $(\bar{V}; \sigma_V)$ , то одержимо:

$$\sigma_{\alpha_u} = k \cdot \sqrt{\sigma_{p_0}^2 \cdot \sigma_V^2 + \bar{p}^2 \cdot \sigma_V^2 + \bar{V}^2 \cdot \sigma_{p_0}^2} \quad (17)$$

Знайдемо границі довірчого інтервалу  $I_\beta$  для швидкості зношування через квантили НР  $U_\beta$  за співвідношенням (1):

$$I_\beta = \left( \bar{\alpha}_u - U_\beta \cdot \sigma_{\alpha_u}; \bar{\alpha}_u + U_\beta \cdot \sigma_{\alpha_u} \right) \quad (18)$$

Для визначення ресурсу деталей машин за критерієм зношування використовуємо залежність (14). Прийемо в ній, що

$$I(t) = I_{np} \quad \alpha_u = \left( \bar{\alpha}_u + U_\beta \cdot \sigma_{\alpha_u} \right)$$

Тоді ресурс деталі при заданій імовірності безвідмовної роботи  $P_{3H} = (t_R) = \beta$  буде дорівнювати:

$$T_p^{3H}(\beta) = \frac{I_{np}}{\bar{\alpha}_u + U_\beta \cdot \sigma_{\alpha_u}} \quad (19)$$

Середній ресурс деталі  $T_p^{3H}$  за критерієм абразивного зношування визначиться в такий спосіб

$$T_p^{3H} = \frac{I_{np}}{\alpha_u} \quad (20)$$

Для загального випадку зношування маємо:

$$T_p^{3H} = \alpha \sqrt{\frac{I_{np}}{\alpha_u}} \quad (21)$$

Середнє напрацювання машини на відмову при фіксованому рівні надійності  $p(t)$  називається плановим напрацюванням на функціональну відмову

Для базової машини

$$T_{відм}^M = - \frac{t_M}{\ln P_M(t_M)} \quad (22)$$

де  $t_M$  – напрацювання машини;

Для будівельного або меліоративного агрегату, що включає  $n$  робочих машин:

$$T_{відм}^A = - \frac{n \cdot t_A}{\ln P_A(t_A) + \frac{t_A}{T_{відм}^M}} \quad (23)$$

де  $t_A$  – напрацювання агрегату.

Розрахунок норм запасу для невідновлюваних складових частин машин може проводитись за різними критеріями.

### Завдання

Задача 1. Оцінити 80 %-вий ресурс гусениці трактора якщо відомо,

що її довговічність обмежена за зносом: ресурс описується НР із параметрами  $\bar{t}=10^4$  м.-год.;  $\sigma_t = 6 \cdot 10^3$  м.- год.

Задача 2. Визначити 80%-вий ресурс двигуна трактора ДТ-75 за умови, що він описується РВ із параметрами  $m=1,2$ ;  $t_0=1820$  м.-год, при  $t_{зм}=1300$ м.-год.

Задача 3. Визначити середній ресурс  $T_{рo}$  та 80% ресурс  $T_{80}$  трактора К-701 до першого капітального ремонту при наступних вихідних даних: планове напрацювання на рік  $T_p=1000$  м.-год; термін служби машини до списання  $T_c=9$  років;  $n_{кр}=1$ ; ресурс описується РВ, коефіцієнт відновлення ресурсу після капітального ремонту  $K_{вi}=0,8$ . Для рішення скористатись номограмою М.А. Халфіна (рис. 2).

Задача 4. За формулами ВНДІбуддормаша і НАТІ визначити середній ресурс базового трактора Т-150 до першого капітального ремонту при наступних вихідних даних:  $T_p=1350$  м.-год;  $T_c=8$  років; коефіцієнт переходу від напрацювання машини до напрацювання двигуна  $K_c=0,92$ ; коефіцієнт зниження довговічності до списання  $C_d=0,82$ ;  $n_{кр} = 1$ ;  $K_{вi} = 0,8$ . Співставити отримані результати.

Задача 5. Вважаючи, що експлуатаційні витрати на гусеничний тягач класу 25 кН описуються залежностями: у доремонтний період  $C_e^D(t) = C_0 \cdot t^\delta$ , у міжремонтний період  $C_e^M(t) = q \cdot C_0 \cdot t^\delta$ , визначити оптимальні значення до- і міжремонтних ресурсів за умови, що нормативний термін служби  $T_c = 12$  років, кількість капітальних ремонтів до списання  $n_{кр} = 2$ ; показник зростання витрат  $\delta = 1,5$ ; зростання витрат після проведення капітального ремонту на 20 % враховується коефіцієнтом  $q = 1,2$ .

Задача 6. За критерієм абразивного зношування визначити середній ресурс деталі машини і її ресурс при заданій імовірності безвідмовної роботи  $P_3(t_R) = 0,8$ . Прийняти, що швидкість зношування описується НР із параметром  $\bar{a}_u = 2 \cdot 10^{-2}$  мкм/год (параметр  $\sigma_{au}$  не відомий); максимальний припустимий знос  $I_{доп} = 10$  мкм.

При розрахунку врахувати, що тиск  $p$  на поверхні тертя і швидкість відносного зношування  $V$  також описується НР із параметрами  $\bar{p} = 1,57$  МН/м<sup>2</sup>;  $\sigma_p = 0,147$  МН/м<sup>2</sup>;  $\bar{V} = 2$  м/с;  $\sigma_v = 0,2$  м/с.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7 РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ

**Мета заняття:** ознайомлення студентів з методами розкрою листового матеріалу при мінімальних відходах і витратах матеріалу.

Рациональний розкрій листового матеріалу – основний спосіб ресурсозбереження в технологічних процесах листоштампувального виробництва деталей. Вибір вихідної заготовки здійснюється шляхом економічного аналізу можливих варіантів розкрою матеріалу і визначення оптимального.

В якості критерію оптимальності приймається коефіцієнт  $K_e$  використання матеріалу

$$K_e = \frac{M_{\partial}}{H}, \quad (1)$$

де  $M_{\partial}$  – маса готового виробу (деталі), кг;

$H$  – норма витрат матеріалу на один виріб (деталь), кг.

Крім коефіцієнта використання матеріалу, визначають коефіцієнт  $K_p$  розкрою

$$K_p = \frac{n_{\partial} \cdot M_{\partial}}{M_3}, \quad (2)$$

де  $n_{\partial}$  – кількість штампованих деталей з вихідної заготовки, шт.;

$M_3$  – маса вихідної заготовки, кг.

Для визначення  $K_e$  і  $K_p$  замість значень маси деталі і маси вихідної заготовки можна підставляти значення відповідних площ їх поверхонь.

Технологічний розкрій листового (полосового) матеріалу виконують груповим, індивідуальним і комбінованим методами. Груповий розкрій най  $K_p$  розповсюджений в умовах багатонаменклатурного виробництва. При цьому розкрої спочатку розміщують крупногабаритні заготовки, потім – середні, а в залишкових проміжках розміщують заготовки малих розмірів і таким чином досягають найбільш повного використання площі листового прокату.

Груповий та індивідуальний розкрій може бути прямолінійний, криволінійний, змішаний та в штампах.

За розташуванням заготовки (деталі) на матеріалі розрізняють

прямий, нахилений, зустрічний, комбінований, а за рядністю одно-, двох- та багаторядний.

За кількістю відходів розрізняють розкрій з відходами, маловідходний та безвідходний.

Рациональним методом розкрою листового прокату в умовах обмеженої номенклатури однотипних заготовок є полосовий розкрій, при якому заготовки (деталі) розміщують на полосах листа. Полоси отримують поперечним, повздовжнім або комбінованим методом (рис. 1). При змішаному розкрої одну частину листа розкроюють поперек, а другу – вздовж. При плануванні розкрою визначають кількість полос та заготовок (деталей), які можна отримати із листа. Рациональним рахують розкрій, при якому отримують більшу кількість заготовок (деталей) із листа.

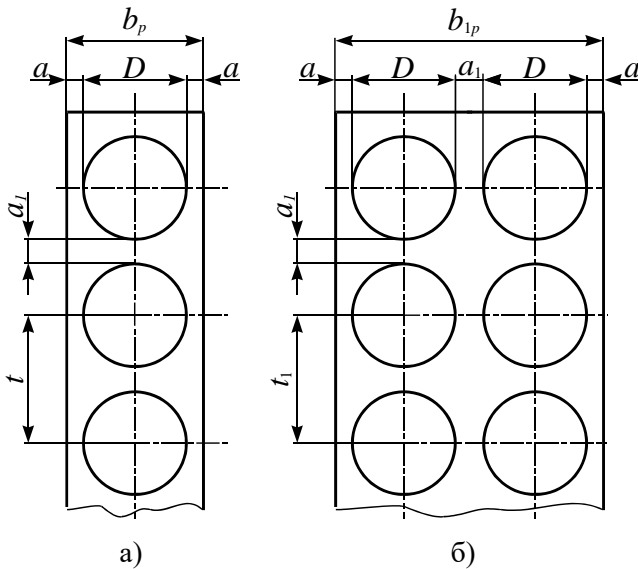


Рис. 1. Схеми розміщення круглих деталей на матеріалі: а – однорядне; б – двохрядне.

При розкрої листа на полоси та однорядному вирубіванні круглих деталей з полоси (див. рис. 1, а) послідовність розрахунку наступна.

Крок подачі  $t$

$$t = D + a_1, \text{ мм} \quad (3)$$



де  $D$  – діаметр деталі, мм;

$a_1$  – перемичка між контурами деталей, мм (для навчальних цілей прийємо 3,0 мм).

Розрахункова ширина  $b_p$  полоси

$$b_p = D + 2a, \text{ мм} \quad (4)$$

де  $a$  – перемичка між контуром деталі і краєм полоси, мм (для навчальних цілей прийємо 5,0 мм).

1. Поперечний розкрій листа.

Кількість  $n_n$  полос, отриманих з листа

$$n_n = \frac{L}{b_p}, \text{ шт.} \quad (5)$$

де  $L$  – довжина листа, мм.

Кількість  $n_\partial$  деталей отриманих з полоси

$$n_\partial = \frac{B}{t}, \text{ шт.} \quad (6)$$

де  $B$  – ширина листа, мм.

Кількість деталей  $N$  отриманих з листа

$$N = n_n \cdot n_\partial, \text{ шт.}$$

Коефіцієнт  $\eta$  використання листа при поперечному розкрої

$$\eta = \frac{N \cdot F_\partial}{B \cdot L} \quad (7)$$

де  $F_\partial$  – площа деталі, мм<sup>2</sup>.

2. Поздовжній розкрій матеріалів

Кількість  $n_{1n}$  полос отриманих з листа

$$n_{1n} = \frac{B}{b_p}, \text{ шт.} \quad (8)$$

де  $L$  – довжина листа, мм.

Кількість  $n_{1\partial}$  деталей отриманих з полоси

$$n_{1\partial} = \frac{L}{t}, \text{ шт.} \quad (9)$$

де  $B$  – ширина листа, мм.

Кількість деталей  $N_1$ , отриманих з листа

$$N_1 = n_{1n} \cdot n_{1d}, \text{ шт.} \quad (10)$$

Коефіцієнт  $\eta_1$  використання листа при поздовжньому розкрої

$$\eta_1 = \frac{N_1 \cdot F_d}{B \cdot L} \quad (11)$$

При паралельному розміщенні деталей на полосі (див. рис. 1, б).

Крок подачі  $t_1$

$$t_1 = D + a_1, \text{ мм} \quad (12)$$

Розрахункова ширина  $b_{1p}$  полоси при двохрядному розкрої

$$b_{1p} = 2D + 2a + a_1, \text{ мм} \quad (13)$$

Кількість деталей з листа:

- при поперечному розкрої

$$N_{d.dv} = 2 \frac{B}{t} \cdot n_p, \text{ шт.} \quad n_p = \frac{L}{b_{1p}} \quad (14)$$

де  $n_p$  – кількість полос (приймається ціле число).

Коефіцієнт  $\eta_{d.dv}$  використання листа при поперечному розкрої

$$\eta_{d.dv} = \frac{N_{d.dv} \cdot F_d}{B \cdot L} \quad (15)$$

- при поздовжньому розкрої

$$N_{1d.dv} = 2 \frac{L}{t_1} \cdot n_{p1}, \text{ шт.} \quad n_{p1} = \frac{B}{b_{1p}} \quad (16)$$

де  $n_{p1}$  – кількість полос (приймається ціле число).

Коефіцієнт  $\eta_{1d.dv}$  використання листа при поздовжньому розкрої

$$\eta_{1d.dv} = \frac{N_{1d.dv} \cdot F_d}{B \cdot L} \quad (17)$$

### Завдання

1. Накреслити в масштабі відповідно варіанту (таблиця 1) листи матеріалу для вирізки заготовок (деталей).
2. Вибрати метод розкрою для заданих розмірів заготовок (деталей) – однорядний, зустрічний та інший, визначити ширину полоси для розкрою.

Таблиця 1

## Вихідні дані вибору листа, форми та розмірів деталей

Варіант* Т*	Характеристика листового матеріалу		Форма та розміри деталей (заготовок)
	розмір ( $L \times B$ ), м	товщина, мм	
1	1,8×1,6	2,0	Круглі деталі Ø5 см
2	1,4×0,8	5,0	Круглі деталі Ø6 см
3	2,0×0,5	3,0	Круглі деталі Ø7 см
4	1,4×1,2	5,0	Круглі деталі Ø8 см
5	1,5×1,6	2,0	Круглі деталі Ø9 см
6	2,0×1,6	1,5	Квадратні деталі □8 см
7	2,0×3,0	4,0	Квадратні деталі □7 см
8	1,8×1,6	3,0	Квадратні деталі □6 см
9	1,4×0,8	2,5	Квадратні деталі □5 см
10	2,0×0,5	3,0	Квадратні деталі □6 см
11	1,4×1,2	5,0	Круглі деталі Ø7 см
12	1,5×2,6	2,0	Круглі деталі □8 см
13	2,0×1,6	1,0	Квадратні деталі □6 см
14	1,6×1,2	2,5	Квадратні деталі □8 см
15	2,0×1,0	1,5	Круглі деталі Ø6 см

\* Примітка. Варіант виконується двома студентами для поперечного і повздовжнього розкрою.

3. Розмістити полоси розкрою на листі для поперечного і повздовжнього розкрою.
4. Розрахувати кількість полос, кількість заготовок (деталей) в полосі та кількість заготовок (деталей) на листі.
5. Розрахувати коефіцієнти розкрою для поперечного і повздовжнього розкрою.
6. На основі аналізу варіантів розкрою визначити ефективний варіант розкрою.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 8 ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ ПІДПРИЄМСТВА

**Мета заняття:** ознайомлення студентів з різними методами нормування витрат палива, теплової і електричної енергії виробничих процесів підприємства; формування навичок розрахунку індивідуальних, групових, технологічних і виробничих норм витрат енергетичних ресурсів.

Рациональне використання енергетичних ресурсів при здійсненні виробничого процесу неможливе без технічного та економічного обґрунтування прогресивних норм витрати палива, теплової та електричної енергії. Нормуванню підлягають усі витрати палива, теплової та електричної енергії. Норма витрат енергетичних ресурсів – це плановий показник витрат ресурсів на виробництво одиниці продукції встановленої якості.

Норми витрати палива, теплової та електричної енергії у виробництві класифікуються за наступними основними ознаками:

- за ступенем розподілу: індивідуальні і групові;
- за складом витрат: технологічні і загальновиробничі;
- за періодом дії: річні, квартальні і місячні.

Індивідуальною називається норма витрат палива, теплової та електричної енергії на виробництво одиниці продукції, яка виготовляється визначеним способом на конкретному обладнанні. Дану норму визначають за співвідношенням

$$H_i = \sum_{j=1}^n e_j, \quad (1)$$

де  $e_j$ ,  $n$  – статті витрат і кількість статей витрат, за якими розраховується норма.

Якщо одна із статей витрат значно переважає інші, доцільно представити  $H_i$  в наступному вигляді

$$H_i = e_{\max} \left( 1 + \sum_{j=1}^{n-1} \delta_j \right), \quad (2)$$

де  $\delta_j = e_j / e_{\max}$ .

Груповою називається норма витрати палива, теплової та

електричної енергії на виробництво одиниці однойменної продукції, яка виготовляється за різними технологічними схемами. Дану норму визначають за співвідношенням

$$H_{zp} = \sum_{i=1}^k (H_i)_i \cdot \lambda_i, \quad (3)$$

де  $(H_i)_i$  – індивідуальна норма витрат для  $i$ -тої технологічної групи;

$\lambda_i = V_i / V$  – питома вага  $i$ -тої складової в загальному обсязі виробництва продукції;

$k$  – кількість технологічних груп.

Технологічною називається норма витрати палива, теплової та електричної енергії на основні і допоміжні технологічні процеси виробництва даного виду продукції.

Технологічну цехову норму витрат енергетичних ресурсів визначають за співвідношенням

$$T_{i,j}^H = \frac{E_m}{V_{j,i}}, \quad (4)$$

де  $T_{i,j}^H$  – технологічна цехова норма витрат енергоресурсів на технологічний процес виробництва  $i$ -тої продукції в  $j$ -му цеху;

$E_m$  – витрата енергоресурсів на технологічний процес;

$V_{j,i}$  – обсяг виробництва  $i$ -тої продукції або її складової в  $j$ -му цеху.

Технологічна заводська норма витрат енергетичних ресурсів  $Z_m$  визначається за співвідношенням

$$Z_m = \sum_{j=1}^n T_j^H \cdot (V_{j,i} / V_i), \quad (5)$$

де  $n$  – кількість цехів підприємства, які випускають продукцію;

$V_i$  – обсяг виробництва  $i$ -тої продукції на підприємстві.

Загальновиробничою називається норма витрат енергетичних ресурсів, що враховує витрати енергії на основні і допоміжні технологічні процеси, на допоміжні потреби виробництва, а також неминучі втрати віднесені на виробництво продукції.

Загальновиробничу норму витрат енергетичних ресурсів визначають за співвідношенням

$$Ц_{i,j}^H = T_{i,j}^H + E_j (k_{j,i} / V_{j,i}), \quad (6)$$

де  $C_{i,j}^n$  – загальновиробнича цехова норма витрат енергоресурсів на виробництво  $i$ -тої продукції в  $j$ -му цеху;

$T_{i,j}^n$  – питома витрата енергоресурсів на технологічний процес виробництва  $i$ -тої продукції в  $j$ -му цеху;

$E_j$  – сумарна витрата енергоресурсів на допоміжні потреби  $j$ -го цеху;

$V_{j,i}$  – обсяг виробництва  $i$ -тої продукції в  $j$ -му цеху;

$k_{j,i}$  – коефіцієнт пропорційності, відповідно якому здійснюється розподіл загально виробничих цехових витрат енергії за видами продукції.

Якщо цех виробляє продукцію одного виду, то  $k_{j,i}=1$ . В цьому випадку загальновиробнича цехова норма витрат енергоресурсів визначається за співвідношенням

$$C_n = (E_m + E_o) / V, \quad (7)$$

де  $E_m$  – витрата енергоресурсів на технологічний процес;

$E_o$  – витрата енергоресурсів на допоміжні потреби;

$V$  – обсяг виробництва продукції в цеху.

### Завдання

Задача 1. Підприємство випускає однакову продукцію.

Характеристика підприємств:

Підприємство № 1. Затрати ПЕР:

- на основний технологічний процес –  $5 \cdot 10^6$  МДж;

- на пуск обладнання –  $3 \cdot 10^5$  МДж;

- на планові втрати –  $2 \cdot 10^5$  МДж.

Кількість одиниць продукції, яка випускається – 10 000.

Підприємство № 2. Затрати ПЕР:

- на основний технологічний процес –  $2 \cdot 10^7$  МДж;

- на пуск обладнання –  $5 \cdot 10^5$  МДж;

- на планові втрати –  $4 \cdot 10^5$  МДж.

Кількість одиниць продукції, яка випускається – 20 000.

Визначити:

1. Індивідуальні технологічні норми.

2. Групову технологічну норму.

3. Індивідуальну загально виробничу норму.
4. Групову загально виробничу норму.
5. Зробити висновки щодо ефективності технологічних процесів.

Задача 2. Майстерня має два цехи. В цілому на освітлення майстерні витрачається 75 МВт·год.

Характеристика цехів:

Цех № 1: площа освітлення – 1000 м<sup>2</sup>.

Цех № 2: площа освітлення – 4000 м<sup>2</sup>.

Визначити витрати енергії на освітлення для кожного цеху для встановлення загально виробничої норми витрат енергоресурсів.

### Рекомендації до виконання самостійної роботи

Розподіл годин самостійної роботи для здобувачів освіти денної форми навчання:

- підготовка до аудиторних занять – 0,5 год./1 год. занять =  $0,5 \cdot (50) = 25$  год.

- підготовка до контрольних заходів – 6 год. на 1 кредит ЄКТС =  $6 \cdot 5 = 30$  год.

- опрацювання окремих тем програми або її частин, які не розглядаються на лекціях –  $100 - 25 - 30 = 45$  год.

Теми для самостійної роботи

№	Теми самостійної роботи
1	Терміни і визначення основних понять в області ресурсозбереження
2	Взаємозв'язок робіт із забезпечення ресурсозбереження та якості продукції в цілому
3	Класифікація, групування і визначення областей застосування ресурсозберігаючих показників
4	Роль стандартизації в зниженні ресурсомісткості продукції в машинобудуванні
5	Поняття ресурсу машин
6	Економічне значення проблеми ресурсу машин
7	Прогнозування ресурсу машин
8	Проблеми безпеки машин і конструкцій
9	Оцінка якості планів матеріально-технічного постачання
10	Оцінка потреби в матеріальних ресурсах
11	Оцінка ефективності використання матеріальних ресурсів
12	Поняття енергетичного балансу підприємства
13	Загальні відомості про енергетичний аудит
14	Основні поняття з нормування витрат палива та енергії
15	Види норм і методи нормування
16	Поняття енергетичного менеджменту
17	Порядок нормування витрат ресурсів
18	Джерела і види забруднень
19	Методи зниження вібрацій машин і обладнання



20	Виробничі підприємства і навколишнє середовище
----	--

Оцінка рівня освоєння здобувачами освіти питань, які виносяться на самостійне опрацювання проводиться на модульних контролях.

### Список рекомендованої літератури

1. Хітров І. О., Гавриш В. С., Кристопчук М. Є., Корнієнко В. Я. Ресурсо- та енергозбереження : навч. посібник. Рівне : НУВГП, 2014. 108 с.
2. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. Тернопіль : Підручники і посібники, 2001. 984 с.
3. Боблях С. Р., Мельнійчук М. М., Мельник В.С ., Ігнатюк Р. М. Відновлювальні джерела енергії : монографія. Луцьк : Волинський національний університет ім. Лесі Українки, 2012. 227 с.
4. Аніскевич Л. В., Войтюк Д. Г., Захарін Ф.М ., Адамчук Н. І., Пономаренко С. О. Основи застосування високоточних технологій рослинництва : монографія. К. : НУБіП України, 2020. 405 с.
5. Аніскевич Л. В., Войтюк Д. Г., Захарін Ф. М., Пономаренко С. О. Система точного землеробства : підручник. К. : НУБіП України, 2018, 566 с.
6. Виробнича експлуатація і ремонт машин та обладнання : навч. посібник / Романюк В. І., Гавриш В. С., Хітров І. О., Кононов Ю. А., Голотюк М. В. Рівне : НУВГП, 2016. 290 с.
7. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва : підр. у 2 т: Т 2. / за ред. А. В. Рудя/ К. : Агроосвіта, 2012. 434 с.
8. Сільськогосподарські машини : підручник / Д. Г. Войтюк, Л. В. Аніскевич, В. В. Іщенко та ін. ; за ред. Д. Г. Войтюка. К. : Агроосвіта, 2015. 679 с.