

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-енергетичний факультет
Кафедра агроінженерії

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

Частина 2.

Методичні рекомендації

для виконання лабораторних робіт
для здобувачів вищої освіти 1 (магістерського) рівня
спеціальності 208 «Агроінженерія» денної та заочної форми навчання



МИКОЛАЇВ
2021

УДК 631.3.002.2:65.012.123

A64

Друкується за рішенням науково-методичної комісії інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету від 26.05.2021 р., протокол № 9 ____

Укладачі:

О. А. Горбенко – канд. техн. наук, доцент кафедри агроінженерії;
А. С. Пастушенко – канд. техн. наук, старший викладач кафедри агроінженерії;
Н. І. Кім – канд. техн. наук, старший викладач кафедри агроінженерії;
О. І. Норинський – асистент кафедри агроінженерії;
М. С. Храмов – асистент кафедри агроінженерії.

Рецензенти:

В. І. Гавриш – д-р екон. наук, проф., зав. кафедри тракторів і с.г. машин, експлуатації та технічного сервісу.
В. Г. Богза – канд. техн. наук, доц., директор науково-дослідного інституту нових агропромислових об'єктів та учбово-інформаційних технологій.

©Миколаївський національний аграрний університет, 2021

Зміст

<i>Практична робота №1</i>	
Тема: Регресійний аналіз	4
<i>Практична робота №2</i>	
Тема: Аналіз екологічності аграрних технологічних систем	15
<i>Практична робота №3</i>	
Тема: Аналіз закономірностей розвитку аграрних технологічних систем	25
<i>Практична робота №4</i>	
Тема: Визначення оптимального складу машинно-тракторного парку	33
<i>Практична робота №5</i>	
Тема: Оптимізація розподілу техніки за видами робіт	40
<i>Практична робота №6</i>	
Тема: Мінімізація строків проведення механізованих робіт	47
<i>Практична робота №7</i>	
Тема: Сітьове планування механізованих процесів і кампаній	53
<i>Практична робота №8</i>	
Тема: Задачі організації механізованих процесів	62
<i>Список використаної літератури</i>	69

Практичне заняття № 1

Тема: «Регресійний аналіз»

Мета роботи: навчитися виконувати лінійну регресію основними прийомами регресійного аналізу в Excel.

1.1 Основні прийоми проведення регресійного аналізу в Excel.

У основі регресійного аналізу лежить ідея про знаходження значень коефіцієнтів, що зводять до мінімуму суму квадратів відхилень апроксимуючої функції від набору даних. Лінійні моделі регресії можна безпосередньо розв'язувати щодо невідомих коефіцієнтів. Якщо ж модель нелінійна, для пошуку коефіцієнтів іноді застосовується підхід, при якому мінімізація виконується за допомогою ряду ітерацій.

В уявленні більшості *лінійна регресія* (linear regression) асоціюється з обчисленням кутового коефіцієнта і точки перетину з віссю ординат апроксимуючої прямої, яка краще всього описує дані, що розглядаються. Проте це тільки початкові поняття, що відносяться до лінійної регресії. У понятті лінійна регресія слово «лінійна» означає, що рівняння, які використовуються для опису даних, повинні бути лінійними щодо своїх коефіцієнтів; при цьому зовсім не мається на увазі, що графік залежності повинен бути прямою лінією або що в рівнянні повинні фігурувати тільки два коефіцієнти (кутовий коефіцієнт і точка перетину прямої з віссю ординат). Основними прийомами проведення регресійного аналізу в Excel є виконання лінійної регресії за допомогою функцій Excel, лінії тренда і пакету регресійного аналізу.

1.2 Виконання лінійної регресії за допомогою функцій Excel.

Для обчислення *кутового коефіцієнта* (slope) і *знаходження точки перетину з віссю ординат* (intercept) прямої лінії, яка краще всього описує набір даних, корисними виявляться функції Excel НАКЛОН() і ОТРЕЗОК(). Додавши до них функцію КВПИРСОН(), що обчислює *квадрат коефіцієнта кореляції* (coefficient of determination), отримаємо простий набір, що дозволяє вирішити багато завдань по аналізу даних.

Приклад: Проаналізуємо простий набір даних, що включає значення температури і часу (рис. 1.1).

	A	B	C	D	E
1	Линейная регрессия с помощью функций Excel				
2					
3	Время	Температура			
4	(минуты)	(К)			
5					
6	0	298			
7	1	299			
8	2	301			
9	3	304			
10	4	306			
11	5	309			
12	6	312			
13	7	316			
14	8	319			
15	9	322			
16					

Рис. 1.1

Для визначення кутового коефіцієнта прямої лінії, що краще всього описує дані, використовується функція НАКЛОН(). У функції НАКЛОН() два аргументи, розташовані в такому порядку: діапазон комірок, що містить значення y (значення *залежної змінної* (dependent variable)), і діапазон комірок, що містить значення x (значення *незалежної змінної* (independent variable)) (рис. 1.2).

D6						
	A	B	C	D	E	F
1	Линейная регрессия с помощью функций Excel					
2						
3	Время	Температура				
4	(минуты)	(К)				
5						
6	0	298	Наклон:	2,775758		
7	1	299	Отрезок:			
8	2	301	R2:			
9	3	304				
10	4	306				
11	5	309				
12	6	312				
13	7	316				
14	8	319				
15	9	322				
16						

Рис. 1.2.

В даному випадку вивчається залежність температури від часу, а не навпаки, тому залежною змінною є температура (комірки B6:B15), а час (комірки A6:A15) вважається незалежною змінною.

Аналогічно, точку перетину прямої регресії з віссю ординат можна знайти за допомогою функції ОТРЕЗОК() з тими ж аргументами.

Квадрат коефіцієнта кореляції (R^2) обчислюється за допомогою КВПИРСОНО з тими ж аргументами, що і у двох попередніх функцій (рис. 1.3).

D8						
	A	B	C	D	E	F
1	Линейная регрессия с помощью функций Excel					
2						
3	Время	Температура				
4	(минуты)	(К)				
5						
6	0	298	Наклон:	2,775758		
7	1	299	Отрезок:	296,1091		
8	2	301	R2:	0,986419		
9	3	304				
10	4	306				
11	5	309				
12	6	312				
13	7	316				
14	8	319				
15	9	322				
16						

Рис. 1.3

Отримані результати свідчать про те, що пряма, яка краще всього описує дані, має кутовий коефіцієнт $b_1 = 2,7758$ і перетинає вісь ординат в точці

$b_0 = 296,1$ К. Значення R^2 рівне 0,9864 (ці величини отримують безпосередньо з даних, без побудови діаграми).

Таким чином, обчислено кутовий коефіцієнт, знайдена точка перетину лінії регресії з віссю ординат, а також величина R^2 . Наскільки точно пряма лінія описує дані? Щоб відповісти на це питання, необхідно побудувати діаграму з даними і лінією регресії, що дозволяє візуально переконатися в ступені їх збігу.

1.2 Виконання лінійної регресії за допомогою лінії тренда.

Регресійний аналіз в Excel досить простий. Як тільки дані представлені в графічному вигляді, регресія виконується за допомогою декількох клацань миші, тому регресія з використанням прямої часто застосовується, не дивлячись на те, що залежність між змінними не лінійна, а складніша. Сформулюємо практичне правило: *завжди слід будувати діаграму, на якій представлена крива регресії і дані, щоб можна було візуально оцінити ступінь збігу*. У тому випадку, коли регресія проводиться за допомогою лінії тренда, крива регресії автоматично додається на діаграму з відповідними даними.

Для виконання лінійної регресії, в процесі якої обчислюється кутовий коефіцієнт і точка перетину апроксимуючої прямої з віссю ординат, обчислюються різні суми, що включають значення x (незалежна змінна) та y (залежна змінна). За допомогою цих сум і рівняння (1.1) можна було б обчислити кутовий коефіцієнт b_1 і знайти точку перетину прямої регресії, що краще всього описує дані, з віссю ординат (b_0). Проте в цьому немає потреби, оскільки формула (1.1) вбудована в Excel:

$$b_1 = \frac{\sum x_i y_i - \frac{1}{N_{\text{дан}}} \sum x_i \sum y_i}{\sum (x_i^2) - \frac{1}{N_{\text{дан}}} (\sum x_i)^2}$$

При побудові на діаграмі лінії тренда Excel автоматично обчислює всі необхідні суми, потім знаходить значення коефіцієнтів b_1 та b_0 , а також квадрат коефіцієнта кореляції (достовірність апроксимації) R^2 . Завдяки тому, що лінія тренда будується на діаграмі, можна переконатися, наскільки добре вона описує дані. Рівняння лінії тренда і значення R^2 по замовчуванню на діаграмі не відображаються. Щоб відобразити цю інформацію, слід скористатися вкладкою «Параметри» діалогового вікна «Лінія тренда».

Продемонструємо застосування лінії тренда на прикладі даних, розглянутих в попередньому прикладі. Перший крок у використанні лінії тренда для отримання рівняння регресії - це представлення даних в графічному вигляді на точковій діаграмі (рис. 1.4).

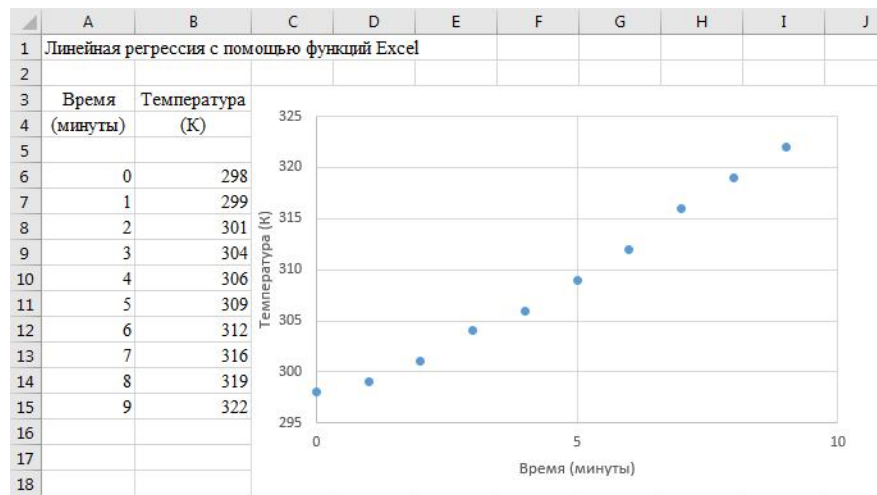


Рис. 1.4

Потім клацнемо правою кнопкою миші на будь-якому з маркерів даних і у випадіючому меню виберемо команду «Добавить линию тренда» (рис. 10.5).

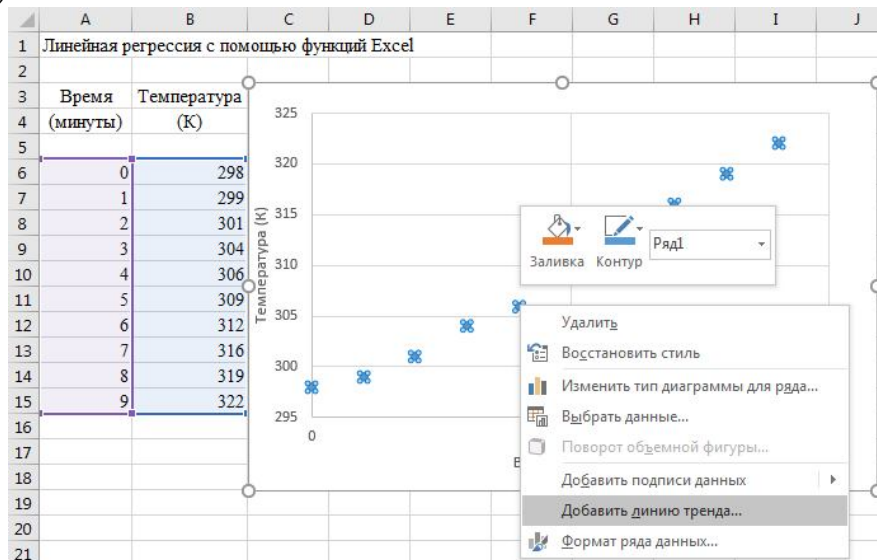


Рис. 1.5

У діалоговому вікні «Линия тренда» перейдемо на вкладку «Тип» і виберемо команду «Линейная» (рис. 10.6).

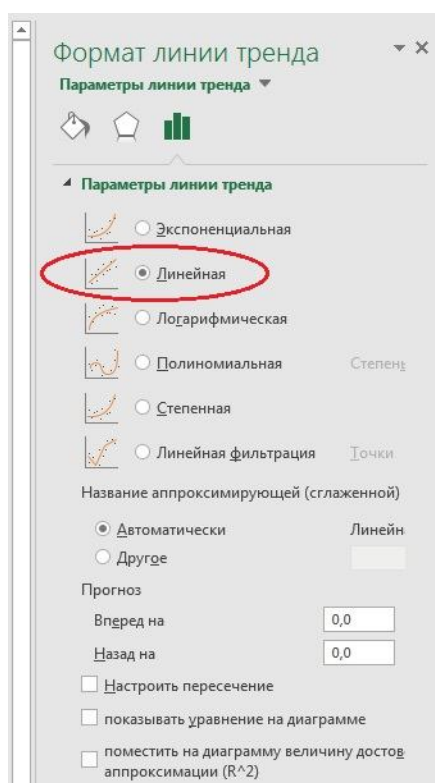


Рис. 1.6

Натиснемо кнопку «ОК» для закриття діалогового вікна «Линия тренда» і додавання до діаграми лінії тренда (рис. 1.7).

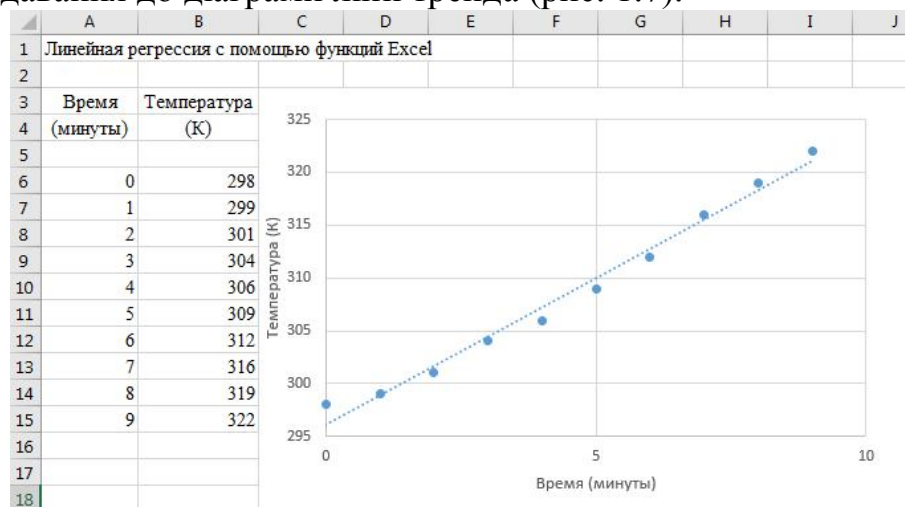


Рис. 1.7.

При додаванні лінії тренда в програмі Excel на основі графічних даних проводиться лінійна регресія. Є можливість відобразити рівняння кривої регресії на діаграмі.

Для цього програмі Excel потрібно дати відповідні вказівки. Двічі клацнемо на лінії тренда, що приведе до відображення на екрані діалогового вікна «Формат линии тренда» (рис. 10.8). Перейдемо на вкладку «Параметры» і встановимо прапорці «показывать уравнение на диаграмме» і «поместить на диаграмму величину достоверности аппроксимации (R^2)», щоб включити ці елементи в діаграму.

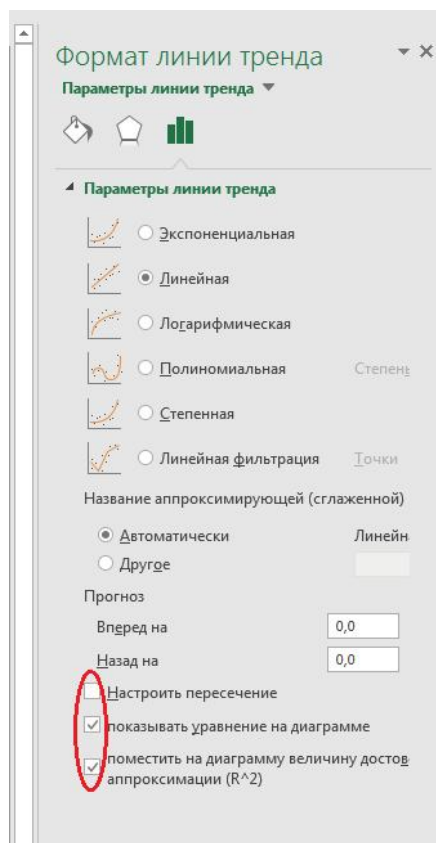


Рис. 1.8

Після натиснення кнопки «ОК» Excel відобразить на діаграмі рівняння регресії і величину R^2 (рис. 1.9).

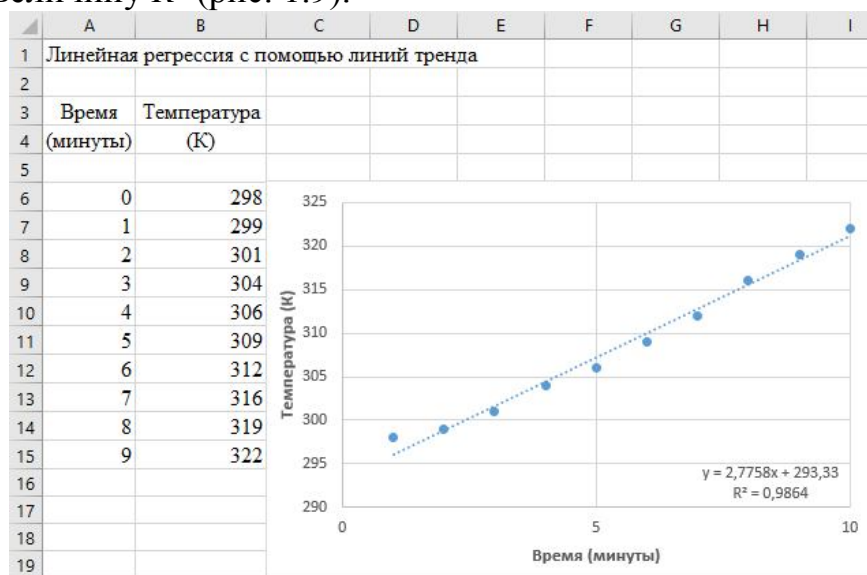


Рис. 1.9.

Як ми бачимо з діаграми, рівняння регресії має вигляд:

$$y = 2,7758x + 296,11 \quad (10.2)$$

з достовірністю апроксимації $R^2 = 0,9864$. Нагадаємо, що ті ж результати були отримані за допомогою функцій НАКЛОН(), ОТРЕЗОК() і КВПИРСОН(). Це свідчить про те, що пряма, яка краще всього описує дані, характеризується кутовим коефіцієнтом $b_1 = 2,7758$ К/хв (одиниці вимірювання отримані з урахуванням розмірностей даних) і точкою перетину з віссю ор-

динат $b_0 = 296,11$ К. Крім того, виходить, що пряма описує дані з достовірністю апроксимації $R^2 = 0,9864$. Оскільки ідеальній апроксимації відповідає величина $R^2 = 1$, можна зробити висновок, що пряма лінія не описує залежності ідеально. Присутність лінії тренда на діаграмі дозволяє візуально оцінити якість опису.

1.4 Виконання лінійної регресії за допомогою пакету регресійного аналізу.

Пакет регресійного аналізу в Excel достатньо простий у використанні, проте він дещо складніше, ніж звичайна побудова лінії тренда на діаграмі. Такий складніший підхід може знадобитися з двох причин:

- 1) іноді потрібно використовувати модель регресії, лінія тренда якої відсутня. Пакет регресійного аналізу дозволяє застосувати будь-яку модель лінійної регресії;
- 2) може знадобитися докладніша інформація про процес регресії, яку не можна отримати за допомогою ліній тренда.

Як приклад роботи з пакетом регресійного аналізу розглянемо обчислення кутового коефіцієнта і точки перетину з віссю ординат прямої, що описує залежність температури від часу. Дані використовуємо з попереднього прикладу.

Щоб викликати на екран діалогове вікно «Анализ данных», виберемо команду «Сервис > Анализ данных». У цьому вікні відображається список інструментів аналізу, один з яких - «Регрессия» (рис. 1.10).

Виберемо команду «Регрессия» і клацнемо на кнопці «ОК».

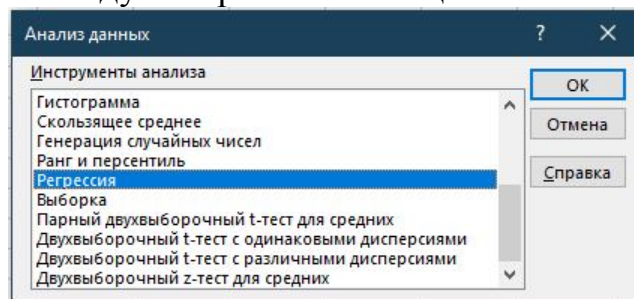


Рис. 1.10

При цьому на екрані з'явиться діалогове вікно «Регрессия» (рис. 1.11).

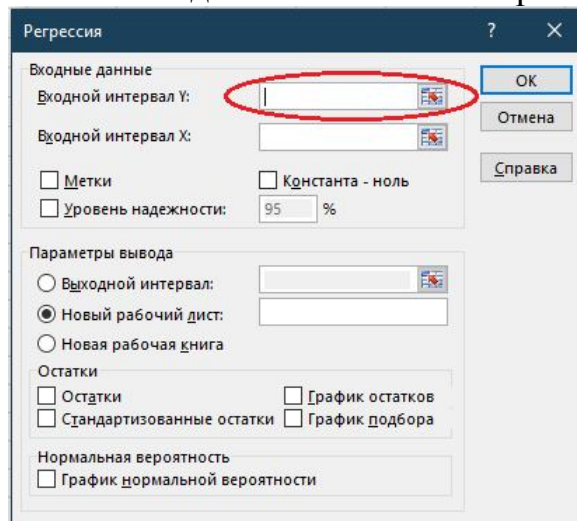


Рис. 1.11

У діалоговому вікні (див. рис. 1.11) є поле «Входной интервал Y», праворуч від якого розташована невелика кнопка, що дозволяє перейти в електронну таблицю (щоб можна було вибрати комірки, в яких міститься значення y). Клацнемо на цій кнопці.

Після переходу до електронної таблиці (рис. 1.12) вкажемо за допомогою миші ті комірки, в яких містяться значення y. Вибравши значення y, клацнемо на кнопці, що дозволяє повернутися до діалогового вікна (на рис. 1.12 вона обведена), або натиснемо клавішу «Enter».

В результаті ми повернемося до діалогового вікна «Регрессия» (рис. 1.13)

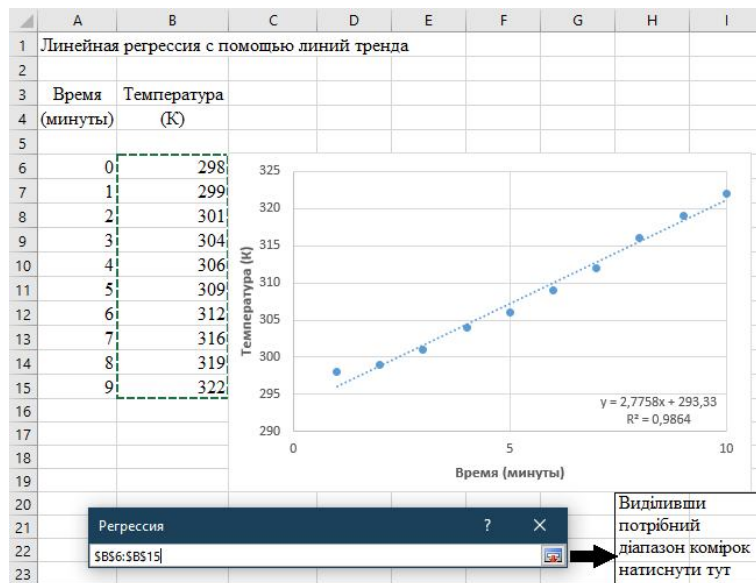


Рис. 1.12

Аналогічним чином слід вказати значення x (рис. 1.13).

Рис. 1.13

За допомогою миші виберемо комірки (рис. 1.14), в яких містяться значення x, а потім повернемося до діалогового вікна «Регрессия» (рис. 1.15).

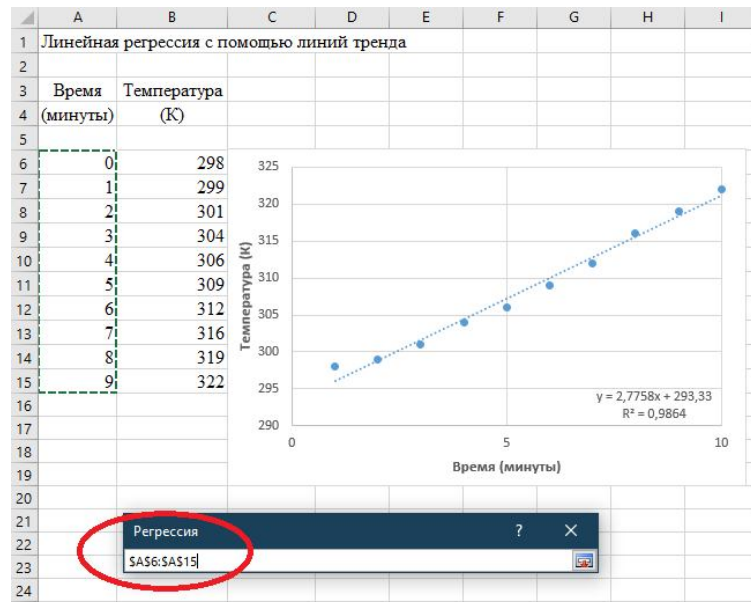


Рис. 1.14

Оскільки результати регресії займають багато місця, найчастіше їх розміщують на новому листі (у новій таблиці). Для цього встановимо перемикач «Параметры вывода» в положення «Новый рабочий лист» (див. рис. 1.15).

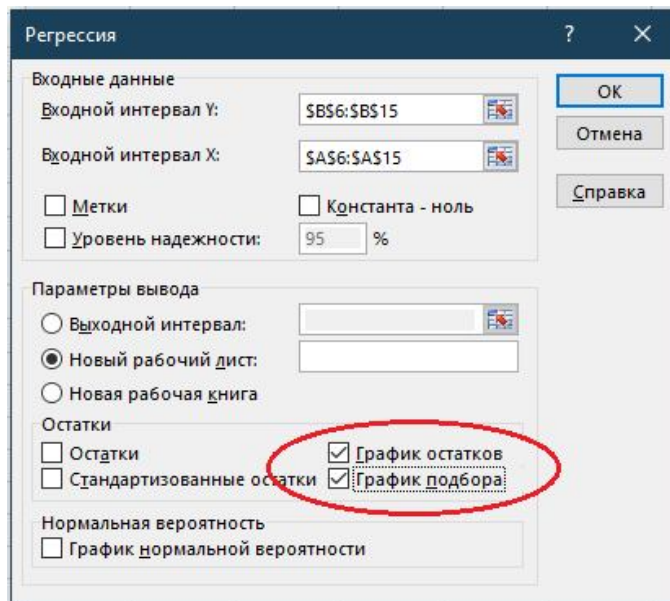


Рис. 1.15

Для візуального контролю точності опису даних лінією регресії завжди корисно мати перед очима графік залишків і діаграму із зображенням апроксимуючої кривої. Щоб відобразити вказані графіки, встановимо в діалоговому вікні «Регрессия» прапорці «График остатков» і «График подбора» (див. рис. 1.15).

Щоб виконати регресію, клацнемо на кнопці «ОК». Результати будуть представлені у вигляді таблиць і графіків (якщо графіки запитані).

Частина виводу показана на рис. 1.16.

	A	B	C	D	E	F
1	ВЫВОД ИТОГОВ					
2						
3	Регрессионная статистика					
4	Множественный R	0,99318635				
5	R-квадрат	0,986419126				
6	Нормированный R-квадрат	0,984721517				
7	Стандартная ошибка	1,045915577				
8	Наблюдения	10				
9						
10	Дисперсионный анализ					
11		df	SS	MS	F	значимость
12	Регрессия	1	635,6484848	635,6484848	581,0637	9,35E-09
13	Остаток	8	8,751515152	1,093939394		
14	Итого	9	644,4			
15						
16		Коэффициенты	Стандартная ошибка	t-статистика	Значение	95% доверительный интервал
17	Y-пересечение	296,1090909	0,614740869	481,6811535	3,86E-19	294,6915
18	Переменная X 1	2,775757576	0,115151515	24,10526316	9,35E-09	2,510218
19						

Рис. 1.16

З листа підсумків видно, що лінія, яка найкращим чином описує дані, характеризується кутовим коефіцієнтом $b_1 = 2,775$ К/хв (висновок про розмірність цього коефіцієнта можна зробити виходячи з розмірностей даних) і точкою перетину з віссю ординат $b_0 = 296,1$ К. Величина R^2 рівна 0,9864. Ці результати співпадають з тими, які були отримані іншими методами.

Графіки дозволяють візуально перекоонатися, наскільки точно апроксимуюча лінія описує дані. Програма Excel створює і розміщує на сторінці з підсумками графік підбору (рис. 1.17).

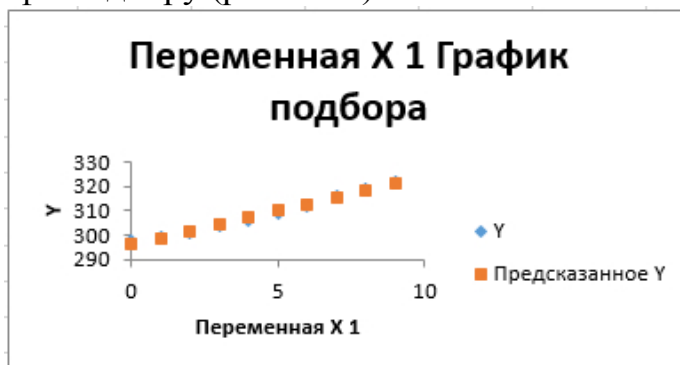


Рис. 1.17

Він майже такий, як і графік, який створюється за допомогою лінії тренда. Погану апроксимацію ще краще видно на графіку залишків (рис. 10.18).

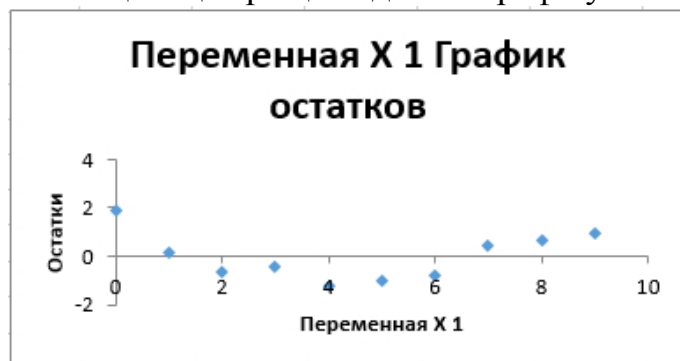


Рис. 1.18

Залишок (residual) - це різниця між значеннями y , які відповідають даним, і значеннями y , через які проходить лінія регресії при кожному значенні x .

Графік залишків (residual plot) дозволяє підкреслити погані збіги і полегшує їх виявлення. У нашому випадку маркери даних на графіці залишків утворюють букву «U». Це свідчить про те, що вибрана для опису модель (пряма лінія) не враховує певної закономірності. Напрошується висновок, що слід підібрати модель регресії, яка буде точніше відповідати даним.

Даний приклад наведений як нагадування про те, що проста лінійна регресія за допомогою прямої лінії не завжди найкраща. Якщо дані описуються нелінійною залежністю, слід застосувати підхід з використанням складнішої апроксимуючої кривої.

Завдання на практичне заняття

Термопари виготовляються шляхом з'єднання двох різнорідних металевих проволоч. У місці з'єднання двох різних металів виникає невелика, але така, що піддається вимірюванню різниця потенціалів. Величина цієї різниці змінюється залежно від температури; таким чином, знаючи взаємозв'язок між температурою і напругою, за допомогою термопар можна вимірювати температуру. Рівняння, що описують типи термопар, які часто використовуються, можна знайти в довідниках або отримати, побудувавши по декількох експериментальних точках калібрувальну криву. Для термопар це завдання виявляється особливо простим завдяки тому, що в достатньо вузькому діапазоні температур співвідношення між температурою і напругою є майже лінійним.

Трьома вище наведеними прийомами проведення регресійного аналізу потрібно знайти коефіцієнти апроксимуючої прямої, яка відповідає даним табл. 1.1, і порівняти результати.

Таблиця 1.1.

Варіанти завдань для проведення регресійного аналізу

T (°C)	U (мВ)	U (мВ)	U (мВ)	U (мВ)	U (мВ)	U (мВ)	U (мВ)	U (мВ)	U (мВ)	U (мВ)
10	0,397	0,358	0,333	0,246	0,417	0,258	0,156	0,256	0,256	0,460
20	0,798	0,812	0,698	0,546	0,812	0,712	0,489	0,459	0,589	0,785
30	1,204	1,312	1,215	0,897	1,304	1,212	0,785	0,825	0,885	1,125
40	1,612	1,700	1,658	1,215	1,712	1,600	1,125	1,256	1,212	1,589
50	2,023	2,012	1,987	1,598	2,125	2,012	1,587	1,892	5	2,012
60	2,436	2,512	2,456	2,002	2,536	2,456	1,956	2,458	1,687	2,456
70	2,851	2,987	2,900	2,558	2,951	2,887	2,352	2,865	1,956	2,987
80	3,267	3,245	3,187	3,001	3,367	3,145	2,765	3,324	2,452	3,402
90	3,682	3,654	3,589	3,447	3,782	3,554	3,145	3,756	2,865 3,345	3,703
Варі- ант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Примітка. Напруга на термопарі змінюється в результаті зміни температури - це означає, що напруга залежить від температури. При виконанні регресії значення незалежної змінної (температури) завжди слід відкладати вздовж осі x , а значення залежної змінної (напруга) - вздовж осі y .

Завдання на самостійну роботу

За статистичними даними за 10 років має місце залежність валового виробництва комбікормів на підприємстві від наявних основних виробничих фондів. Трьома вище наведеними прийомами проведення регресійного аналізу знайдіть коефіцієнти апроксимуючої прямої, яка відповідає даним табл. 1.2, і порівняйте результати.

Таблиця 1.2

Початкові дані для самостійної роботи

Рік	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Валове виробництво (тис. грн.)	380	450	485	515	640	570	610	660	680	695
Основні виробничі фонди (тис. грн.)	95	110	125	140	150	165	180	210	250	280

Контрольні питання для самоперевірки знань

1. Що лежить в основі регресійного аналізу?
2. Що слід розуміти під лінійною регресією?
3. Які основні прийоми застосовуються для проведення регресійного аналізу в Excel? Назвіть їх відмінності, недоліки і переваги.
4. Які функції Excel використовуються для обчислення кутового коефіцієнта і точки перетину з віссю ординат прямої лінії, яка краще всього описує набір даних?
5. Яка функція Excel обчислює квадрат коефіцієнта кореляції?
6. На яких осях слід відкладати значення незалежної і залежної змінних?
7. Які типи ліній тренда можуть використовуватися при представленні даних в графічному вигляді?

Практичне заняття № 2

Тема: «Аналіз екологічності аграрних технологічних систем»

Мета роботи: набути вміння оцінювати рівень енергоємності та екологічності аграрних технологічних систем.

1. Аналіз екопоміко-екологічної ефективності аграрних ТхС.

Економіко-екологічну ефективність аграрних технологічних систем (ТхС) можна кількісно оцінити, користуючись структурною схемою факторів, що наведена на рис. 11.1. При цьому потрібно розрізняти різні ієрархічні рівні ТхС, а саме: рівень операції (ТхСО), процесу ТхСП), технології (ТхСТ) і технологічного комплексу (ТхСК).

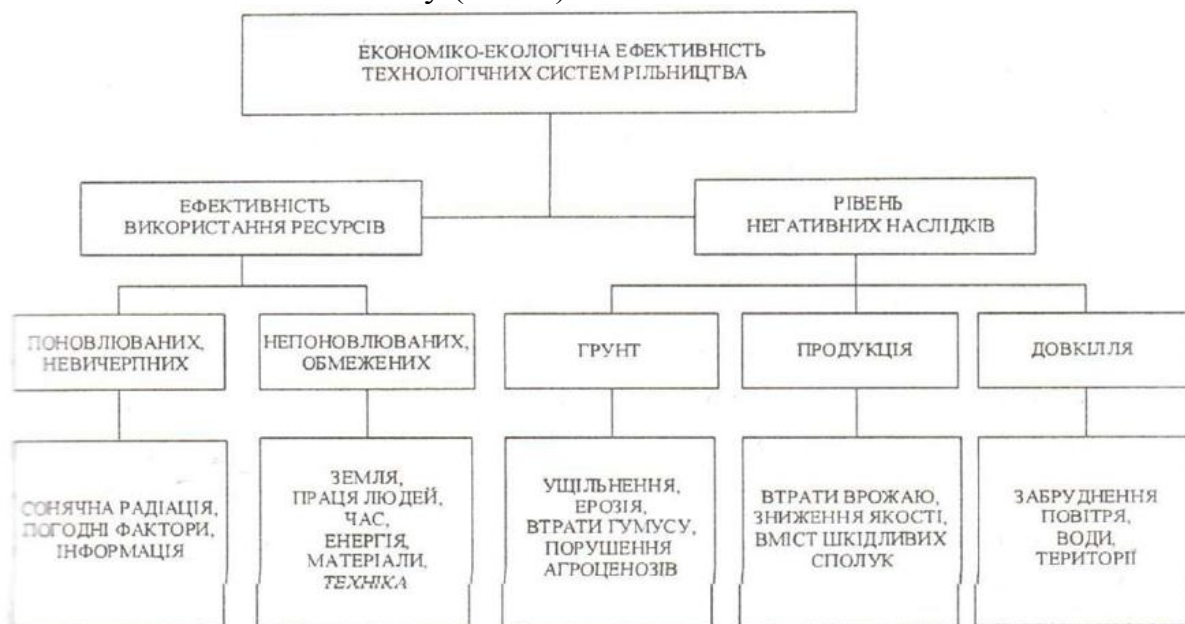


Рис. 11.1. Загальна схема факторів, що зумовлюють екологічність аграрних ТхС.

Економіко-екологічну ефективність стосовно ТхСТ виробництва продукції рослинництва можна записати у загальному вигляді так:

$$\varepsilon_m = \frac{\sum_i (E_{ui}^n - E_{ui}^b) - (\sum_j E_{mj} + \sum_j \sum_k E_{njk})}{\sum_j E_{mj} + \sum_j \sum_k E_{njk}}$$

де E_{ui}^n – енергетичний вираз продукції i -го виду (основної та побічної) потенційного врожаю для даної технології, ГДж/га;

E_{ui}^b – енергетичний вираз технологічних втрат продукції i -го виду, ГДж/га;

E_{mj} – витрати сукупної непоновлюваної енергії на j -ту операцію, ГДж/га;

E_{njk} – енергетичний вираз сукупних шкідливих наслідків k -го виду на j -й операції, ГДж/га.

Екологічний аналіз ТхСТ базується на співставленні корисних результатів і шкідливих наслідків, що виникають при матеріально-енергетичних та інформаційних обмінах системи з середовищем. Якщо при аналізі економічної ефективності корисні результати і затрати ресурсів виражаються в грошових одиницях, то при оцінці екологічності – в енергетичних еквівалентах a_i . Наприклад, енергетичний еквівалент для зерна пшениці (вміст енергії в 1

кг сухої речовини зерна) становить 19,13 МДж/кг, гороху - 20,57 МДж/кг, соломи – близько 10 МДж/кг, бензину - 42,3 МДж/л, дизельного палива - 47,7 МДж/л, азотних добрив - 86,8 МДж/кг д. р., гербіцидів - 264...420 МДж/кг д. р. Для технічних засобів енергетичні еквіваленти встановлюються на 1 кг маси за одну годину роботи (для тракторів – 0,024 МДж/кг·год). Затрати праці оцінюються еквівалентом одної години роботи (для механізаторів – 1,26 МДж/год, для допоміжного персоналу – 0,6...0,9 МДж/год).

При вирощуванні зернових з підсівом трав корисні ефекти отримують від зерна, незернової частини врожаю (полова, солома), трави, а також післяжнивних залишків, що збільшують енергетичний потенціал ґрунту. Витрати непоновлюваної енергії на виробництво продукції містяться в технічних засобах, паливі, технологічних матеріалах (насіння, добрива, пестициди), затратах праці.

Для переведення урожаю і витрат ресурсів у енергетичні одиниці використовують формулу:

$$E_j = \alpha_j \cdot M_j$$

де E_j – кількість сукупної енергії, що міститься в j -му матеріальному об'єкті, ГДж;

α_j – енергетичний еквівалент одиниці маси (об'єму) об'єкта, ГДж/кг (ГДж/л; ГДж/м³);

M_j – кількісна характеристика об'єкта, кг (л, м³).

Таким чином, ефективність використання природних ресурсів при виробництві с.-г. продукції, як важливої складової екологічності, можна оцінити величиною *коефіцієнта енергетичної ефективності технології* K_{em} :

$$K_{em} = \sum_i (E_{ui}^n - E_{ui}^e) / \sum_j E_{mj}$$

Коефіцієнт енергетичної ефективності ТхСТ досить повно характеризує використання ресурсів, включаючи землю і час, через врожайність культур. Як відомо, несвоєчасне проведення технологічних операцій знижує врожайність, а втрати врожаю залежать, в основному, від достатності технологічних функцій, їх якості та своєчасності, тому втрати врожаю означають практично незворотні втрати всіх ресурсів, що використані при його вирощуванні.

В енергетичних одиницях можна також виразити негативні наслідки функціонування ТхС. Польові технологічні системи спричиняють ущільнення ґрунту ходовими системами машинних агрегатів, його технологічну ерозію і винесення гумусу за межі поля, руйнування природних біоценозів, забруднення середовища та продукції шкідливими хімічними сполуками.

Ущільнення поля можна оцінити роботою деформації ґрунту, що пов'язана з утворенням колії, і може бути виражене через опір коченню:

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

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

P_f – складова опору коченню, що деформує ґрунт, Н;
 L_s – шлях, пройдений агрегатом при обробітку 1 га, м/га;
 η – коефіцієнт втрат у ходовій системі тракторів (для колісних тракторів – $\eta \approx 0,98$, для гусеничних – $\eta = 0,9 \dots 0,93$);
 f_m і f_{mj} – коефіцієнти опору коченню трактора і j -ї машини в агрегаті (в тому числі зчіпки);
 G_m і G_{mj} – експлуатаційна вага трактора і j -ї машини агрегату, Н;
 B_p – ширина захвату агрегату, м.

Деградацію ґрунту внаслідок винесення гумусу через недосконалість технологій механізованих робіт також можна виразити в енергетичних одиницях, користуючись формулою:

$$E_{zi} = \alpha_z \cdot \delta_z \cdot M_z$$

де E_{zi} – втрати гумусу при виконанні z -тої технологічної операції, Дж/га;

α_z – енергетичний еквівалент гумусу ($\alpha_z = 21,4 \dots 29,9$ МДж/кг);

δ_z – коефіцієнт вмісту гумусу в одиниці маси ґрунту;

M_z – маса землі, що виноситься за межі поля при виконанні технологічних операцій, кг/га.

Шкідливу дію засобів хімізації, що не виконують свого безпосереднього призначення (живлення рослин, знищення бур'янів, шкідників чи носіїв хвороб), можна виразити залежністю:

де A_{xp} – шкідлива дія хімічних речовин /7-го виду, Дж/га;

k_{xp} – показник енергетичної активності субстанції, Дж/моль·год;

H_{xp} – норма витрати хімікатів (у діючій речовині), кг/га;

m_p – маса 1 моля субстанції, кг/моль;

φ_{xp} – коефіцієнт непродуктивних витрат і втрат хімікатів;

T_{xp} – час розкладу хімікатів до нешкідливого стану, год.

Якщо при проведенні хімічного обробітку має місце знесення препаратів за межі поля, то для оцінки забрудненості певної ділянки місцевості замість норми внесення H_{xp} в (11.6) підставляють концентрацію препаратів на одиниці площі, а коефіцієнт φ_{xp} приймають рівним 1. Загальні шкідливі наслідки технологічної операції при однакових розмірностях складових визначаються їх сумою.

Для аналізу екологічності інколи бажано оцінити рівень використання окремих видів ресурсів. Особливе значення в інтенсивному землеробстві має, наприклад, зниження втрат засобів хімізації, бо вони є енергоємними і агресивними у відношенні до середовища речовинами.

Кількісна оцінка втрат визначається на основі матеріального балансу на всіх етапах технологічного процесу і виражається показником повноти використання ресурсів. Зокрема, *коефіцієнти корисного використання і втрат технологічних матеріалів* можна визначити за відношеннями:

$$\varphi_m = q_n / (q_n + \sum_j q_{ej}) \quad q_e = 1 - \varphi_m$$

де φ_m – коефіцієнт корисного використання матеріалу;

φ_e – коефіцієнт втрат матеріалу;

q_n – біологічно необхідна кількість матеріалу, кг/га;

q_{ej} – питомі втрати матеріалу на j -му етапі технологічного процесу (зберігання, переробка, транспортування, внесення), кг/га.

Відомо, наприклад, що коефіцієнт корисного використання пестицидів знаходиться в межах 3...10 %, тобто більше 90 % речовини витрачається нераціонально і забруднює навколишнє середовище. Більше 30 % мінеральних добрив також не використовується. Ще досить значними є втрати енергії і нафтопродуктів, низький рівень утилізації відходів (елементів конструкції списаної техніки, відпрацьованих мастил тощо).

При оцінці *шкідливості відходів* варто враховувати додатково міру їх агресивності у відношенні до середовища і час розкладу до нешкідливого рівня:

$$\chi_e = \lambda_e \cdot C_e \cdot T_p$$

де χ_e - показник шкідливості відходів, Дж/м²;

λ_e - коефіцієнт агресивної дії речовини, Дж/кг·год;

C_e - концентрація відходів на площі (або в об'ємі), кг/м²;

T_p - час розкладу до нешкідливого рівня, год.

Отже, як корисні результати виробничої діяльності, так і її негативні наслідки можуть бути виражені в енергетичних одиницях. Це дає можливість розробити систему часткових і узагальнених критеріїв екологічності виробництва. Зокрема, *узагальнений критерій екологічності* ТхСТ можна записати у вигляді:

$$K_{ек} = \sum_i (E_{ui}^n - E_{ui}^e) / (\sum_j E_{mj} + \sum_j \sum_k E_{ijk})$$

1.2 Економічні та екологічні аспекти енергооцінки ТхС Враховуючи, що енергія є загальним знаменником всіх систем, як природних, так і створених людиною, то в сільському господарстві це особливо знаходить підтвердження. Економіка в поєднанні з теорією енергетики дає можливість при оцінці технологій виробництва сільгоспкультур включати і нібито безкоштовні природні ресурси (сонячну енергію, енергію ґрунту, тепла до-вкілля, опадів) в розряд економічних цінностей. При цьому, за думкою екологів, економічна система оцінок піднімається на самий високий рівень, яким є екологічна система оцінок.

Енергія - це екологічна категорія оцінки, а *гроші* - економічна категорія. Якщо економіка передбачає ефективність виробництва, досягаючи максимального прибутку, то екологією передбачається досягнення певного ефекту при як найменшому негативному впливу на довкілля. Якщо економіка в більшості передбачає якнайшвидше отримання прибутку на даному полі, в даному господарстві, в певній країні, то екологія оперує більш перспективними і глобальними поняттями і показниками в межах країн світу.

Таким чином, *енергооцінка ТхСТ* може відігравати роль показника економіки з переведенням в грошову оцінку і показника екологічності з врахуванням встановлених відносно оптимальних і допустимих меж енергонавантаження.

Розглянемо ТхСТ виробництва провідних сільгоспкультур з двох точок зору - *економічної ефективності* і *екологічної доцільності*. В першому випадку проводиться аналіз за *коефіцієнтом енергетичної ефективності*, який в деякій мірі може відображати і грошову економічну ефективність, в другому - за *показником екологічності*.

Приклад 1. Енергетичну ефективність ТхСТ можна визначати відношенням енергоємності отриманої продукції (врожаю) E_n до енергоємності виробництва E_m , тобто відношенням отриманої енергії з одиниці площі у вигляді продукції до витраченої енергії на цю ж одиницю площі (табл. 11.1). При цьому для розрахунків брали тільки основну продукцію - зерно, насіння, коренеплоди, без побічної - соломи, гички тощо. Щоб мати більш об'єктивні дані, кількість вирощеної основної продукції визначали у вигляді біологічної врожайності, яку фіксували перед самим збиранням врожаю, застосовуючи методику визначення на облікових ділянках, розміщених рівномірно по полю. За даними біологічної врожайності W_6 обраховували енергоємність вирощеної продукції, користуючись коефіцієнтами енергетичності сухої речовини та вмісту цієї речовини в урожаї [4].

Таблиця 11.1

Приклад визначення енергетичної ефективності ТхСТ виробництва провідних культур

Культури, показника		Вихідні дані, результати					
		Типова технологія	Фактичні технології по господарствах				
			«Кутузівка»	«І Тра-вня»	«Альфа»	«Агро-екологія»	середні
Озима пшениця	W_6 , т/га	5,40	5,31	2,92	4,76	5,00	4,50
	E_n , ГДж/га	59,63	88,13	48,47	79,01	82,29	74,48
	E_m , ГДж/га	27,75	13,83	11,03	13,58	22,59	15,26
	K_{em}	3,23	6,37	4,39	5,82	3,64	5,06
Кукурудза на зерно	W_6 , т/га	4,00	3,13	2,95	3,45	3,00	3,13
	E_n , ГДж/га	60,54	47,43	44,65	52,22	45,41	47,43
	E_m , ГДж/га	17,51	6,35	6,33	6,77	5,95	6,35
	K_{em}	3,46	7,46	7,05	7,71	7,63	7,46
Соняшник	W_6 , т/га	1,80	2,57	1,80	1,50	2,00	1,97
	E_n , ГДж/га	32,09	45,82	32,09	26,74	35,16	34,95
	E_m , ГДж/га	14,41	5,23	5,22	5,13	7,52	5,78
	K_{em}	2,23	8,76	6,15	5,21	4,68	6,20
Цукрові буряки	W_6 , т/га	25,00	42,05	31,00	36,57	30,00	34,91
	E_n	63,91	107,50	79,25	93,49	76,69	89,23

	ГДж/га						
	E_m , ГДж/га	33,59	38,32	9,65	10,38	9,21	16,89
	K_{em}	1,90	2,81	8,21	9,01	8,33	7,09
Карто- пля	W_o , т/га	20,00	25,00	30,00	35,00	20,00	27,50
	E_n , ГДж/га	73,16	91,45	109,74	128,03	73,16	100,60
	E_m , ГДж/га	42,61	22,00	28,00	30,00	35,00	28,75
	K_{em}	1,72	4,16	3,92	4,27	2,09	3,61
Середня енерге- тична ефектив- ність	$K_{em\text{ ср}}$	2,51	5,91	5,94	6,40	5,27	5,88

Сукупна енергоємність технології (сумарна кількість непоновлюваної енергії, що витрачена на 1 га при формуванні врожаю), визначається як сума витраченої енергії при виконанні кожного технологічного процесу (операції) технології, тобто від підготовки ґрунту до збирання врожаю. Аналіз витрат енергії можна провести не тільки за функціональними групами технологічних процесів (операцій), а також за видами витрат (таблиці А1 ...А5):

- 1) основні технічні засоби (трактори, сільгоспмашини, знаряддя);
- 2) енергоносії (пальне, мастила, електроенергія);
- 3) жива праця;
- 4) добрива і пестициди;
- 5) насіння.

Коефіцієнт енергетичної ефективності K_{em} визначається як відношення енергоємності отриманої продукції E_n до сукупної енергоємності витрат ресурсів на виробництво певної сільгоспкультури E_m . І якщо такий коефіцієнт більше 1,00, то така сільгоспкультура з точки зору енергетичної теорії є прибутковою, ефективною.

Як видно із таблиці 11.1, в якій приведені вихідні дані та результати розрахунків коефіцієнту енергетичної ефективності, серед господарств середня енергетична ефективність сільгоспкультур складає 5,88, коливаючись від 5,27 до 6,40, тобто різниця між господарствами не особлива. Значно менший енергетичний ефект планується типовими технологіями - в середньому 2,51, коливаючись по культурах від 1,72 (картопля) до 3,48 (кукурудза на зерно), що свідчить про планування високих енерговитрат при недостатній врожайності.

В цілому можна сказати, що фактично, як показують дані і розрахунки, провідні сільгоспкультури енергетично рентабельні. Але із-за низьких ринкових цін на сільгосппродукцію, які часто нижчі собівартості, в багатьох випадках виробництво сільгоспкультур або збиткове, або прибуток від нього незначний (до 15...20% в кращому разі).

Розглянемо вплив технологій виробництва сільгоспкультур на довкілля за показником екологічності.

Приклад 2. Показник екологічності ТхСТ можна визначити як відношення нормативної енергоємності до фактичної сукупної енергоємності виробництва певної культури:

$$K_{ек} = \frac{E_{норм}}{E_m}$$

де $K_{ек}$ – показник екологічності ТхСТ виробництва сільгоспкультури;

$E_{норм}$ – нормативна енергоємність ТхСТ, $E_{норм} = 30$ ГДж/га;

E_m – сукупна енергоємність ТхСТ, ГДж/га.

Нормативна енергоємність ТхСТ – це екологічно допустима межа енергонасиченості технології виробництва сільгоспкультури.

Межі сумарного енергонавантаження на 1 га за рік встановлені такі:

- відносно оптимальна енергоємність – до 15 ГДж/га;
- допустима енергоємність – 15...30 ГДж/га;
- екологічно недопустима енергоємність - поза 30 ГДж/га.

При відносній величині показнику екологічності меншій 0,50 технологію можна вважати екологонебезпечною, при 0,50... 1,00 - екологобезпечною, а при величині більше 1,00 - екологозберігаючою.

Звичайно, приведені дані мають загальний характер і не можуть характеризувати такі екологічні показники, як щільність і розпиленість ґрунту, винос його з урожаєм тощо, але все-таки, знаючи величину енергонасиченості, енергоємності можна передбачити, що з її підвищенням посилюється і негативний вплив на одну із складових довкілля, якою є ґрунт.

Отже, як видно з даних енергоємності технологій рослинництва та з результатів їх аналізу, енергетична оцінка не є і не може бути альтернативою повній екологічній та економічній оцінці. Але вона дозволяє отримати більш об'єктивну, повну і прозору картину виробництва сільгоспкультур незалежно від кон'юнктури ринку, надаючи можливість для більш реальної оцінки екологічної доцільності та економічної ефективності цього виробництва, для реального визначення паритету цін між продукцією і засобами в галузі рослинництва.

Енергоємність виробництва є основою для розробки і впровадження в практику еколого-безпечних, енерго- і ресурсозберігаючих технологій не тільки в агропромисловому комплексі, а й у всіх галузях виробничої діяльності людства.

Завдання на практичне заняття

1. За даними енергетичної ефективності ТхСТ виробництва провідних культур (табл. 11.1) потрібно визначити:

- сільгоспкультури, які з точки зору енергетичної теорії є найбільш і найменш прибутковими (ефективними);
- господарства, які мають найбільший і найменший енергетичний ефект;
- значення показника екологічності (табл. 11.2).

Таблиця 11.2

Екологічність ТхСТ виробництва провідних культур

Культури, показника		Вихідні дані, результати					
		Типова технологія	Фактичні технології по господарствах				
			«Кутузі-вка»	«1 Тра-вня»	«Альфа»	«Агрое-кологія»	середні
Озима пшениця							
Кукурудза на зерно							
Соняшник							
Цукрові буряки							
Картопля							
Середні показники							

2. За даними показника екологічності ТхСТ виробництва провідних культур (табл. 11.2) потрібно визначити:

- сільгоспкультури, технології виробництва яких є екологічно зберігаючими, безпечними і небезпечними;
- господарства, в яких технології виробництва провідних культур є екологічно зберігаючими, безпечними і небезпечними;
- ТхСТ, де середня величина показника екологічності знаходиться не в оптимальних межах.

Завдання на самостійну роботу

1. Дайте перелік основних шкідливих наслідків механізованих технологій виробництва сільськогосподарської продукції щодо оточуючого середовища.

2. Проаналізуйте можливі втрати пестицидів на всьому технологічному ланцюжку від складу до поля та їх вплив на економічну, енергетичну та екологічну оцінку ТхСТ виробництва сільгоспкультур.

Контрольні запитання для самоперевірки знань

1. Як визначається сукупна енергоємність ТхСТ?
2. Які види витрат енергії є складовими сукупної енергоємності ТхСТ?
3. Як можна визначити коефіцієнт енергетичної ефективності виробництва сільгоспкультур?
4. Яка сільгоспкультура з точки зору енергетичної теорії є прибутковою ефективною?
5. Що впливає на планування значно меншого енергетичного ефекту типових технологій виробництва сільгоспкультур?
6. Чому виробництво енергетично рентабельних сільгоспкультур в багатьох випадках може бути збитковим або з незначним прибутком?
7. За яким показником доцільно розглядати вплив технологій виробництва сільгоспкультур на довкілля?
8. Як можна визначити показник екологічності ТхСТ?

9. Що таке нормативна енергоємність ТхСТ?
10. Які встановлені межі сумарного енергонавантаження на 1 га за рік?
11. При якій відносній величині показнику екологічності технологію можна вважати екологонебезпечною, екологобезпечною, еколого-зберігаючою?
12. За рахунок чого показник екологічності по озимій пшениці більший від енергоємного цукрового буряку?

Практичне заняття № 3

Тема: «Аналіз закономірностей розвитку аграрних технологічних систем»

Мета роботи: набути вміння обґрунтовано вибирати напрямки екологічно сприятливого розвитку аграрних технологічних систем.

12.1 Передумови цілеспрямованого розвитку аграрних ТхС

Розвиток характеризується стійкими закономірними змінами в системі, що призводять до покращання її корисних властивостей і (або) зниження негативних наслідків функціонування системи.

Ці зміни можуть відбуватися в елементах, зв'язках і відношеннях, організації функцій і взаємозв'язків системи з надсистемою, поведінці системи і методах управління тощо.

Цілеспрямований розвиток є вищою формою розвитку, цілі, механізми і процеси якого формуються під спрямовуючим впливом інтелектуальної діяльності особи, що приймає рішення (ОПР).

Технологічний розвиток виробництва відноситься до цілеспрямованого і здійснюється переважно через проектування та удосконалення систем, а також підвищення рівня їх організації. Від того, наскільки ОПР володіє об'єктивними закономірностями розвитку, здатна встановлювати цілі та фактори стійких, незворотних і прогресивних змін суттєво залежить потенціал розвитку технологічних систем.

Зміни можуть мати кількісний (*К*), якісний (*Я*) і відносний (*В*) характер, а також їх комбінації, число яких буде сім: *К, Я, В, КЯ, КВ, ЯВ, КЯВ*.

Кількісні зміни пов'язані з величинами масових (*М*), енергетичних (*Е*) та інформаційних (*І*) характеристик елементів і зв'язків, лінійних розмірів. Тобто кількісні зміни стосуються масштабів та параметрів системи. Якісні зміни стосуються властивостей елементів і зв'язків.

Вони можуть покращувати ефективність системи (наприклад, підвищувати коефіцієнт корисної дії системи) або погіршувати її (старіння матеріалів, зниження якості інформації тощо). Відносні перетворення характеризують зміну відношень між елементами системи або між системою та середовищем. Якщо склад і властивості елементів системи є однаковими, а змінюються відношення між ними, то має місце ізоморфна перебудова.

Всі названі види змін перебувають у тісному взаємозв'язку і можуть переходити з одного виду в інший. Наприклад, у технологічній системі сівби цукрових буряків (ТхСО) якість насіння (одноросткове чи багаторосткове) суттєво впливає на склад і кількість технологічних операцій та технічних засобів, а відповідно, і на основні показники ефективності технології (ТхСТ) в цілому. Зміна кількості та якості інформації може викликати якісні зміни в управлінні системою.

Будь-яка елементарна дія є наслідком *М*-, *Е*-, *І*- обмінів і викликає відповідні елементарні зміни в системі. Ці зміни можуть бути стійкими і не-

стійкими, зворотними і незворотними, корисними або шкідливими щодо цілей системи і надсистеми. Розвиток спричиняють лише ті зміни, що ведуть до стійкого покращення корисних властивостей системи.

Протилежним до розвитку є регрес (деградація) системи. Ознаками деградації є послаблення корисних функцій і зниження ефективності системи, наростання суперечностей у взаємодії з середовищем. Деградація системи завершується її розпадом, коли руйнуються системно важливі зв'язки між елементами.

В процесі інженерної діяльності важливо забезпечити гармонійний розвиток ТхС, при якому протиріччя в системі не мають антагоністичного характеру, а її складові розвинені пропорційно і узгоджені за структурою, функціями, параметрами. Встановлення напрямків розвитку аграрних ТхС також повинно здійснюватися на основі об'єктивної необхідності їх гармонійної взаємодії з природним середовищем. Розглянемо зв'язок екологічності ТхС з їх ефективністю, а також можливості управління ними з боку фахівців інженерної служби.

12.2 Зв'язок екологічності аграрних ТхС з їх ефективністю

Економіко-екологічну ефективність ТхС можна записати у вигляді рівняння

$$\varepsilon_m = (W_m - E_n) / (E_m + E_n) \quad (12.1)$$

де W_m – ефект технології в енергетичних одиницях, ГДж;

E_n – загальні негативні впливи технології на довкілля, ГДж.

$$W_m = E_k - E_m \quad (12.2)$$

де E_k – корисні результати, ГДж;

E_m – витрати непоновлюваних ресурсів, ГДж.

Економічний ефект W_k в грошовому виразі становить:

$$W_k = Y_k - C \quad (12.3)$$

де Y_k і C – корисний результат і витрати в грошовому виразі, грн.

Виходячи з того, що між ефектом в енергетичному W_m і грошовому W_k виразі є тісна прямопропорційна залежність, взаємозв'язок ефективності та екологічності ТхС можна оцінити в координатах ε_m і W_k (рис. 12.1). Наведено характерні поєднання узагальнених показників функціонування технологічних систем $S(W_k, \varepsilon_m)$. Перший квадрант характеризує позитивну область ефективності та екологічності системи $S(+, +)$, хоча співвідношення між цими показниками можуть бути різними. Тут економічний ефект системи перевищує шкідливі наслідки ($W_k = Y_k - C > 0$ і $W_m > E_n$).

Другий квадрант $S(+, -)$ характеризує область економічно ефективних, але екологічно несприятливих систем, коли ефект від використання активних засобів є позитивним ($W_k = Y_k - C > 0$ і $W_m = E_k - E_m > 0$), але шкідливі впливи системи перевищують допустимі норми ($W_m < E_n$).

Третій квадрант $S(-, -)$ є областю економічно неефективних і екологічно шкідливих систем ($W_k = Y_k - C < 0$ і $W_m = E_k - E_m < 0$ і $W_m < E_n$).

Четвертий квадрант $S(-, +)$ характеризує процеси підвищення екологічності виробництва, ліквідації несприятливих наслідків функціонування

ТхС, благоустрою і впорядкування виробничих територій, які потребують затрат ресурсів і коштів, не дають безпосереднього і негайного економічного ефекту, але підвищують культуру виробництва.

ε_m	
IV $E_k < E_m$ $Y_k < C$ $E_n < 0$	I $E_k > E_m$ $Y_k > C$ $E_n < W_m$
$-W_k$	W_k
III $E_k < E_m$ $Y_k < C$ $E_n > W_m$	II $E_k > E_m$ $Y_k > C$ $E_n > W_m$
$-\varepsilon_m$	

Рис. 12.1. Характерні поєднання економічної ефективності та екологічності аграрних ТхС: Y_k і C - корисні результати і затрати у грошовому виразі; E_k , E_m , E_n - корисні результати, сукупні затрати і негативні наслідки в енергетичному виразі; W_m - корисний ефект в енергетичному виразі.

Принципово важливою особливістю аграрних ТхС є те, що значення показників екологічності є залежними від природно-виробничих умов і часу. Так, запізнення з проведенням хімічного захисту рослин навіть на один день може призвести до майже повної втрати посівів. В такому разі процес хімічного захисту переходить із першого квадранту в третій, тобто стає і економічно збитковим, і екологічно шкідливим. До таких же наслідків призводить обприскування за несприятливих погодних умов (вітряна або дощова погода, наявність висхідних теплових потоків тощо). Інший приклад. Технологічна система, що сформована на базі енергонасичених тракторів, в одних природно-виробничих умовах буде ефективною і екологічно сумісною з середовищем, в інших - навпаки. Ці обставини важливо враховувати при оцінці виробничих ситуацій, проектуванні та використанні аграрних технологічних систем.

Таким чином, *концепція екологічності* дозволяє дати кількісну оцінку екологічних властивостей аграрних ТхС, встановити їх зв'язки з економічною ефективністю, що є необхідною умовою гармонійного розвитку технологій і природного середовища.

12.3 Аналіз напрямків розвитку аграрних ТхС

Технологічний прогрес є неодмінною умовою підвищення економічної ефективності і екологічності сільськогосподарського виробництва. Проте відсутність чітких критеріїв, які давали б змогу відрізнити істинний прогрес від уявного, нерідко є причиною вибору помилкових напрямків розвитку технологій і технічних засобів для їх реалізації.

Так, оцінка техніки і технологій лише за економічними критеріями нерідко є причиною появи негативних тенденцій щодо збереження родючості ґрунтів і охорони природного середовища. До таких тенденцій відносять

надмірну частку в структурі парку машин енергонасичених агрегатів з великою експлуатаційною масою.

Економіко-екологічну ефективність ТхСТ можна підвищувати за рахунок підвищення потенційно можливих корисних результатів, зниження технологічних втрат врожаю, ресурсомісткості та шкідливих наслідків технологій.

Значно інформативнішим є аналіз коефіцієнта енергетичної ефективності та показника екологічності ТхСТ.

Коефіцієнт енергетичної ефективності K_{em} у загальному вигляді можна записати:

$$K_{em} = \frac{E_u^n - E_u^B}{E_m} = \frac{E_u^n - E_u^n * \varphi_B}{E_m} = \frac{E_u^n}{E_m} * (1 - \varphi_B) = K_{em}^n * (1 - \varphi_B) = E_{em}^n * \varphi_u. \quad (12.4)$$

де E_u^n – енергетичний вираз основної та побічної продукції потенційного врожаю, ГДж/га;

E_u^B – енергетичний вираз втрат врожаю, ГДж/га;

E_m – сукупна енергоємність технології, ГДж/га;

E_{em}^n – значення потенційного коефіцієнта енергетичної ефективності технології при заданих витратах сукупної енергії;

φ_B - коефіцієнт втрат врожаю;

φ_u - доля зібраного врожаю від потенційно можливого при даній технології.

Залежності коефіцієнта енергетичної ефективності технології від величини втрат врожаю E_u^B і витрат сукупної непоновлюваної енергії E_m на прикладі вирощування озимої пшениці показані на рис. 12.2.

Залежності коефіцієнта енергетичної ефективності технології від корисних результатів і втрат врожаю мають лінійний характер (рис. 12.2, а), а від затрат непоновлюваної енергії – гіперболічний (рис. 12.2, б). Перехід на вищий рівень корисних результатів може здійснюватися в екологічно сприятливому або несприятливому напрямках, по екстенсивному, екстенсивно-інтенсивному та інтенсивному шляхах.

Залежність $K_{em} — f(E_m)$ при зафіксованому значенні врожайності культури (див. рис. 12.2,б) дозволяє чітко розмежувати інтенсивний та екстенсивний розвиток технології. Зокрема, у наведеному прикладі графік 1 характеризує ізолінію зібраного врожаю зерна $U_3 = 30$ ц/га, точка a_o - існуючу на даний час технологію ($U_{30} = 30$ ц/га, $E_{m0} = 30$ ГДж/га, $K_{em0} = 1,4$).

$$E_u^n = 100 \frac{\text{ГДж}}{\text{га}} \left(U_3^n = 70 \frac{\text{ц}}{\text{га}} \right) \quad (12.4)$$

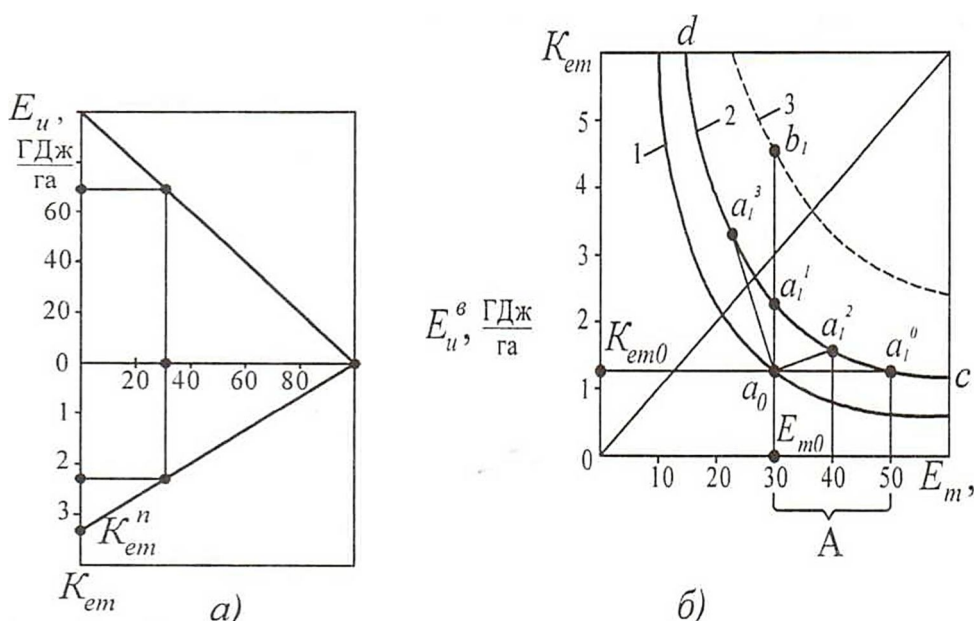


Рис. 12.2. Графіки залежностей коефіцієнта енергетичної ефективності технології K_{em} від величини технологічних витрат врожаю E_u^e (а) і сукупних витрат непоновлюваної енергії E_m (б): U_z^n — потенційний врожай зерно; 1, 2, 3 - ізолінії корисності в порядку її наростання.

Досягнення врожаю зерна U_{31} — 50 ц/га (графік 2) можна здійснювати шляхом додаткового збільшення ресурсів технології (добрив, пестицидів, техніки) при незмінному або меншому значенні коефіцієнта K_{em} . Такий напрямок розвитку технології є екстенсивним і на графіку йому відповідає відрізок $a_0^1 c$ ($E_{m1} > E_{m0}$, $K_{em1} < K_{em0}$). Якщо додаткові вкладення ресурсів супроводжуються зростанням коефіцієнта K_{em} (відрізок $a_0^1 a_1^1$), то технологія розвивається в екстенсивно-інтенсивному напрямку ($E_{m1} > E_{m0}$, $K_{em1} > K_{em0}$). Коли ж підвищення врожайності та коефіцієнта K_{em} здійснюється без додаткових витрат ресурсів, то має місце інтенсивний розвиток технології - відрізок $a_1^1 d$ ($E_{m1} < E_{m0}$; $K_{em1} > K_{em0}$). Цей шлях є можливим при зниженні технологічних витрат врожаю, а також підвищенні потенційної врожайності за рахунок ефективнішого використання природних факторів родючості.

Підвищення врожайності при одночасному зниженні сукупних витрат ресурсів забезпечується переважно системою агротехнічних, технічних і організаційних факторів, тобто потребує якісного стрибка в технології та культурі виробництва. Прикладом такого технологічного стрибка є інтенсивна ресурсоощадна технологія вирощування цукрових буряків, коли сівба проводиться одноростковим дражованим насінням високої схожості на кінцеву густоту, стрічковому внесенні гербіцидів і локальному внесенні добрив, застосуванні комбінованих і комплексних агрегатів при належній технологічній дисципліні.

Це дозволяє досягти запрограмованого врожаю при зниженні затрат праці приблизно на 40 %, витрат добрив у 1,5...2 рази і гербіцидів - у 3 рази. У результаті сукупні витрати енергії E_m знижуються майже на 40 %, а коефіцієнт K_{em} зростає приблизно на 70 %.

Одночасно знижується рівень екологічно шкідливих наслідків через

зменшення кількості операцій, підвищення коефіцієнта корисного використання пестицидів і добрив.

Всебічні дослідження загальних і часткових залежностей екологічності дають можливість зробити важливі практичні висновки щодо змісту цілеспрямованого розвитку в екологічно безпечному напрямку технологічних систем.

Таким чином, важливим напрямком розвитку технологічних систем є підвищення їх екологічності.

Показник екологічності технології $K_{ек}$ аналогічно до формули (12.4) можна записати у вигляді:

$$K_{ек} = \frac{E_u^n - E_u^B}{E_m + E_n} = \frac{E_u^n}{E_m} * \frac{1 - \varphi_B}{1 + f_e * E_n} = \frac{K_{em}}{1 + f_e * E_n}, \quad (12.5)$$

де E_n - енергетичний вираз сукупних шкідливих наслідків технології щодо середовища, ГДж/га;

$f_e = 1 / E_m$ - величина, що обернена до сукупних енерговитрат, га/ГДж.

Отже, екологічність технологій залежить від ефективності використання ресурсів (K_{em}) і шкідливих наслідків (E_n). У загальній сумі шкідливих наслідків технологій вирощування сільськогосподарських культур більше 90 % припадає на забруднення середовища і продукції засобами хімізації.

Для оцінки напрямку розвитку технології зручно використовувати рівень екологічності нової технології у порівнянні з існуючою (базовою):

$$P_{ек} = \frac{K_{ек}^n}{E_{ек}} = \frac{E_{ек}^n}{K_{em}} * \frac{1 + f_e * E_n}{1 + f_e^n * E_n^n}. \quad (12.6)$$

При зафіксованих значеннях характеристик базової технології і величини K_{em}^n залежність (12.6) має гіперболічний характер. Частковий випадок при $K_{em}^n = K_{em}$ зображений на рис. 12.3. Вітка гіперболи ge характеризує екологічно сприятливий розвиток технології, а gh - несприятливий.

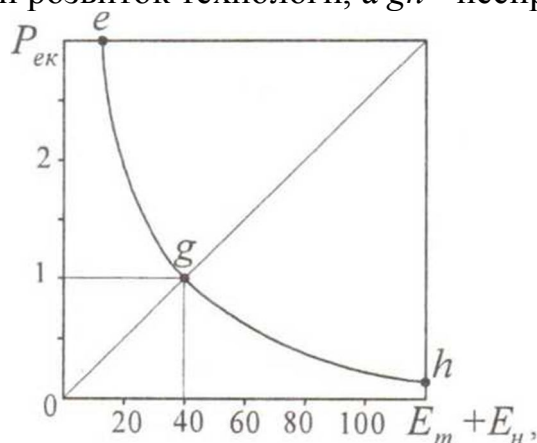


Рис. 12.3. Графік залежності рівня екологічності від витрат непоновлюваної енергії E_m та шкідливих наслідків E_n .

На основі аналізу енергетичної ефективності та екологічності технологічних систем можна оцінити рівень існуючих і нових технологій, а також обґрунтовано вибирати напрямки екологічно сприятливого розвитку ТхС. До таких напрямків відносять:

1. Зниження технологічних втрат врожаю за рахунок своєчасності та якості механізованих робіт, зменшення прямих втрат на всьому технологічному ланцюжку переміщення врожаю від поля до сховища або переробних пунктів.
2. Зниження ресурсомісткості технологій за рахунок підвищення коефіцієнта корисного використання технологічних матеріалів (насіння, добрив, пестицидів), мінімалізації обробітку ґрунту, економії енергетичних ресурсів.
3. Підвищення екологічності ТхС насамперед за рахунок зниження втрат хімічних засобів на всіх технологічних етапах від складу до поля та застосування прогресивних агротехнічних прийомів внесення препаратів (локальне внесення добрив, ультрамало-об'ємне обприскування і контактне нанесення пестицидів, стрічкове і смугове обприскування, інтегрований захист рослин), а також зниження ущільнення ґрунтів ходовими системами машин і застосування ґрунтозахисних агротехнічних прийомів.
4. Зниження втрат часу як непоновлюваного ресурсу с.-г. виробництва за рахунок високої організації робіт, розвитку інфраструктури технологічних систем, забезпечення високого рівня механізації всіх функцій ТхС.

Реалізація цих напрямків означає перехід на вищий рівень культури механізованого виробництва сільськогосподарської продукції, розвиток ТхС за інтенсивною, ресурсозберігаючою і екологічно сприятливою технологією.

Завдання на практичне заняття

1. Використовуючи формулу (12.5) та середні дані табл. 11.1 і 11.2 по відповідних варіанту сільськогосподарських культурах, знайдіть енергетичний вираз сукупних шкідливих наслідків існуючих (фактичних) технологій виробництва провідних культур щодо середовища (табл. 12.1).

Таблиця 12.1

Показники сукупних шкідливих наслідків існуючих технологій виробництва провідних культур

№ варіанту	Культури	Сукупні шкідливі наслідки технологій, ГДж/га				
		Існуючі (фактичні) технології по господарствах				
		«Кутизівка»	«1 Травня»	«Альфа»	«Агроекологія»	середні
1	Озима пшениця					
2	Кукурудза на зерно					
3	Соняшник					
4	Цукрові буряки					
5	Картопля					
Середні показники						

- Використовуючи формулу (12.6), рис. 12.3 та дані табл. 11.2, оцініть рівень екологічності нової типової технології виробництва провідної культури, якщо завдяки прийнятих заходів показник екологічності у порівнянні з існуючою типовою технологією збільшився на 10 %, за варіантами, які наведені у табл. 12.2.

Таблиця 12.2

Рівень екологічності нової типової технології виробництва провідної культури у порівнянні з типовою технологією

№ варіанту	Культури	Рівень екологічності типової технології виробництва провідної культури		Висновок про напрямки розвитку ТхСТ
		Існуючої (базової)	нової	
1	Озима пшениця			
2	Кукурудза на зерно			
3	Соняшник			
4	Цукрові буряки			
5	Картопля			

Завдання на самостійну роботу

Конкретизуйте заходи щодо підвищення екологічності механізованих технологій вирощування провідних сільськогосподарських культур за відповідними варіантами.

Контрольні запитання для самоперевірки знань

- Чим характеризується та які зміни спричиняють розвиток системи?
- Який характер можуть мати зміни в системі?
- Охарактеризуйте цілеспрямований розвиток, деградацію та гармонійний розвиток ТхС.
- Які характерні поєднання можуть мати узагальнені показники функціонування технологічних систем W_k і ε_m
- За рахунок чого можна підвищувати економіко-екологічну ефективність ТхСТ?
- Як розмежувати екстенсивний, екстенсивно-інтенсивний та інтенсивний шлях розвитку в залежності від коефіцієнта енергетичної ефективності ТхСТ?
- За рахунок чого є можливим інтенсивний розвиток ТхСТ?
- Яким показником оцінюється тенденція розвитку технологій щодо їх екологічності? Від чого залежить екологічність ТхСТ?
- На основі аналізу яких показників можна оцінити рівень існуючих і нових технологій та обґрунтовано вибирати напрямки екологічно сприятливого розвитку ТхС?
- Реалізація яких напрямків дозволить перейти на вищий рівень культури механізації виробництва с.-г. продукції та розвивати ТхС за інтенсивною, ресурсозберігаючою і екологічно-сприятливою технологією?

Практичне заняття № 4

Тема: «Визначення оптимального складу машинно-тракторного парку»

Мета роботи: навчитися складати, вирішувати і аналізувати економіко-математичну задачу по визначенню оптимального складу машинно-тракторного парку.

13.1. Моделювання задач по визначенню оптимального складу машинно-тракторного парку

Моделювання задач по визначенню оптимального складу машинно-тракторного парку (МТП) може здійснюватись у трьох варіантах:

- 1) як задача визначення оптимального складу МТП на перспективу;
- 2) як задача оптимального доукомплектування наявного парку;
- 3) як задача оптимального використання наявного парку.

Найбільш частіше на практиці застосовується модель оптимального використання наявного машинно-тракторного парку. Для ефективного застосування цієї моделі фахівцям потрібне вміння вирішувати відповідну економіко-математичну задачу. Приклади складання і вирішення задачі оптимального використання наявного парку розглянемо нижче.

13.2 Приклад складання задачі оптимального використання наявного машинно-тракторного парку

Формулювання задачі: визначити оптимальний варіант використання МТП для виконання даного обсягу механізованих робіт (технологічних процесів) за критерієм мінімуму експлуатаційних затрат.

Складові задачі. Для одержання оптимального рішення поставленої задачі потрібно послідовно вирішити такі складові даної задачі:

- 1) скласти числову модель задачі:
 - а) визначити систему змінних;
 - б) визначити систему обмежень;
 - в) визначити цільову функцію;
- 2) записати модель в матричній формі;
- 3) вирішити задачу з використанням ПЕОМ;
- 4) проаналізувати одержаний результат.

Вихідна інформація: приклад вихідної інформації для вирішення поставленої задачі наведений у табл. 13.1.

Таблиця 13.1

Вихідна інформація для визначення оптимального варіанту використання МТП

Види робіт	Обсяг робіт	Агротехнічні строки	Кількість робочих днів	Склад агрегатів	Продуктивність агрегатів	Затрати експлуатаційні, грн
1	2	3	4	5	6	7
Скошування зернових	1800	01-04. VII	4	МТЗ-80 + ЖРС-4,9	200	305

Продовження таблиці 13.1

1	2	3	4	5	6	7
				СК-5М-1 + ЖВН-6А	120	582
Підбирання валків	1800	05-12. VII	8	СК-5М-1	208	1310
				ДОН-1500Б	350	1700
Пряме комбайнування	700	05-12. VII	8	СК-5М-1	192	1310
				ДОН-1500Б	320	1700
Транспортування соломи	6250	05-12. VII	8	МТЗ-80 + 2ПТС-4	480	437
Скиртування соломи	6250	05-12. VII	8	МТЗ-80 + СНУ-0,5	480	370
Лущення стерні	2500	05-12. VII	8	К-700А + ЛДГ-20	1200	818
				Т-150 + ЛДГ-15А	1120	672
Оранка зябу	1900	13-24. VII	12	К-700А + ПЛН-8-35	312	1132
				Т-150 + ПЛН-5-35	240	910

13.3 Приклад вирішення задачі оптимального використання наявного машинно-тракторного парку

1. Складання числової моделі задачі

1.1 Визначення системи змінних

У числових моделях МТП є дві групи змінних:

- *перша група* - кількість агрегатів кожного виду за кожним видом робіт:

X_1 : МТЗ-80 + ЖРС-4,9 - скошування зернових,

X_2 : СК-5М-1 + ЖВН-6А - скошування зернових,

X_3 : СК-5М-1 - підбирання валків,

X_4 : ДОН-1500Б - підбирання валків,

X_5 : СК-5М-1 - пряме комбайнування,

X_6 : ДОН-1500Б - пряме комбайнування,

X_7 : МТЗ-80 + 2ПТС-4 - транспортування соломи,

X_8 : МТЗ-80 + СНУ-0,5 - скиртування соломи,

X_9 : К-700А + ЛДГ-20 - лущення стерні,

X_{10} : Т-150 + ЛДГ-15А - лущення стерні,

X_{11} : К-700А + ПЛН-8-35 - оранка зябу,

X_{12} : Т-150 + ПЛН-5-35 - оранка зябу;

- *друга група* - кількість самохідних машин певної марки:

U_1 : МТЗ-80,

U_2 : СК-5М-1,

U_3 : ДОН-1500Б,

U_4 : К-700А,

U_5 : Т-150.

1.2 Визначення системи обмежень

Перша група обмежень — за обсягом робіт (обсяг робіт, який виконується самохідною машиною, повинен перевищувати заданий обсяг робіт):

- 1) скошування: $200X_1 + 120X_2 \geq 1800$,
- 2) підбирання валків: $208X_3 + 350X_4 \geq 1800$,
- 3) пряме комбайнування: $192X_5 + 320X_6 \geq 700$,
- 4) транспортування соломи: $480X_7 \geq 6250$,
- 5) скиртування соломи: $480X_8 \geq 6250$,
- 6) лущення стерні: $1200X_9 + 1120X_{10} \geq 2500$,
- 7) оранка зябу: $312X_{11} + 240X_{12} > 1900$.

Друга група обмежень - за агротехнічними строками (кількість машино-днів, відпрацьованих самохідною машиною в агрегаті, не повинна перевищувати загальну кількість машино-днів, яку вона може відпрацювати):

- 1) по МТЗ-80: $4X_1 \leq 4U_1$ $8X_7 + 8X_8 \leq 8U_1$
- 2) поСК-5М-1: $4X_2 \leq 4U_2$, $8X_9 + 8X_{10} \leq 8U_2$,
- 3) по ДОН-1500Б: $8X_4 + 8X_6 \leq 8U_3$,
- 4) по К-700А: $8X_9 \leq 8U_4$, $12X_{11} \leq 12U_4$
- 5) поТ-150: $8X_{10} \leq 8U_5$, $12X_{12} \leq 12U_5$.

Третя група обмежень - за агрегуванням (кількість агрегатів не повинна перевищувати кількість самохідних машин):

- 1) по МТЗ-80: $X_1 \leq U_1$, $X_7 + X_8 \leq U_1$
- 2) поСК-5М-1: $X_2 \leq U_2$, $X_9 + X_{10} \leq U_2$,
- 3) по ДОН-1500Б: $X_4 + X_6 \leq U_3$,
- 4) по К-700А: $X_9 \leq U_4$, $X_{11} \leq U_4$,
- 5) поТ-150: $X_{10} \leq U_5$ $X_{12} \leq U_5$.

1.3 Визначення цільової функції:

$$Z_{\min} = 305X_1 + 582X_2 + 1310X_3 + 1700X_4 + 1310X_5 + 1700X_6 + \\ + 437X_7 + 370X_8 + 818X_9 + 672X_{10} + 1132X_{11} + 910X_{12}.$$

2. Запис моделі у матричній формі

При визначенні коефіцієнтів при U в матриці (табл. 13.2) необхідно виконати перетворення: перенести змінні у ліву частину нерівності.

Наприклад: $X_3 + X_5 \leq U_2$, після перетворення: $X_3 + X_5 - U_2 \leq 0$.

Матрична форма моделі використання МТП

Обмеження				Ім'я змінної																
група	ім'я	тип	вільний член	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
				X_1	x_2	x_3	x_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	Y_1	X	Y_3	Y_4	y_3
Скошування зернових	a_1	$>$	1800	200	120															
Підбирання валків	a_2	$>$	1800			208	350													
Пряме комбайнування	a_3	$>$	700					192	320											
Транспорт, соломи	a_4	$>$	6250							480										
Скиртування соломи	a_5	$>$	6250							480										
Лущення стерні	a_6	$>$	2500									120	112							
Оранка зябу	a_7	$>$	1900											312	240					
МТЗ-80	a_8	$<$	0	4												-4				
МТЗ-80	a_9	$<$	0						8	8						-8				
СК-5М-1	a_{10}	$<$	0		4												-4			
СК-5М-1	a_{11}	$<$	0			8		8									-8			
ДОН-1500Б	a_{12}	$<$	0				8		8									-8		
К-700А	a_{13}	$<$	0									8							-8	
К-700А	a_{14}	$<$	0											12					-12	
Т-150	a_{15}	$<$	0										8							-8
Т-150	a_{16}	$<$	0												12					-12
МТЗ-80	a_{17}	$<$	0	1												-1				
МТЗ-80	a_{18}	$<$	0							1	1					-1				
СК-5М-1	a_{19}	$<$	0		1												-1			
СК-5М-1	a_{20}	$<$	0			1		1									-1			
ДОН-1500Б	a_{21}	$<$	0				1		1									-1		
К-700А	a_{22}	$<$	0									1							-1	
К-700А	a_{23}	$<$	0											1					-1	
Т-150	a_{24}	$<$	0										1							-1
Т-150	a_{25}	$<$	0												1					-1

Вирішення задачі з використанням ПЕОМ

Файл **enterlp.exe** - для введення інформації.

- Ім'я файлу (до 8 знаків): _____
- Рішення на min або max: min
- Кількість обмежень: 25
- Ім'я обмеження 1: a_1
- Тип обмеження 1: $>$
- Ім'я обмеження 2: a_2
Тип обмеження 2: $>$

- ...
- 44. Ім'я обмеження 25: a_{25}
 - 45. Тип обмеження 25: $<$
 - 46. Кількість стовпців змінних: 17
 - 47. Ім'я змінної 1: X_1
 - 48. Ім'я змінної 2: X_2
 - 49. Ім'я змінної 3: X_3
 - ...
 - 63. Ім'я змінної 16: Y_4
 - 64. Ім'я змінної 17: Y_5
 - 65. Введіть обсяги обмежень.
 - 66. Вільний член обмеження 1: 1800
 - 67. Вільний член обмеження 2: 1800
 - ...
 - 72. Вільний член обмеження 7: 1900
 - 73. Вільний член обмеження 8: 0 або «Enter»
 - 74. Вільний член обмеження 9: 0 або «Enter»
 - ...
 - 90. Вільний член обмеження 25: 0 або «Enter»
 - 91. Коефіцієнт цільової функції.
 - 92. Коефіцієнт при змінній 1: 305
 - 93. Коефіцієнт при змінній 2: 582
 - ...
 - 103. Коефіцієнт при змінній 12: 910
 - 104. Коефіцієнт при змінній 13: 0 або «Enter»
 - ...
 - 108. Коефіцієнт при змінній 17: 0 або «Enter»
 - 109. Коефіцієнт основної матриці.
 - 110. Коефіцієнт при змінній 1 в обмеженні 1: 200
 - 111. Коефіцієнт при змінній 2 в обмеженні 1: 120
 - 112. Коефіцієнт при змінній 3 в обмеженні 1: 0 або «Enter»
 - ...
 - 127. Коефіцієнт при змінній 1 в обмеженні 2: 0 або «Enter»
 - 128. Коефіцієнт при змінній 2 в обмеженні 2: 0 або «Enter»
 - 129. Коефіцієнт при змінній 3 в обмеженні 2: 208
 - 130. Коефіцієнт при змінній 4 в обмеженні 2: 350
 - 131. Коефіцієнт при змінній 5 в обмеженні 2: 0 або «Enter»
 - ...
 - 534. Коефіцієнт при змінній 17 в обмеженні 25: -1
- Файл ***microlp.exe*** – для рішення задачі.
Введіть ім'я файлу для збереження рішення.

Проаналізуйте одержане рішення:

Variable	Value	Reduced cost
X ₁	+9.000000	
X ₂		+399.000000
X ₃		+299.714286
X ₄	+5.142857	
X ₅		+290.000000
X ₆	+2.187500	
X ₇	+13.020833	
X ₈	+13.020833	
X ₉		+98.000000
X ₁₀	+2.232143	
X ₁₁	+6.089744	
X ₁₂		+39.230769
Y ₁	+26.041667	
Y ₂		0.000000
Y ₃	+7.330357	
Y ₄	+6.089744	
Y ₅	+2.232143	

Variable – змінні.

Value – кількість агрегатів.

Reduced cost – перевищення експлуатаційних затрат.

Завдання на практичне заняття

За даними наведених прикладів складання і вирішення задачі оптимального використання наявного машинно-тракторного парку потрібно:

- вирішити задачу з використанням ПЕОМ;
- проаналізувати одержаний результат.

Завдання на самостійну роботу

Необхідно підібрати склад машинно-тракторних агрегатів, які виконують певні види механізованих робіт (технологічних процесів), для використання у розрахунках за варіантами, що наведені у табл. 13.3.

Таблиця 13.3

Варіанти завдань на самостійну роботу

Номер варіанту завдання	Номери видів механізованих робіт (технологічних процесів)
1	2
1	12
2	2,3
3	3,4
4	4,5
5	5,6
6	6,7

Продовження таблиці 13.3

1	2
7	1,3
8	1,4
9	1,5
10	1,6
11	1,7
12	2,4
13	2,5
14	2,6
15	2,7
16	3,5
17	3,6
18	3,7
19	4,6
20	4,7
21	5,7

Контрольні запитання для самоперевірки знань

1. Які групи змінних є у числових моделях використання машинно- тракторного парку?
2. Як визначаються обмеження за обсягом робіт?
3. Як визначаються обмеження за агротехнічними строками?
4. Як визначаються обмеження за агрегуванням?
5. Як визначається цільова функція?
6. Які критерії можуть бути використані в якості цільової функції?
7. Як записується модель використання машинно-тракторного парку у матричній формі?
8. Дайте пояснення до підбору складу агрегату за своїм варіантом (див. табл. 13.3).

Практичне заняття № 5

Тема: «Оптимізація розподілу техніки за видами робіт»

Мета роботи: набути вміння складати оптимальний план розподілу обсягів робіт за окремими агрегатами, який забезпечив би мінімальні виробничі затрати на виконання всього обсягу робіт.

14.1. Задачі оптимального розподілу техніки і ресурсів

Необхідність оперативного уточнення річних планів механізованих робіт пов'язана з мінливістю виробничої ситуації в часі.

Задачі оптимального розподілу техніки і ресурсів доцільно поділити на дві групи. До першої відносяться задачі оптимальної розстановки техніки при одночасному виконанні виробничих процесів з метою *мінімізації затрат ресурсів* на своєчасне виконання заданих обсягів робіт. Такі задачі виникають при складанні планів використання різних видів ресурсів (трудові ресурси, технічні засоби, паливо, кошти). При складанні плану використання техніки у даному випадку можуть бути використані різні критерії оптимальності (мінімум прямих витрат коштів на виконання робіт, мінімум затрат праці або затрат енергії та ін.).

До другої групи належать задачі *мінімізації строків* виконання виробничих процесів. Мінімізація строків виконання механізованих робіт входить до числа найбільш ефективних задач оптимального планування у сфері аграрного машиновикористання, а особливо в напружені («пікові») періоди технологічного процесу.

На цьому практичному занятті розглянемо задачі першої групи, а на наступному - другої групи.

14.2 Розв'язання задач методами лінійного програмування

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

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

Отже, загальне формулювання заданої задачі наступне.

Нехай на відрізок часу тривалістю D днів у господарстві необхідно виконати m виробничих процесів. Обсяг роботи щодо кожного з них складає F_i ($i = 1, \dots, m$). Черговість виконання заданих виробничих процесів у межах встановленого строку не регламентується. Для виконання даного обсягу ро-

біт можуть бути використані n видів агрегатів. Годинна продуктивність агрегату на базі трактора j -го типу ($j = 1, \dots, n$) при виконанні i -ї операції становить W_{ij} . Прямі виробничі затрати на одиницю роботи будуть рівними C_{ij} . Кількість агрегатів з тракторами j -го типу - n_j . Тривалість зміни у період, що планується, становить $T_{зм}$ годин. Робота агрегатів організована в $k_{зм}$ змін. Знайти оптимальний план розподілу обсягів робіт за окремими агрегатами, який забезпечив би мінімальні виробничі затрати на виконання всього обсягу робіт ($\sum C_{ij} \rightarrow \min$).

Подамо умову сформульованої задачі у вигляді математичної моделі. Позначимо через X_{ij} - обсяг робіт (площу), що виконується всіма агрегатами j -го типу на i -й технологічній операції за період D днів, а через Z - суму прямих виробничих затрат на виконання всього обсягу робіт.

Цільова функція Z виражається залежністю

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \quad (14.1)$$

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

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

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

$$X_{ij} > 0, i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}. \quad (14.2)$$

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

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = F_i, i = \overline{1, m} \quad (14.3)$$

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

$$\Phi_j = D * k_n * k_{зм} * T_{зм} * n_j, \quad (14.4)$$

де k_n - коефіцієнт погодності, що враховує частку сприятливих для виконання операції днів у заданому агротехнічному інтервалі.

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

$$t_{ij} = \frac{X_{ij}}{W_{ij}}. \quad (14.5)$$

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

$$T_j = \sum_{i=1}^m t_{ij} = \sum_{i=1}^m \frac{X_{ij}}{W_{ij}}, j = \overline{1, n} \quad (14.6)$$

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

$\leq \Phi_j$, тобто

$$\sum_{i=1}^m \frac{X_{ij}}{W_{ij}} \leq D \cdot k_n \cdot k_{3m} \cdot T_{3m} \cdot n_j; j=1, n \quad (14.7)$$

Тоді математичне формулювання задачі набуде вигляду:

- знайти мінімум цільової функції

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} X_{ij} \rightarrow \min \quad (14.8)$$

- при наступних обмеженнях:

$$\begin{aligned} 1. & X_{ij} \geq 0, & i = \overline{1, m}, & j = \overline{1, n} \\ 2. & \sum_{i=1}^m X_{ij} = F_{ij} & i = \overline{1, m} \\ 3. & \sum_{i=1}^m \frac{X_{ij}}{W_{ij}} \leq D \cdot k_n \cdot k_{3m} \cdot T_{3m} \cdot n_j, & j = \overline{1, n} \end{aligned} \quad (14.9)$$

В розгорненому вигляді математичну модель задачі можна записати як

$$Z = C_{11}X_{11} + C_{12}X_{12} + \dots + C_{mn}X_{mn} \rightarrow \min \quad (14.10)$$

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

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

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

$$\dots \dots \dots \quad (14.11)$$

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

$$\frac{X_{11}}{W_{11}} + \frac{X_{21}}{W_{21}} + \dots + \frac{X_{m1}}{W_{m1}} \leq D \cdot k_n \cdot k_{3m} \cdot T_{3m} \cdot n_j$$

$$\frac{X_{12}}{W_{12}} + \frac{X_{22}}{W_{22}} + \dots + \frac{X_{m2}}{W_{m2}} \leq D \cdot k_n \cdot k_{3m} \cdot T_{3m} \cdot n_j$$

$$\dots \dots \dots \quad (14.12)$$

$$\frac{X_{1n}}{W_{1n}} + \frac{X_{2n}}{W_{2n}} + \dots + \frac{X_{mn}}{W_{mn}} \leq D \cdot k_n \cdot k_{3m} \cdot T_{3m} \cdot n_j$$

Такі задачі розв'язуються симплекс-методом за відомими алгоритмами. При числі змінних більше чотирьох задачу доцільно розв'язувати з використанням комп'ютерів. У цьому випадку коефіцієнти цільової функції і обмежень, а також вільні члени подають у вигляді матриці (табл. 14.1).

Таблиця 14.1

Матриця вихідних даних для оптимізації розподілу техніки

X ₁₁	X ₁₂	...	X _{1n}	X ₂₁	X ₂₂	...	X _{2n}	...	X _{mn}	Знак	Вільний член
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
C ₁₁	C ₁₂	...	C _{1n}	C ₂₁	C ₂₂	...	C _{2n}	...	C _{mn}	→	min
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	=	F ₁
0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	=	F ₂
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
0	0	0	0	0	0	0	0	...	1	=	F _m
$\frac{1}{W_{11}}$	0	0	0	$\frac{1}{W_{21}}$	0	0	0	...	0	≤	Φ ₁

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0	$\frac{1}{W_{12}}$	0	0	0	$\frac{1}{W_{22}}$	0	0	...	0	$\leq$	Φ_2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
0	0	0	0	0	0	0	0	...	$\frac{1}{W_{mn}}$	$\leq$	Φ_m

У першій лінійці матриці представлені коефіцієнти при невідомих цільової функції, знак нерівності і вільний член. У наступних лінійках матриці аналогічно - коефіцієнти другого і третього обмежень, що відповідають невідомим цільової функції. Модель оптимізації реалізується на персональному комп'ютері (ПК).

Приклад. Протягом десяти днів ($D = 10$) у господарстві планується одночасне проведення таких операцій: внесення мінеральних добрив (МД), оранка, культивування, сівба зернових культур.

На виконання комплексу робіт може бути виділена наступна кількість тракторів з відповідним набором с.-г. машин:

1 трактор К-701, 2 трактори Т-150К, 3 трактори МТЗ-80.

Запаси палива обмежені.

Обсяг робіт щодо кожної операції F_i , годинна продуктивність W_{ij} кожного агрегату на i -й операції з j -м трактором, а також питома витрата палива G_{ij} наведені в табл. 14.2. Тривалість зміни становить $T = 7$ год. Коефіцієнт змінності $k_{zm} = 1,5$.

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

Таблиця 14.2

Дані для планування механізованих робіт

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

Тоді задачу можна сформулювати як знаходження мінімуму цільової функції (14.10), тобто

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

при наступних умовах:

1. $X_{ij} \geq 0$; $i = 1, 2, 3, 4$; $j = 1, 2, 3$;
2. $X_{12} + X_{13} = 320$;
3. $X_{21} + X_{22} + X_{23} = 320$;

4. $X_{31} + X_{32} + X_{33} = 180$;
5. $X_{42} + X_{43} = 250$;
6. $0,50X_{21} + 0,10X_{31} \leq 105$;
7. $0,05X_{12} + 1,00X_{22} + 0,15X_{32} + 0,19X_{42} \leq 210$;
8. $0,08X_{13} + 2,50X_{23} + 0,36X_{33} + 0,50X_{43} \leq 315$.

Матриця коефіцієнтів наведена в табл. 14.3.

Таблиця 14.3

Модель задачі в матричній формі (матриця коефіцієнтів)

X_{12} X1	X_{13} X2	X_{21} X3	X_{22} X4	X_{23} X5	X_{31} X6	X_{32} X7	X_{33} X8	X_{42} X9	X_{43} X10	Знак	Вільний член
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2,2	3,0	14,4	13,3	15,7	2,3	2,4	2,9	2,8	2,7	→	min
1	1									=	320
		1	1	1						=	320
					1	1	1			=	180
								1	1	=	250
		0,50			0,10					≤	150
0,05			1,00			0,15		0,19		≤	210
	0,08			2,50			0,36		0,50	≤	315

Результати оптимізації розподілу обсягів робіт між агрегатами за мінімумом сумарної витрати палива подані в табл. 14.4.

Таблиця 14.4

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

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

Таким чином, запланований обсяг робіт буде виконаний своєчасно із загальною витратою палива $G = 6,3 \text{ т}$. При цьому один трактор К–701 буде зайнятий на виконанні операцій протягом 80,3 годин, тобто використає приблизно 76% фонду часу, два трактори Т-150К будуть зайняті повністю протягом 10-ти днів (використання фонду часу на 100%), а три трактори МТЗ-80 використають фонд часу лише на 40%. Це означає, що два трактори МТЗ-80 за 10 днів можуть бути використані протягом 62,5 годин кожний (приблизно 60% фонду часу окремого агрегату), а третій на даних операціях взагалі не буде використовуватись.

Результати оптимізації розподілу обсягів робіт між окремими агрегатами за критерієм мінімуму витрати пального є характерними для календарного періоду механізованих робіт з невисокою напруженістю. В періоди високої напруженості робіт більш вагомими є критерії мінімізації затрат праці або часу виконання робіт. Зміна критерію оптимізації суттєво впливає на результати розв'язку задачі, що буде видно з результатів розв'язку наступної задачі.

Завдання на практичне заняття

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

Протягом десяти днів ($D = 10$) у господарстві планується одночасне проведення таких операцій: внесення мінеральних добрив (МД), оранка, культивування, сівба зернових культур.

На виконання комплексу робіт може бути виділена наступна кількість тракторів з відповідним набором с.-г. машин:

1 трактор К-701, 2 трактори Т-150К, 3 трактори МТЗ-80.

Запаси палива обмежені.

Обсяг робіт щодо кожної операції F_i , годинна продуктивність W_{ij} кожного агрегату на i -й операції з j -м трактором, а також питома витрата палива G_{ij} наведені в табл. 14.5. Тривалість зміни становить $T = 7 \text{ год}$. Коефіцієнт змінності $k_{зм} = 1,5$.

Таблиця 14.5

Дані для планування механізованих робіт

Технологічна операція	Обсяг робіт, га	Показники МТА на базі трактора					
		К-701		Т-150К		МТЗ-80	
		W_{ij} , га/год	G_{ij} , кг/га	W_{ij} , га/год	G_{ij} , кг/га	W_{ij} , га/год	G_{ij} , кг/га
Внесення МД	300	—	—	19,6	2,2	12,1	3,0
Оранка	300	2,0	14,4	1,0	13,3	0,4	15,7
Культивування	160	10,4	2,3	6,6	2,4	2,8	2,9
Сівба зернових	230	—	—	5,3	2,8	2,0	2,7

Завдання на самостійну роботу

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

Протягом десяти днів ($D = 10$) у господарстві планується одночасне проведення таких операцій: внесення мінеральних добрив (МД), оранка, культивування, сівба зернових культур.

На виконання комплексу робіт може бути виділена наступна кількість тракторів з відповідним набором с.-г. машин:

1 трактор К-701, 2 трактори Т-150К, 3 трактори МТЗ-80.

Запаси палива обмежені.

Обсяг робіт щодо кожної операції F_i , годинна продуктивність W_{ij} кожного агрегату на i -й операції з j -м трактором, а також питома витрата палива

G_{ij} наведені в табл. 14.6. Тривалість зміни становить $T = 7 \text{ год}$. Коефіцієнт змінності $k_{зм} = 1,5$.

Таблиця 14.6

Дані для планування механізованих робіт

Технологічна операція	Обсяг робіт, га	Показники МТА на базі трактора					
		К-701		Т-150К		МТЗ-80	
		W_{ij} , га/год	G_{ij} , кг/га	W_{ij} , га/год	G_{ij} , кг/га	W_{ij} , га/год	G_{ij} , кг/га
Внесення МД	340	—	—	19,6	2,2	12,1	3,0
Оранка	340	2,0	14,4	1,0	13,3	0,4	15,7
Культивація	200	10,4	2,3	6,6	2,4	2,8	2,9
Сівба зернових	270	—	—	5,3	2,8	2,0	2,7

Контрольні запитання для самоперевірки знань

1. З чим пов'язана необхідність оперативного уточнення річних планів механізованих робіт?
2. На які групи доцільно поділити задачі оптимального розподілу техніки і ресурсів?
3. У якому випадку виникають задачі оптимальної розстановки техніки?
4. Які критерії оптимальності можуть бути використані при складанні плану використання техніки?
5. У якому випадку виникає необхідність вирішення задач мінімізації строків виконання виробничих процесів?
6. Якими методами у більшості випадків можуть бути розв'язані задачі вибору оптимального варіанту використання сільськогосподарської техніки?
7. У чому полягає лінійне програмування та симплекс-метод?
8. Дайте математичне формулювання задачі та запишіть математичну модель задачі в розгорненому вигляді.

Практичне заняття № 6

Тема: «Мінімізація строків проведення механізованих робіт»

Мета роботи: набути вміння складати план організації робіт, який би забезпечив виконання заданих виробничих процесів у найкоротші терміни.

15.1. Загальне та математичне формулювання задачі

Оскільки сільськогосподарське виробництво значною мірою залежить від погоди, то потрібно так організувати роботу, щоб до початку несприятливого періоду виконати її в повному чи максимально можливому обсязі.

Загальне формулювання даної задачі виглядатиме так.

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

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

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

$$T_j = \sum_{i=1}^m \frac{X_{ij}}{W_{ij} n_j}, \quad j = \overline{1, n} \quad (15.1)$$

Допустимо, що агрегати різних типів використовуються при виконанні заданого обсягу робіт неоднаковий час, тобто для них значення T_j будуть різними. Графічно цю умову можна зобразити діаграмою (рис. 15.1), де на осі абсцис відкладемо час, а на осі ординат - порядкові номери агрегатів.

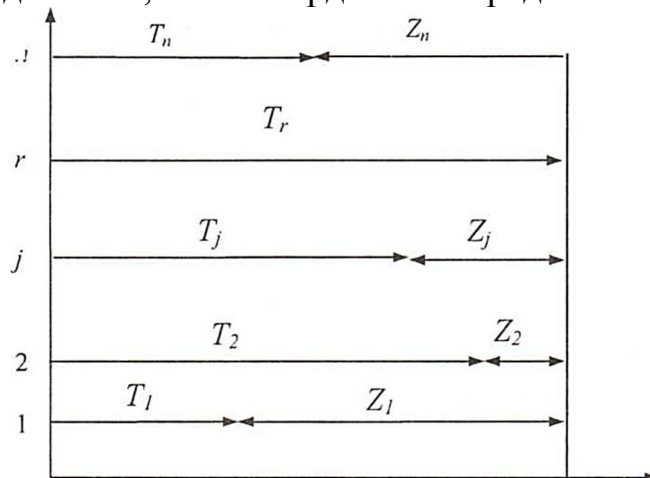


Рис. 15.1. Діаграма тривалості використання агрегатів у періоді T .

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

$$T = \max \{ T_j \}, \quad i = \overline{1, n} \quad (15.2)$$

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

$$T = \min \max \{ T_j \}, \quad i = \overline{1, n} \quad (15.3)$$

Вираз (15.3) є задачею *на мінімакс*, коли потрібно знайти мінімальне серед максимальних значень функції.

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

$$T = T_r = \sum_{i=1}^m \frac{X_{ir}}{W_{ir} n_r} = \min. \quad (15.4)$$

Введемо додаткову змінну Z_j , яка буде рівною різниці

$$Z_j = T_r - T_j, \quad (15.5)$$

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

Підставивши значення T_r і T_j у формули (15.4 і 15.5), отримаємо:

$$Z_j = \sum_{i=1}^m \frac{X_{ir}}{W_{ir} n_r} - \sum_{i=1}^m \frac{X_{ij}}{W_{ij} n_j} \quad (15.6)$$

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

Використовуючи для виконання заданого обсягу робіт агрегати кількох типів, можна отримати мінімальну тривалість робіт тільки у випадку, коли потенційні можливості агрегатів будуть використані.

Приймемо низку необхідних обмежень. Так, для забезпечення виконання повного обсягу робіт встановлюється обмеження

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} = F_i \quad i = \overline{1, m} \quad (15.7)$$

Можливі значення X_{ij} обмежуються областю додатних чисел, тобто

$$X_{ij} \geq 0, \quad i = \overline{1, m} \quad i = \overline{1, n}.$$

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

$$T = \sum_{i=1}^m \frac{X_{ir}}{W_{ir} n_r} \rightarrow \min \quad (15.8)$$

при обмеженнях:

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

$$2. \sum_{i=1}^m X_{ij} = F_i, i = \overline{1, m} \quad (15.9)$$

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

15.2 Приклад розв'язання задачі мінімізації строків робіт

Для порівняння результатів розподілу техніки на окремі види робіт при різних критеріях оптимізації розв'яжемо задачу мінімізації строків робіт для вихідних даних попередньої задачі.

Для умов задачі, що наведені в табл. 14.2, скласти план використання техніки, який забезпечуватиме виконання заданого обсягу робіт в мінімальні строки ($T \rightarrow \min$).

Тривалість виконання технологічних операцій агрегатами з тракторами різних марок згідно з табл. 14.2 становитиме:

з трактором К-701:

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

з тракторами Т-150К:

$$T_2 = X_{12} / n_2 W_{12} + X_{22} / n_2 W_{22} + X_{32} / n_2 W_{32} + X_{42} / n_2$$

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

з тракторами МТЗ-80:

$$T_3 = X_{13} / n_3 W_{13} + X_{23} / n_3 W_{23} + X_{33} / n_3 W_{33} + X_{43} / n_3$$

$$W_{43} = X_{13} / 3 \cdot 12,1 + X_{23} / 3 \cdot 0,4 + X_{33} / 3 \cdot 2,8 + X_{43} / 3 \cdot 2,0$$

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

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

або

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

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

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

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

тобто

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

1. $X_{12} + X_{13} = 320$;
2. $X_{21} + X_{22} + X_{23} = 320$;
3. $X_{31} + X_{32} + X_{33} = 180$;
4. $X_{42} + X_{43} = 250$;
5. $0,025X_{12} + 0,5X_{22} + 0,076X_{32} + 0,094X_{42} - 0,50X_{21} - 0,096X_{31} = 0$;
6. $0,025X_{12} + 0,5X_{22} + 0,076X_{32} + 0,094X_{42} - 0,028X_{13} - 0,82X_{23} - 0,12X_{33} - 0,17X_{43} = 0$.

Матриця коефіцієнтів цієї моделі наведена в табл. 154.

Таблиця 15.1

Матриця коефіцієнтів

X_{12}	X_{13}	x_{21}	x_{22}	X_{23}	x_{31}	X_{32}	X_{33}	x_{42}	X_{43}	Знак	Вільний член
0,025			0,5			0,076		0,094		→	min
1	1									=	320
		1	1	1						=	320
					1	1	1			=	180
								1	1	=	250
0,025		-0,5	0,5		-0,096	0,076		0,094		=	0
0,025	-0,028		0,5	-0,82		0,076	-0,12	0,094	-0,17	=	0

Результати розв'язку задачі наведені в табл. 15.2.

Таблиця 15.2

Розподіл обсягів робіт за критерієм мінімальних строків їх проведення

Технологічна операція	Площа (га) обробітку агрегатами на базі		
	К-701	Т-150К	МТЗ-80
Внесення добрив	—	—	320
Оранка	156	106	58
Культивация	—	—	180
Сівба зернових	—	250	—
Зайнятість тракторів, год	6	77	78

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

Порівняємо дані табл. 15.2 з результатами розв'язку попередньої задачі (див. табл. 14.4). При мінімізації витрати палива весь обсяг механізованих робіт завершувався на 10-й день, причому найбільше часу займала оранка. Оскільки на цій операції є значною й різниця в погектарній витраті пального окремими агрегатами, то найменш економічні орні агрегати на базі тракторів МТЗ-80 не використовувались. При мінімізації термінів робіт були задіяні всі МТА, що дозволило скоротити час проведення робіт приблизно на 2,5 дні, але витрати палива при цьому зросли на 0,4 т.

З наведеного порівняння результатів оптимізації розподілу обсягів робіт між окремими агрегатами за різними критеріями є очевидною важливість правильної оцінки виробничої ситуації і вибору відповідного критерію оптимізації, а також ефективність застосування сучасних методів прийняття інженерних рішень при проектуванні та використанні технологічних систем.

Завдання на практичне заняття

1. Скласти план використання техніки, який забезпечуватиме виконання заданого обсягу робіт в мінімальні строки ($T \rightarrow \min$).

2. Порівняти результати розподілу техніки на окремі види робіт при різних критеріях оптимізації.

Задачу мінімізації строків робіт потрібно розв'язати за вихідними даними попередньої задачі. Умови задачі наведені в табл. 15.3.

Протягом десяти днів ($D = 10$) у господарстві планується одночасне проведення таких операцій: внесення мінеральних добрив (МД), оранка, культивация, сівба зернових культур.

Па виконання комплексу робіт може бути виділена наступна кількість тракторів з відповідним набором с.-г. машин:

1 трактор К-701, 2 трактори Т-150К, 3 трактори МТЗ-80.

Запаси палива обмежені.

Обсяг робіт щодо кожної операції F_i годинна продуктивність W_{ij} кожного агрегату на i -й операції з j -м трактором, а також питома витрата палива G_{ij} наведені в табл. 15.3. Тривалість зміни становить $T = 7$ год. Коефіцієнт змінності $k_{зм} = 1,5$.

Таблиця 15.3

Дані для планування механізованих робіт

Технологічна операція	Обсяг робіт, га	Показники МТА на базі трактора					
		К-701		Т-150К		МТЗ-80	
		W_{ij} , га/год	G_{ij} , кг/га	W_{ij} , га/год	G_{ij} , кг/га	W_{ij} , га/год	G_{ij} , кг/га
Внесення МД	300	—	—	19,6	2,2	12,1	3,0
Оранка	300	2,0	14,4	1,0	13,3	0,4	15,7
Культивация	160	10,4	2,3	6,6	2,4	2,8	2,9
Сівба зернових	230	—	—	5,3	2,8	2,0	2,7

Завдання на самостійну роботу

1. Скласти план використання техніки, який забезпечуватиме виконання заданого обсягу робіт в мінімальні строки ($T \rightarrow \min$).
2. Порівняти результати розподілу техніки на окремі види робіт при різних критеріях оптимізації.

Задачу мінімізації строків робіт потрібно розв'язати за вихідними даними попередньої задачі. Умови задачі наведені в табл. 15.4.

Протягом десяти днів ($D = 10$) у господарстві планується одночасне проведення таких операцій: внесення мінеральних добрив (МД), оранка, культивация, сівба зернових культур.

На виконання комплексу робіт може бути виділена наступна кількість тракторів з відповідним набором с.-г. машин:

1 трактор К-701, 2 трактори Т-150К, 3 трактори МТЗ-80.

Запаси палива обмежені.

Обсяг робіт щодо кожної операції F_i годинна продуктивність W_{ij} кожного агрегату на i -й операції з j -м трактором, а також питома витрата палива G_{ij} наведені в табл. 15.4. Тривалість зміни становить $T = 7$ год. Коефіцієнт змінності $k_{зм} = 1,5$.

Таблиця 15.4

Дані для планування механізованих робіт

Технологічна операція	Обсяг робіт, га	Показники МТА на базі трактора					
		К-701		Т-150К		МТЗ-80	
		W_{ij} , га/год	G_{ij} , кг/га	W_{ij} , га/год	G_{ij} , кг/га	W_{ij} , га/год	G_{ij} , кг/га
Внесення МД	340	—	—	19,6	2,2	12,1	3,0
Оранка	340	2,0	14,4	1,0	13,3	0,4	15,7
Культивация	200	10,4	2,3	6,6	2,4	2,8	2,9
Сівба зернових	270	—	—	5,3	2,8	2,0	2,7

Контрольні запитання для самоперевірки знань

1. Від яких факторів в значній мірі залежить організація робіт у сільськогосподарському виробництві?
2. Дайте загальне формулювання задачі мінімізації строків проведення механізованих робіт.
3. У чому полягає відмінність цієї задачі від попередньої?
4. Дайте математичне формулювання задачі мінімізації строків проведення механізованих робіт.
5. Як записується математична модель задачі (цільова функція та обмеження) у розгорнутому вигляді?
6. Які висновки можна зробити з порівняння отриманих результатів оптимізації розподілу обсягів робіт між окремими агрегатами за різними критеріями?

Практичне заняття № 7

Тема: «Сітьове планування механізованих процесів і кампаній»

Мета роботи: набути вміння складати план організації робіт, який би забезпечив виконання набути вміння розробляти сітьову модель механізованих робіт.

16.1 Методика сітьового планування робіт

Сільськогосподарське виробництво має виражений циклічний характер. Технологічні процеси рослинництва, тваринництва, переробної галузі підпорядковані об'єктивним біологічним закономірностям рослинного і тваринного світів. Крім того польові роботи і пов'язані з ними допоміжні операції залежать від погодних чинників. Це суттєво ускладнює календарне планування на весь період виробництва продукції. Водночас важливе значення має чітка організація найбільш відповідальних кампаній і процесів (посівна і збиральна кампанії, заготівля кормів тощо). Забезпечити належний рівень їх організації можна з допомогою сітьового планування робіт.

Найзручнішою з точки зору наочності та застосування обчислювальної техніки формою розробки календарного плану є сітьова модель.

Сітьова модель - це графічне зображення сукупності робіт (операцій) і подій в їх технологічній послідовності та взаємозв'язку при досягненні кінцевого для даного процесу результату. Графічне зображення сітьової моделі інколи називають сітьовим графіком. Його елементами є події та роботи (рис. 16.1).

Робота на сітьовій моделі зображується стрілкою (орієнтована друга графа), а початок (*i*) та кінець (*j*) кожної роботи визначаються як події і позначаються кружечком (вершина графа).

Термін «*робота*» може означати такі поняття:

- *дійсна робота* (технологічна операція), що вимагає затрат часу і ресурсів. На сітьовому графіку позначається суцільною стрілкою (рис. 16.1, а);
- *очікування*, що не потребує затрат праці та ресурсів, але вимагає затрат часу. Позначається штрих-пунктирною стрілкою (рис. 16.1, в). Так, після скошування зернових у валки і до їх підбирання потрібен певний інтервал часу на дозрівання зерна;
- *фіктивна робота* не потребує ні затрат часу, ні ресурсів, а вказує на взаємозв'язок між окремими подіями, наявність логічного зв'язку. Позначається штриховою стрілкою (рис. 16.1, б). Так, технологічна підпорядкованість транспортної операції основній може бути задана фіктивною операцією.

При побудові сітьових графіків дотримуються таких правил:

- операція у сіті зображується лише однією стрілкою (рис. 16.1, о);
- кожна пара подій може бути з'єднана не більше ніж однією стрілкою. Приклад помилкового зображення наведений на рис. 16.1, д. Якщо кілька операцій виконуються паралельно, то вони можуть мати лише одну спільну подію (початкову або кінцеву), а їх взаємна підпорядкованість позначається фіктивними операціями (рис. 16.1, б);

- у сіті не повинно бути подій (крім початкової), в які не входить жодна стрілка, і таких (крім кінцевої), з яких не виходить жодна стрілка. На графіку повинна бути одна початкова і одна кінцева події, наявність «тупикових» подій або декількох початкових чи кінцевих подій є помилкою (рис. 16.1, а);

- у сіті не повинно бути контурів, тобто такої послідовності подій, при якій є можливим повернення події до себе самої (рис. 16.1, г).

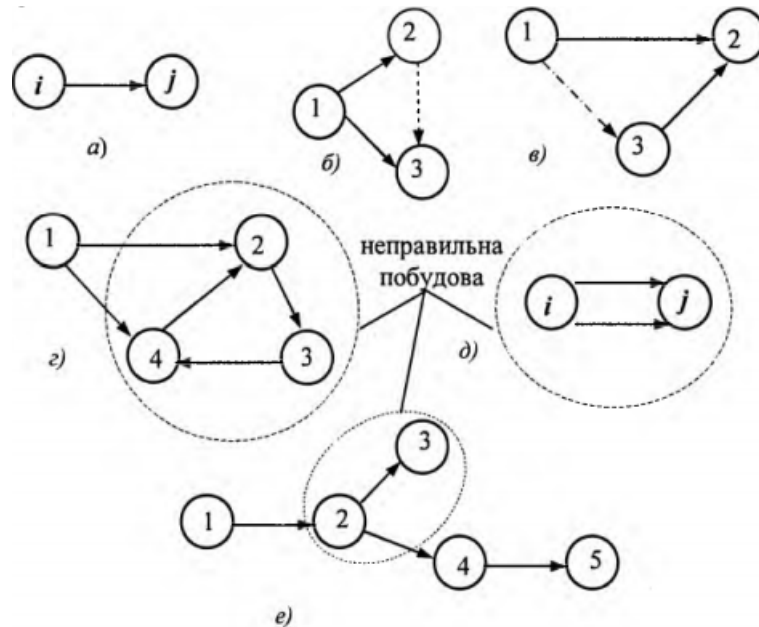


Рис. 16.1. Зображення подій і операцій на сітьовому графіку: кружечки - події (початкова і, кінцева у);

----- ► -робота дійсна; ► -фіктивна; ----- ► - очікування.

Очікувану тривалість робіт t_{ij} визначають, виходячи з наявності невідомості ймовірнісного характеру. Статистичні дані свідчать, що тривалість робіт підпорядковується бета-розподілу:

$$p(x) = c(x - t_{min})^\alpha (t_{max} - x)^\gamma, \quad (16.1)$$

де $p(x)$ - густина розподілу ймовірностей; x - випадкова величина, яка для даного випадку відповідає тривалості виконання роботи;

t_{min} і t_{max} - відповідно, мінімальна і максимальна тривалість операції;

c - константа розподілу.

Встановлено, що для практичних розрахунків тривалості операцій можна прийняти $\alpha = 1$ і $\gamma = 2$. Функція густини розподілу в цьому випадку виражається рівнянням

$$f(x) = \frac{12}{(t_{max} - t_{min})^4} (x - t_{min})(t_{max} - x)^2, \quad (16.2)$$

Найбільш імовірну тривалість операції t_{ij} і дисперсію (σ_{ij}^2), виходячи з рівняння (16.2), розраховують за формулами:

$$t_{ij} = \frac{3t_{min} + 2t_{max}}{5} \quad (16.3)$$

$$\sigma_{ij}^2 = 0,04 \cdot (t_{max} - t_{min})^2, \quad (16.4)$$

Найбільш імовірну тривалість операції t_{ij} дисперсію (σ_{ij}^2), виходячи з рівняння (16.2), розраховують за формулами:

$$t_{min} = \frac{\Omega_o}{n_a \cdot W_H \cdot k_{3M}} = \frac{N_{3M}}{n_a \cdot k_{3M}}, \quad (16.5)$$

$$t_{min} = \frac{N_{3M}}{n_a \cdot k_{3M} \cdot K_{Dmin}}, \quad (16.6)$$

де Ω_o – обсяг робіт для даної операції, га, т, т км;
 n_a – кількість агрегатів, зайнятих на даній операції;
 W_H – змінна норма виробітку даного МТА, га (т);
 k_{3M} – плановий коефіцієнт змінності для даної операції;
 $N_{3M} = \frac{\Omega_o}{W_H}$ – кількість нормозмін;
 K_{Dmin} – мінімальне значення коефіцієнта використання календарного часу, який визначається добутком коефіцієнтів погодності (k_n) та організаційної надійності (k_o):

$$k_D = k_n \cdot k_o, \quad (16.7)$$

Мінімальне значення k_o характеризує найнесприятливіші умови виконання технологічної операції. Величина k_D не може бути більшою від одиниці, бо і коефіцієнт погодності $k_n \leq 1$, і організаційної надійності $k_o \leq 1$.

Отже, необхідні ресурси для виконання операції у встановлені строки визначаються вибором раціональних технічних засобів (змінні n_a і W_H), організацією робіт (k_{3M} , k_o). Невизначеність умов враховується найбільш імовірною тривалістю операцій і мірою її розсіювання (дисперсією).

Для кожної операції (P_{ij}) розраховують її ранній початок і пізнє завершення. Подія не може розпочатись до моменту закінчення всіх операцій, що входять у неї (див. рис. 16.1). Тобто ранній початок відповідає ранньому завершенню всіх попередніх робіт, що мають максимальну сумарну тривалість:

$$T_{pj} = \max\{T_{pi} + t_{ij}\}, \quad (16.8)$$

де T_{pj} і T_{pi} – ранній початок відповідно попередньої (i) та наступної (j) подій.

Ранні строки початку подій визначаються при прямому перегляді сітьової моделі від початкової події до завершальної, а пізні строки закінчення операцій при зворотному перегляді сіті від завершальної події до вихідної.

Пізнє закінчення операцій, що входять у подію (i), відповідає найменшій різниці між пізнім строком закінчення наступної за ним події (j) і тривалістю операцій, що виходять з даної події:

$$T_{ni} = \min\{T_{nj} - t_{ij}\}, \quad (16.9)$$

де T_{ni} і T_{nj} – пізнє закінчення i -ї та j -ї подій.

Застосування наведених залежностей розглянемо на прикладі сітьового графіка (рис. 16.2).

Приклад. Для сітьового графіка (див. рис. 16.2) з початковою подією 0 і кінцевою 5 потрібно визначити ранній початок і пізнє завершення подій.



Рис. 16.2. Приклад визначення раннього початку T_p і пізнього завершення T_n подій.

Позначення секторів: №П – номер події; $\text{№П}_{гр}$ – номер події, через яку настає ранній початок даної події.

У наведеному прикладі до події 4 є два шляхи - через події 2 і 3. ранній Початок події 4 знаходять з множини:

$$T_{p4} = \max\{T_{p2} + t_{24}; T_{p3} + t_{34}\} = \{5 + 1; 7 + 0\} = 7.$$

Аналогічно для події 5:

$$T_{p5} = \max\{T_{p4} + t_{45}; T_{p3} + t_{35}\} = \{7 + 1; 7 + 3\} = 10.$$

Пізнє завершення подій встановлюється у зворотному порядку - від кінцевої до початкової подій. Зокрема, завершення події 3 пов'язане із закінченням подій 5 і 4, а події 1 - із закінченням 2 і 3. Тоді:

$$T_{n3} = \min\{T_{n5} - t_{35}; T_{n4} - t_{34}\} = \min\{10 - 3; 9 - 0\} = 7;$$

$$T_{n1} = \min\{T_{n2} - t_{21}; T_{n3} - t_{31}\} = \min\{8 - 2; 7 - 4\} = 3.$$

Тривалість різних операцій може значно відрізнятись. Це означає, що за наявності паралельних робіт одні операції можуть завершуватись швидше, ніж інші. Але умовою початку події є завершення всіх попередніх робіт, які входять у неї, тобто для деяких подій виникає резерв часу.

Резерв часу i -ї події - це різниця між пізнім і раннім строками її настання:

$$R_i = T_{ni} - T_{pi}, \quad (16.10)$$

У межах резерву R_i можна відстрочити завершення даної події без порушення строків виконання всієї сукупності робіт.

Найтриваліший у часі неперервний ланцюжок операцій від вихідної події до заключної називається критичним шляхом. На рис. 16.2 він позначений товстішою стрілкою. Він проходить через події, для яких відсутній резерв часу (у прикладі це послідовність подій - 0, 1, 3, 5). Інколи в сітьовій моделі є декілька критичних шляхів.

Для практичних цілей важливо визначити повний і вільний резерви часу операцій.

Повний резерв відповідає тій максимальній кількості часу, на яку можна збільшити тривалість даної операції без зміни тривалості критичного шляху. Він визначається за формулою:

$$R_{ij}^n = T_{nj} - T_{pi} - t_{ij}, \quad (16.11)$$

Тобто це є різниця між максимально допустимою і номінальною тривалістю операції. Так, для операції P_{24} (див. рис. 16.2):

$$R_{24}^n = T_{n4} - T_{p2} - t_{24} = 9 - 5 - 1 = 3 \text{ дні}.$$

Вільний резерв часу характеризує можливе збільшення її тривалості без зміни ранніх строків початку всіх операцій. Цей резерв дорівнює:

$$R_{ij}^B = T_{pj} - T_{pi} - t_{ij}. \quad (16.12)$$

Для операції P_{24} : $R_{24}^B = T_{p4} - T_{p2} - t_{24} = 7 - 5 - 1 = 1$ день.

Резерв часу дозволяє маневрувати строками початку і кінця операцій, їх тривалістю з урахуванням конкретної ситуації.

Якщо кількість операцій є значною (наприклад, при розробці сітьового графіка технології вирощування і збирання с.-г. культур), то доцільно розробляти окремі блоки робіт (основний і передпосівний обробіток ґрунту, сі-вба, догляд за посівами, збирання, післязбиральний обробіток урожаю та ґрунту). Після обґрунтування окремих блоків сітьової моделі приступають до так званого зшивання сіті. Для цього встановлюють спочатку граничні події, що будуть спільними для окремих часткових графіків. При побудові зведеної сіті допускається об'єднувати деякі операції (однотипні, основні з допоміжними), що спрощує модель і розрахунки, здійснюється також узго-дження окремих подій. Після зшивання сіті події нумерують заново.

Загальна тривалість робіт від початкової до кінцевої подій встановлю-ється для критичного шляху, тобто найбільш напруженої послідовності ро-біт. З урахуванням імовірних відхилень від середньої тривалості окремих операцій загальна тривалість визначається за формулою:

$$T_{ck} = \sum t_{ijk} \pm 3\sigma_K; \quad (16.13)$$

$$\sigma_K = \sqrt{\sum \sigma_{ijk}^2}, \quad (16.14)$$

де T_{ck} - сумарна тривалість операцій на критичному шляху;

σ_K, σ_{ijk} - середньоквадратичне відхилення загальної тривалості операцій та окремих операцій критичного шляху.

Таким чином, розробка сітьових моделей механізованих робіт дозволяє раціонально розподілити в часі строки виконання операцій, визначити на-пружені ланцюжки послідовних операцій і резерви часу, передбачити за-ходи, спрямовані на усунення можливих несприятливих відхилень, вирі-шити ряд важливих задач розподілу ресурсів і оперативного керування про-цесами.

16.2 Приклад побудови сітьового графіка

Розглянемо приклад побудови сітьового графіка на збиральну кампанію. У господарстві потрібно зібрати зернові колоскові культури з площі 500 га протягом 8-ми календарних днів, поєднуючи роздільне збирання і пряме комбайнування. Поля - IV групи.

Наявна техніка: комбайни «Лан» з жаткою $B_p = 5,8$ м – 3 шт., агрегати з прес-підбирачем соломи МТЗ-80+К-420-1 – 2 шт., навантажувач ЮМЗ-6Л+ПТФ-100, агрегат для лущення стерні Т-150+ЛДГ-15 (табл. 16.1). Розро-бити сітьовий графік робіт з метою своєчасного їх виконання.

Вихідні дані до розрахунків сітьової моделі процесу

Операція	Обсяг робіт Ω_i	Поча ток D_{ni}	Три- ва- лість D_{oni}	Темп робіт W_i^m	k_{zm}	Склад МА	W_{zm} га, т	n_a	k_{Dn}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Підготовка полів	200 га	12.07	2	250 га	1,5	Лан	70 га	1	0,90
Скошування у валки	200 га	12.07	3	67 га	2,0	МТЗ-80+ЖВС-6	18 га	2	0,85
Підбір і обмолот	200 га	17.07	3	67 га	1,5	Лан	17 га	3	0,80
Транспортування зерна	800 т	17.07	3	267 т	1,5	ГАЗ-САЗ-3507-1	68 т	3	0,80
Пряме комбайну- вання	300 га	20.07	5	60 га	1,5	Лан	15 га	3	0,80
Транспортування зерна	1200 т	20.07	5	240 т	1,5	ГАЗ-САЗ-3507-1	72 т	3	0,80
Пресування НЧУ	500 га	17.07	10	50 га	2,0	МТЗ-80+К-420-1	12 га	2	0,85
Транспортування туків	2000 т	17.07	10	200 т	2,0	ЮМЗ-6Л+ ПСЕ- 20	50 т	2	0,90
Штабелювання	2000 т	17.07	10	200 т	2,0	ЮМЗ-6Л+ПТФ- 500	110 т	1	0,90
Лущення стерні	500 га	18.07	8	63 га	2,0	Т-150+ЛДГ-15	54 га	1	0,90

На етапі структурного планування виділимо дві групи операцій, що пов'язані зі збиранням зернової та незернової частини урожаю (НЧУ). До початку розробки сітьової моделі процесу потрібно на підставі аналізу наявних ресурсів і умов проведення робіт здійснити багатокритеріальний вибір варіанта технології збирання зерна та НЧУ, а також складів МТА за методами, які будуть наведені в подальшому. У нашому прикладі вибрано варіант комбінованого збирання колоскових зернових, за якого частину площі (200 га) збирають роздільним методом, іншу частину (300 га) - прямим комбайнуванням. Збирання НЧУ проводиться з тюкуванням і наступним штабелюванням.

Для невеликих сіток розрахунки параметрів зручно проводити безпосередньо на графіку, записуючи тривалість робіт t_{ij} на відповідній стрілці, а результати розрахунків - у секторах кружків подій (див. рис. 16.2,6).

Параметри сітьової моделі, розраховані за формулами (16.1) - (16.14), наведені в табл. 16.2 і на графіку (рис. 16.3). Критичний шлях на графіку позначений потовщеною лінією.

Загальна тривалість робіт для нашого прикладу становить:

$$T_{ck} = \sum t_{ijk} \pm 3\sigma_K = (1 + 3 + 2 + 11) \pm 3 \cdot 0,5 = 17 \pm 1,5 \text{ дн.};$$

$$\sigma_K = \sqrt{\sum \sigma_{ijk}^2} = \sqrt{0,01 + 0,06 + 0,01 + 0,06 + 0,13} = 0,5 \text{ дн.}$$

Таблиця 16.2

Параметри сітьової моделі

Операція (P_{ij})	i, j	$t_{\min}$	$t_{\max}$	t_{ij}	σ^2	T_{pi}	T_{pj}	T_{ni}	T_{nj}	$R^n_{i,j}$	$R^a_{i,j}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Підготовка поля	0, 1	1,9	2,1	2,0	0,0016	0	2	0	4	2	0
Очікування	0, 2	0,5	1,7	1,0	0,06	0	1	0	1	0	0
Скошування у валки	0, 3	2,8	3,3	3,0	0,01	1	4	1	4	0	0
Очікування	2, 3	1,5	2,7	2,0	0,06	4	6	4	6	0	0
Підбір валків	4, 5	2,6	3,3	3,0	0,02	6	9	6	12	3	0
Транспортування зерна	4, 6	6,8	9,0	8	0,02	6	14	6	17	3	0
Пряме комбайнування	5, 7	4,2	5,2	5,0	0,05	9	14	12	17	3	0
Пресування НЧУ	4, 8	10,4	12,2	11,0	0,13	6	17	6	17	0	0
Транспортування і скиртування НЧУ	4, 9	9,6	10,6	10	0,04	6	17	6	17	1	1
Штабелювання тюків	4, 10	9,1	10,1	10	0,04	6	17	6	17	1	1
Очікування	4, 11	0,5	1,7	1	0,06	6	7	6	12	7	0
Лущення стерні	11, 12	4,6	5,1	5	0,01	7	17	12	17	5	5

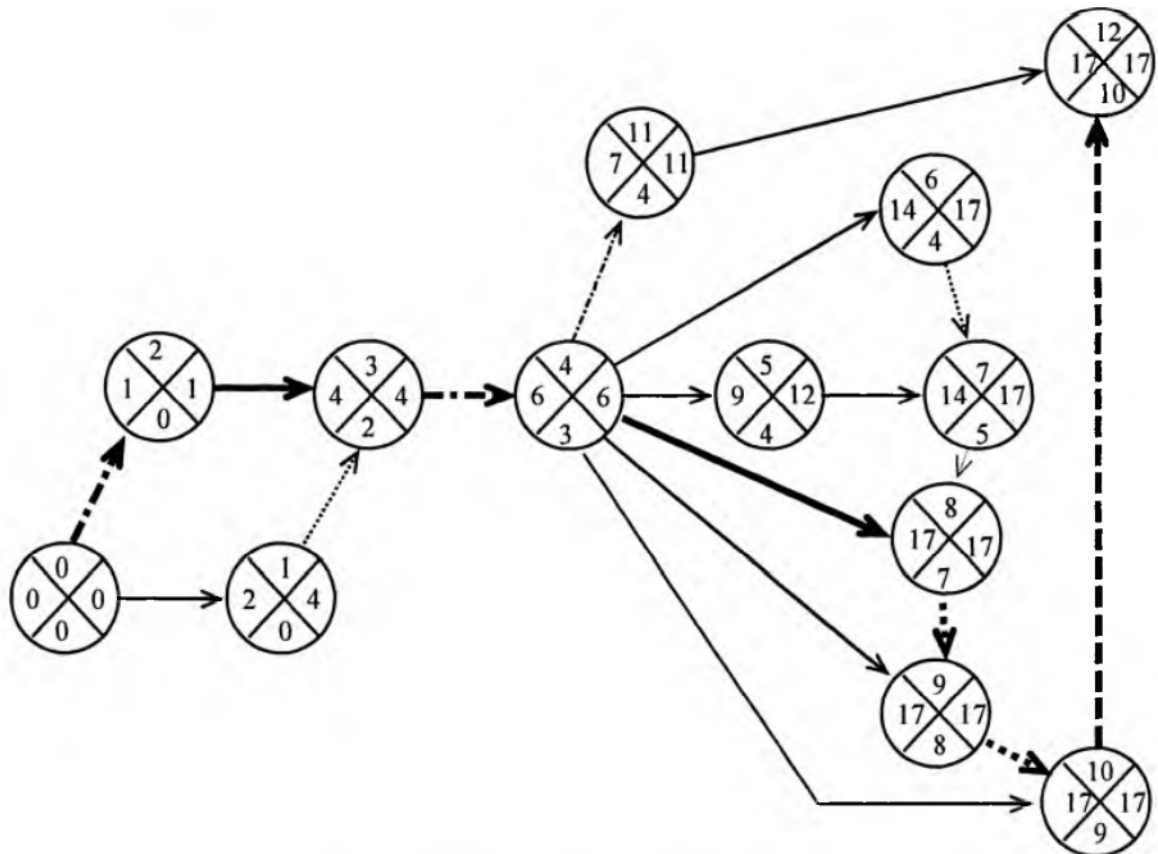


Рис. 16.3. Приклад сітьового графіка збирання зернових культур (товстою лінією виділений критичний шлях).

Побудований сітьовий графік процесу, кампанії чи технології дозволяє значно покращити організацію процесів, встановити найбільш напружену послідовність робіт, планувати потребу в ресурсах на кожен день, а також прогнозувати можливі відхилення від запланованого темпу робіт.

Сітьові моделі особливо ефективні для планування кампаній (сівба, збирання, тощо). Такі моделі відображають не лише календарні строки операцій, але й найбільш напружену їх послідовність (без резервів часу), взаємодії технічних засобів і потреби в ресурсах.

Розробляючи сітьові графіки, варто передбачати певні можливості для оперативного їх коректування у випадках непередбачених відхилень. Це стосується резервування окремих видів ресурсів, запасних частин, залучення до виробничих процесів ресурсів суміжних підприємств.

Сітьове планування й управління процесами суттєво спрощується за наявності відповідного комп'ютерного забезпечення, наприклад, розрахунків у середовищі EXCEL або автоматизованих робочих місць (АРМ) інженера.

Завдання на практичне заняття

Розробити сітьовий графік робіт на збиральну кампанію з метою своєчасного їх виконання.

У господарстві потрібно зібрати зернові колоскові культури з площі 500 га протягом 8-ми календарних днів, поєднуючи роздільне збирання і пряме комбайнування. Пола — IV групи.

Наявна техніка: комбайни «Лан» з жаткою $B_p = 5,8$ м - 3 шт., агрегати з прес-підбирачем соломи МТЗ-80+К-420-1 - 2 шт., навантажувач ЮМЗ-6Л+ПТФ-100, агрегат для лущення стерні Т-150+ЛДГ-15 (табл. 16.3).

Таблиця 16.3

Вихідні дані до розрахунків сітьової моделі процесу

Операція	Обсяг робіт Ω	По- ча- ток $D_{\text{н}}$	Тр- ва- ність $D_{\text{м}}$	Темп робіт W_i^m	$k_{\text{зм}}$	Склад МА	$W_{\text{з.м.}}$ га, т	n_a	k_{Dn}
Підготовка полів	190 га	12.07	2	250 га	1,5	Лан	70 га	1	0,90
Скошування у валки	190 га	12.07	3	67 га	2,0	МТЗ-80+ЖВС-6	18 га	2	0,85
Підбір і обмолот	190 га	17.07	3	67 га	1,5	Лан	17 га	3	0,80
Транспортування зерна	800 т	17.07	3	267 т	1,5	ГАЗ-САЗ-3507-1	68 т	3	0,80
Пряме комбайнування	310 га	20.07	5	60 га	1,5	Лан	15 га	3	0,80
Транспортування зерна	1200 т	20.07	5	240 т	1,5	ГАЗ-САЗ-3507-1	72 т	3	0,80
Пресування НЧУ	500 га	17.07	10	50 га	2,0	МТЗ-80+К-420-1	12 га	2	0,85
Транспортування тюків	2000 т	17.07	10	200 т	2,0	ЮМЗ-6Л+ ПСЕ-20	50 т	2	0,90
Штабелювання	2000 т	17.07	10	200 т	2,0	ЮМЗ-6Л+ПТФ-500	110 т	1	0,90
Лущення стерні	500 га	18.07	8	63 га	2,0	Т-150+ЛДГ-15	54 га	1	0,90

Завдання на самостійну роботу

Розробити сітьовий графік робіт на збиральну кампанію з метою своєчасного їх виконання.

У господарстві потрібно зібрати зернові колоскові культури з площі 500 га протягом 8-ми календарних днів, поєднуючи роздільне збирання і пряме комбайнування. Поля - IV групи.

Наявна техніка: комбайни «Лан» з жаткою $B_p = 5,8$ м - 3 шт., агрегати з прес-підбирачем соломи МТЗ-80+К-420-1 - 2 шт., навантажувач ЮМЗ-6Л+ПТФ-100. аїрегат для лущення стерні Т-150+ЛДГ-15 (табл. 16.4).

Вихідні дані до розрахунків сітьової моделі процесу

Операція	Обсяг робіт Ω_i	Поча- ток D_{ni}	Три- ва- лість D_{oni}	Темп робіт W_i^m	k_{zm}	Склад МА	$W_{zm},$ ga, m	n_a	k_{Dn}
Підготовка полів	210 га	12.07	2	250 га	1,5	Лан	70 га	1	0,90
Скошування у валки	210 га	12.07	3	67 га	2,0	МТЗ-80+ЖВС-6	18 га	2	0,85
Підбір і обмолот	210 га	17.07	3	67 га	1,5	Лан	17 га	3	0,80
Транспортування зерна	800 т	17.07	3	267 т	1,5	ГАЗ-САЗ-3507-1	68 т	3	0,80
Пряме комбайнування	290 га	20.07	5	60 га	1,5	Лан	15 га	3	0,80
Транспортування зерна	1200 т	20.07	5	240 т	1,5	ГАЗ-САЗ-3507-1	72 т	3	0,80
Пресування НЧУ	500 га	17.07	10	50 га	2,0	МТЗ-80+К-420-1	12 га	2	0,85
Транспортування тюків	2000 т	17.07	10	200 т	2,0	ЮМЗ-6Л+ ПСЕ-20	50 т	2	0,90
Штабелювання	2000 т	17.07	10	200 т	2,0	ЮМЗ-6Л+ПТФ-500	110 т	1	0,90
Лущення стерні	500 га	18.07	8	63 га	2,0	Т-150+ЛДГ-15	54 га	1	0,90

Контрольні запитання для самоперевірки знань

1. Які фактори суттєво ускладнюють календарне планування на весь період виробництва продукції?
2. Чи можна з допомогою сітьового планування робіт забезпечити належний рівень організації найбільш відповідальних кампаній і процесів (посівної і збиральної кампанії, заготівлі кормів тощо)?
3. Яка найзручніша з точки зору наочності та застосування обчислювальної техніки форма розробки календарного плану?
4. Що таке сітьова модель?
5. Як інколи називають графічне зображення сітьової моделі?
6. Які елементи має сітьовий графік?
7. Як на сітьовій моделі зображуються «робота» та «події»?
8. Які поняття може означати термін «робота»?
9. Яких правил дотримуються при побудові сітьових графіків?
10. Які параметри використовуються при розрахунку та побудові сітьової моделі?

Практичне заняття № 8

Тема: «Задачі організації механізованих процесів»

Мета роботи: набути вміння узгоджувати параметри і режими роботи технічних засобів та організовувати їх взаємодію у механізованих процесах.

17.1. Узгодження параметрів і режимів роботи технічних засобів з характеристиками поля

Характерним прикладом взаємного узгодження параметрів і режимів роботи МТА з характеристиками поля та агротехнічними вимогами є налагоджування агрегатів розподільного типу (посівні, хімічного захисту рослин, внесення добрив) на норму внесення. Для них потрібно узгодити шлях спорожнення технологічної місткості з довжиною гону, виходячи з умови цілочисельності робочих ходів і раціонального вибору місця заправки місткостей технологічними матеріалами. Розглянемо методику такого узгодження на прикладі роботи обприскувачів. Об'єм витраченої за одну заправку рідини визначається за формулою

$$V_3 = q_l \cdot L_z \cdot |n| = 10^4 \cdot H \cdot B_p \cdot L_z \cdot |n|$$

де V_3 – об'єм витраченої за одну заправку рідини, л;

q_l - витрата рідини на 1 м робочого ходу, л/м;

$|n|$ - найбільше ціле число робочих ходів за одну заправку бака (*entier*);

L_z - довжина гону, м;

H - норма внесення робочої рідини, л/га.

Заправку обприскувачів робочою сумішшю потрібно здійснювати на краю поля. Коефіцієнт використання рідини в баці обприскувача при заправленні бака з обох сторін поля можна виразити через співвідношення шляху спорожнення і довжини гону

$$k_{\delta} = \frac{V_3}{V_{\delta}} = \frac{q_l \cdot L_z}{V_{\delta}} |n| \quad \text{або} \quad k_{\delta} = \frac{L_z}{L_{on}} \left| \frac{k_{3\delta} \cdot L_{on}}{L_z} \right|$$

де V_{δ} – місткість бака обприскувача, л;

$k_{3\delta}$ – коефіцієнт заповнення бака при заправленні;

L_{on} – шлях спорожнення бака при умові $k_{3\delta} = 1$, м.

$$L_{on} = \frac{10^4 \cdot V_{\delta}}{B_p \cdot H}$$

При заправці бака з одного боку поля формула (17.2) матиме вигляд:

$$k_{\delta} = \frac{2 \cdot L_z}{L_{on}} \left| \frac{k_{3\delta} \cdot L_{on}}{2 \cdot L_z} \right|$$

Функції (17.2) і (17.4) є дискретними (перервними) і прямі дужки в них означають найбільше *ціле* число, що міститься в цих співвідношеннях. У випадках, коли довжина гону L_z є більшою від шляху спорожнення L_{on} , *entier* втрачає зміст і коефіцієнт використання місткості дорівнюватиме коефіцієнту заповнення бака.

Мінімальне значення коефіцієнта використання місткості суттєво залежить від кількості робочих ходів, тобто від відношення L_{on} / L_z , і виражається цілочисельною залежністю:

$$k_{\sigma \min} = \frac{|n|}{|n| + 1}$$

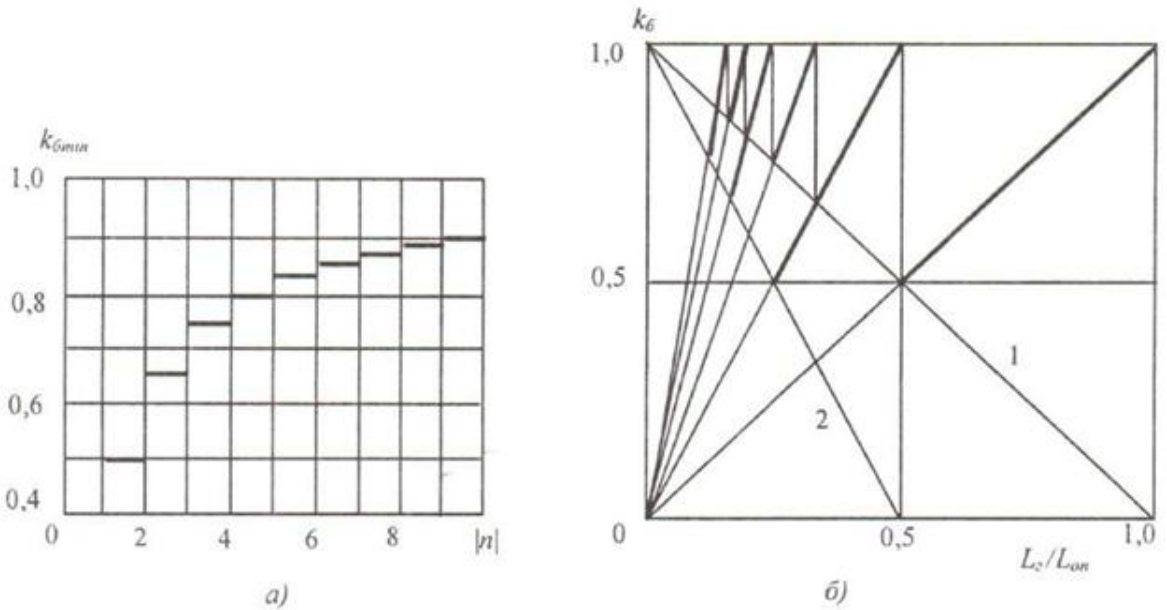


Рис. 17.1. Цілочисельні залежності коефіцієнта використання місткості бака від кількості робочих ходів (а) і відношення L_{on} / L_z (б).

Обмежуючі лінії при завантаженні місткості: 1 – з двох сторін поля; 2 – з однієї сторони поля.

Як видно з графіків (рис. 17.1), при числі робочих ходів на одній заправці $|n| < 10$ коефіцієнт використання рідини в баці може суттєво знижуватися. Це означає, що при повній заправці ($k_{3\sigma} = 1$) частина рідини буде зайвим баластом, на переміщення якого витрачається енергія. Отже, в процесі технологічного налагоджування агрегату доцільно скоректувати норму витрати з умови цілочисельності робочих ходів.

Доцільність такого коректування покажемо на прикладі.

Приклад. Необхідно провести внесення гербіцидів з нормою витрати робочої рідини $H = 250$ л/га обприскувачем ОПШ-15-01, ширина захвату якого $B_p = 16$ м, а місткість бака $V_{\sigma} = 1200$ л. Довжина гону поля $L_z = 800$ м.

Шлях спорожнення бака за умови повного використання об'єму бака буде рівним за формулою (17.3):

$$L_{on} = \frac{10^4 \cdot 1200}{16 \cdot 250} = 3000 \text{ м}$$

Коефіцієнт використання місткості при заправлянні з однієї сторони поля становитиме за формулою (17.4):

$$k_{\sigma 1} = \frac{2 \cdot 800}{3000} \left| \frac{3000}{2 \cdot 800} \right| = 0,53 \cdot 1 = 0,53$$

а з обох сторін - за формулою (17.2):

$$k_{\delta 1} = \frac{800}{3000} \left| \frac{1 \cdot 3000}{800} \right| = 0,267 \cdot 3 = 0,80$$

Тобто, у першому випадку при повній заправці бака на момент наступного заправлення буде залишок 564 л, а в другому - 240 л робочої рідини. Транспортування такого залишку рідини по полю спричиняє перевитрату палива, тому норму витрати потрібно скоректувати з урахуванням цілочисельності робочих ходів. Так, при нормі витрати $H = 225$ л/га шлях спорожнення бака $L_{on} = 3333$ м, $k_{\delta 1} = k_{\delta 2} = 0,96$. Крім того, число робочих ходів парне $|n| = 4$, а значить, заправлення обприскувача буде здійснюватися з однієї сторони поля. Таке відхилення від норми внесення знаходиться в межах допуску ($\pm 10\%$). При більших відхиленнях потрібно коректувати концентрацію діючої речовини в робочій суміші C_n , забезпечуючи умову сталості норми витрати препарату $q_{nn} : C_n Q_n = q_{nn} = const$.

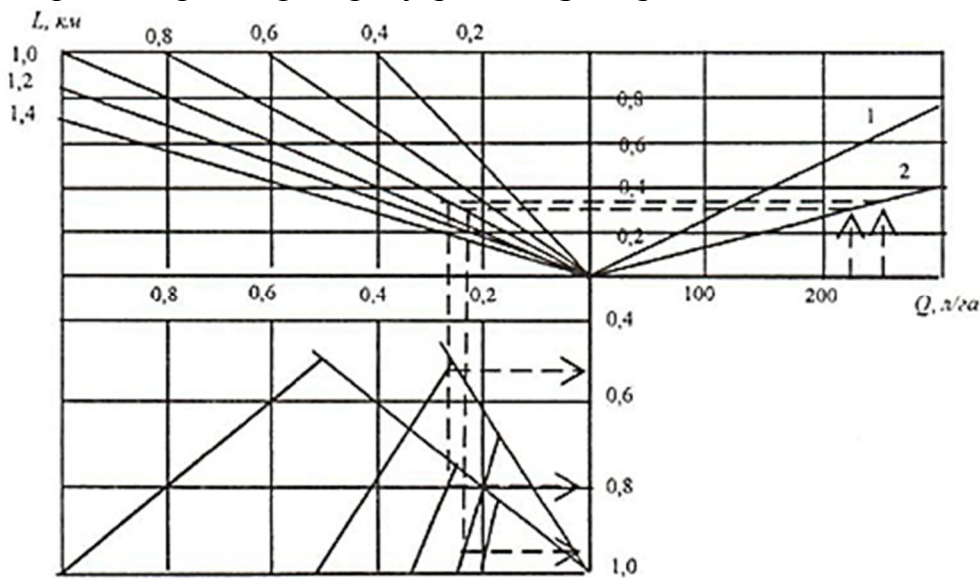


Рис. 17.2. Номограма коректування технологічного налагоджування обприскувачів: 1 - місткість бака 600 л; 2 - місткість бака 1200 л.

Для практичних цілей доцільно використовувати номограму (рис. 17.2), яка спрощує узгодження між собою агротехнічних вимог (Q_n , C_n , q_{nn}) характеристик поля (L_p) і режимів роботи агрегату (v_p , q_p).

З наведеного прикладу видно, що для таких узгоджень використовуються, як правило, детерміновані розрахункові моделі і побудовані за їх даними номограми. Узгодження потрібно проводити для більшості розподільчих операцій, а особливо при проведенні міжрядного обробітку просапних культур. Крім наведених узгоджень організаційні заходи передбачають також вибір способу руху МТА на загінці. Вони покликані забезпечувати високий рівень організації взаємодії основних і допоміжних агрегатів зі зниженням втрат часу, повніше використовувати потенційні можливості технічних засобів за продуктивністю і паливною економічністю, а також знижувати ущільнення ґрунтів, уникаючи маневрів МТА посеред поля.

17.2 Організація взаємодії технічних засобів у механізованих процесах

У механізованих процесах розподільчого і збирального типу взаємодіють технічні засоби основних і допоміжних операцій. Склад і взаємодію технічних засобів зумовлює технологічна схема процесу. В табл. 17.1 наведені найбільш поширені варіанти організації процесів розподілу технологічних матеріалів і збирання врожаю. Розрізняють прямо-точну, перевантажувальну та перевалочну схеми процесу.

Таблиця 17.1

Варіанти технологічних схем механізованих процесів

Технологічні операції	Технічні засоби в структурно-функціональній схемі		
	прямоточний	перевантажувальний	перевалочний
Розподільчі процеси			
зберігання	склад	склад	склад
навантаження	навантажувач	навантажувач	навантажувач
транспортна	основні МА	транспортні засоби	транспортні засоби
нагромадження	–	–	польовий склад (нагромаджувач)
внесення	основні МА	основні МА	основні МА
Збиральні процеси			
збирання	збиральні агрегати	збиральні агрегати	збиральні агрегати
вивантаження	– // –	– // –	– // –
нагромадження	– // –	транспортні засоби	нагромаджувач
транспортування	– // –	– // –	транспортні засоби
розвантаження	– // –	– // –	– // –
зберігання	склад (сховище)	склад (сховище)	склад (сховище)

Корисність механізованого процесу зумовлена корисністю основної операції. Допоміжні операції можуть суттєво підвищувати корисність основної (наприклад, продуктивність), але потребують додаткових затрат ресурсів і, відповідно, коштів. Завдання полягає в тому, щоб оцінити внесок допоміжних операцій в корисність процесу, а також плату за цю корисність. Тобто область ефективного застосування тієї чи іншої схеми можна встановити, спираючись на методологію функціонально-вартісного аналізу (ФВА). Вибір кращої технологічної схеми стосовно конкретних умов доцільно проводити, виходячи із принципів ФВА, зокрема, принципу необхідної і достатньої корисності.

Перевагами прямоточної схеми є менша порівняно з іншими варіантами потреба в технічних засобах технологічного забезпечення робіт.

Проте продуктивність основних агрегатів, які в даній схемі виконують також функцію транспортування від складу до поля, істотно знижується. Область доцільності застосування прямоточної схеми можна встановити, виходячи з мінімально допустимого значення коефіцієнта використання часу зміни $[\tau_{зм}]_{\min}$ основним агрегатом. Його значення зумовлене вимогами своєчасності робіт і економічними міркуваннями (окупністю додаткових витрат коштів).

На величину $\tau_{зм}$, основного агрегату при прямоточній схемі впливає, насамперед, відстань переїздів від поля до складу технологічних матеріалів. Граничну максимальну відстань переїздів $[l_{mp}]_{\max}$ для розподільчих процесів, при якій забезпечується умова $\tau \geq [\tau]_{\min}$ визначають за формулою:

$$l_{mp} \leq \left[\left(\frac{1 - \delta_{nc}}{[\tau_{зм}]_{\min}} - \frac{l_{xn}}{L_z} - 1 \right) \frac{G}{W_o H} - t_{nn} - \frac{G}{W_n} \right] \frac{v_{mp}}{2}$$

де l_{mp} , l_{xn} , L_z - відстань транспортування, довжина повороту і довжина гону;

δ_{nc} - частка позациклового часу (T_{nc}) у зміні ($T_{зм}$), $\delta_{nc} = T_{nc} / T_{зм}$;

G - вантажопідйомність агрегату;

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

H - норма витрати технологічного матеріалу;

W_n - продуктивність засобів навантаження;

t_{nn} - час підготовки основного агрегату до навантаження;

v_{mp} - середня за рейс транспортна швидкість агрегату.

Число робочих циклів за зміну визначається за формулою:

$$n = \left| \frac{W_o \cdot T_{зм} \cdot \tau_{зм} \cdot H}{k_z \cdot G} \right|$$

де k_z - коефіцієнт використання вантажопідйомності.

Прямі дужки в формулі (17.7) означають цілу частину числа (*entier*).

Отже, якщо відстань транспортування технологічних матеріалів перевищує граничне значення ($l_{mp} > [l_{mp}]_{\max}$) то приймається перевантажувальна схема розподільчого процесу, коли ж $l_{mp} \leq [l_{mp}]_{\max}$ - прямоточна.

Дана методика дає орієнтовне значення граничного радіусу засто-сування прямоочної схеми. Адекватність розрахунків залежить від обґрунтованості допустимого значення $[\tau]_{\min}$, яке повинно встановлюватись, виходячи з принципів своєчасності робіт і економічної ефективності (ресурсощадності) з урахуванням конкретних природно-виробничих умов.

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

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

$$W_i \cdot n_i \cdot (1 - k_{npi}) = idem$$

звідки для взаємодії основного і транспортного агрегатів:

$$n_{mp} = \frac{n_o \cdot W_o \cdot (1 - k_{npo})}{W_{mp} \cdot (1 - k_{npm})}$$

де n_o і n_{mp} - число основних і транспортних агрегатів;

W_o і W_{mp} - продуктивність основних і транспортних агрегатів;

k_{npo} і k_{npm} - допустимі значення коефіцієнтів простою основних і транспортних агрегатів.

Для забезпечення ритмічності процесу при організації робіт за переважувальною схемою доцільно будувати графіки взаємодій основних і транспортних засобів, побудова яких наводиться у спеціальній літературі [9].

Перевалочна структурно-функціональна схема має дві фази процесу: вивезення технологічних матеріалів з центрального складу на польовий - для розподільчих процесів або вивантаження їх у контейнер-накопичувач - при збиранні врожаю; внесення технологічних матеріалів або транспортування врожаю на центральний склад. Перевагою такої організації робіт є відсутність жорсткого взаємозв'язку між обома фазами процесу. Наприклад, вивезення органічних добрив і формування польових буртів може здійснюватись у зимову пору року, а внесення добрив - у заданий агротехнічними умовами строк.

Порівняльну оцінку варіантів організації процесу доцільно здійснювати шляхом побудови функціонально-вартісних діаграм (ФВД), оцінки загальної корисності та сукупних витрат на реалізацію процесу в конкретних природно-виробничих умовах.

Функціональна достатність і гнучкість системи встановлюється побудовою структурних і функціональних моделей з оцінкою показників функціональної організації систем (8.1)- (8.7).

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

Внесення добрив може здійснюватися за переважувальною або прямою схемою. Визначаємо граничний радіус переїздів за формулою (17.6) агрегату ЮМЗ-6АКМ+МВУ-5 для прямої схеми, виходячи з умов своєчасності та економічної доцільності, які забезпечуються при мінімально допустимому значенні коефіцієнта використання часу зміни $[\tau]_{\min} = 0,65$:

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

У розрахунках прийняті такі значення змінних: частка позациклового часу в тривалості зміни (комплекткування МТА, щоденне ТО то-що) становить $\delta_{nc} = 0,12$; продуктивність за годину основного часу $W_o = 0,1 \cdot B_p \cdot v_p = 10$ га/год; середня транспортна швидкість агрегату (з вантажем і без вантажу) $v_{mp} = 20$ км/год.

Таким чином, для обробки другого поля ($F_2 = 70$ га, $l_{mp2} = 3$ км) прямою схемою є доцільною ($l_{mp2} < l_{mp}$), тоді як для внесення добрив на першому полі доцільною буде переважувальна схема.

Проводимо узгодження технічних засобів процесу внесення мінеральних добрив за продуктивністю (17.8).

У прямоточній схемі будуть лінійно взаємодіяти агрегати:
ЮМЗ-6Л+МВУ-5 і АИР-20.

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

Агрегат для внесення добрив ЮМЗ-6Л+МВУ-5 має продуктивність за годину змінного часу за обробленою площею:

$$W_{зм1} = 0,1 \cdot B_p \cdot v_p \cdot \tau_{зм} = 0,1 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 0,7 = 7,0 \text{ га/год}$$

за витратою добрив:

$$W_{зм1}^M = W_{зм1} \cdot H = 7,0 \cdot 0,2 = 1,4 \text{ т/год}$$

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Нагірний Ю.П. Обґрунтування інженерних рішень: навч. посіб. Ю.П. Нагірний. К.: Урожай, 1994. 216 с.
2. Типові задачі машиновикористання в землеробстві: навч. посіб. Ю.П. Нагірний, Б.І. Затхей, В.В. Хом'як та ін.; за ред. Ю.П. Нагірного. Львів: ЛДАУ, 2001. 180 с.
3. Павліський В.М. Проектування технологічних систем рослинництва: навч. посіб. В.М. Павліський, Ю.П. Нагірний, І.І. Мельник. Тернопіль: Збруч, 2003. 265 с.
4. Пастухов В.І. Енергетична оцінка механізованих технологій рослинництва. Методи і результати В.І. Пастухов. Харків: Ранок-НТ, 2003. 100 с.
5. Пастухов В.І. Тріада критеріїв збереження для оцінки техніки і технології в рослинництві В.І. Пастухов. Харків: ПНВП «ПРОМПРОЕКТ», 2004. 118 с.
6. Мушик Э. Методы принятия технических решений Э. Мушик, П. Мюллер; пер. с нем. М.: Мир, 1990. 208 с.
7. Нагірний Ю.П. Фахова підготовка інженерів: діяльнісний підхід. Ю.П. Нагірний. Львів: ІНВП «Електрон», 1999. 180 с.
8. Машиновикористання в землеробстві: підручник. В.Ю. Ільченко, Ю.П. Нагірний, П.А. Джолос та ін.; за ред. В.Ю. Ільченка і Ю.П. Нагірного. К.: Урожай, 1996. 384 с.
9. Нагорный Н.Н. Технологии и технические средства почвозащитного контурномелиоративного земледелия. Н.Н. Нагорный. К.: Урожай, 1994. 248 с.
10. Пастухов В.І. Енергоємність технологій в рослинництві. Методичні рекомендації для курсового та дипломного проектування. В.І. Пастухов, В.Л. Лютинський. Харків, 2005. 43 с.
11. Пастухов В.І. Інформаційне забезпечення сільськогосподарського виробництва. Лабораторний практикум: навч. посіб. В.І. Пастухов, В.Л. Лютинський, Г.В. Рудницька. Харків: ХНТУСГ, 2008. 242 с.
12. Вирощування та переробка ріпаку: навч. посіб. В.М. Павліський, Ю.П. Нагірний, В.Д. Гайдаш та ін. Тернопіль: ТОВ «Новий колір», 2007. 316 с.
13. Шарапов О.Д. Системний аналіз: навч. посіб. О.Д. Шарапов, Л.Л. Терехов, С.П. Сіднев. К.: Вища шк., 1993. 303 с.
14. Карпунин М.Г. Функционально-стоимостный анализ в инженерной деятельности: учеб. пособ. М.Г. Карпунин, А.М. Кузьмин, С.В. Шалденков. М.: Информэлектро, 1990. 77 с.
15. Гринькова В.М. Функціонально-вартісний аналіз в інноваційній діяльності підприємства. В.М. Гринькова. Х.: Інжек, 2004. 128 с.
16. Житная И.П. Техничко-экономический анализ при проектировании и производстве машин: учеб. пособ. И.П. Житная, Е.П. Житный. К.: Вища школа, 1990. 229 с.

- 17.Василенко П.М. Основы научных исследований. Механизация сельского хозяйства. П.М. Василенко, Л.В. Погорелый. К.: Вища школа, 1985. 266 с.
- 18.Половинкин А.И. Основы инженерного творчества. А.И. Половинкин. М.: Машиностроение, 1988. 361 с.
- 19.Методы поиска новых технических решений. Под ред. А.И. Половинкина. Йошкар-Ола: Марийское книжное издательство, 1976. 192 с.
- 20.Косіюк М.М. Основи науково-технічної творчості. М.М. Косіюк, Г.П. Черменський. Хмельницький: Поділля, 1998. 416 с.

Навчальне видання

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

Методичні рекомендації

Укладачі: **Горбенко** Олена Андріївна
Пастушенко Андрій Сергійович
Кім Наталя Ігорівна
Норинський Олексій Ігорович
Храмов Микита Сергійович

Формат 60×84 1/16. Ум. друк. арк. ____.
Тираж 20 прим. Зам. № ____

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного аграрного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.02.2013 р.