

## Лекція 4. Планування процесів в ГВС

### 4.1. Загальні положення щодо планування процесів в ГВС

Очевидно, що ефективне управління підприємством та його функціонування по випуску продукції неможливо без загальнозаводського планування. Оптимізація планування – це основа діяльності сучасного підприємства, яка направлена на підвищення продуктивності праці, зменшення собівартості виробленої продукції, раціональне використання ресурсів і як результат – підвищення рентабельності підприємства.

Тип виробництва, його серійність, тривалість виробничого циклу, степінь технологічної складності виробництва продукції, стабільність виробничих завдань та галузева специфіка підприємства значною мірою визначають організацію, методи та ключові завдання загальнозаводського планування.

Задачі планування різних рівнів управління (див. рис. 4.1) є одними з визначальних задач, що забезпечують скоординоване функціонування виробництва в цілому.

В організаційно-економічних системах в процесі планування на підставі глобальної мети визначають цілі управління всіма підрозділами таким чином, щоб забезпечити виконання планового завдання, яке регламентує обсяг, номенклатуру, терміни та умови використання виробничих ресурсів. Загальнозаводське планування здійснюється на різні періоди часу для розв'язування різних за стратегією, першочерговістю і глобальністю задач.

В зв'язку з цим *виробниче планування здійснюється в три етапи* (рис. 4.1), а саме:

- стратегічне;
- об'ємно-календарне;
- оперативне планування.

На **I етапі – етапі стратегічного планування** здійснюється формування основного виробничого плану, що покликаний сформулювати баланс між потребами збуту і можливостями виробництва в цілому.

На **II етапі – етапі об'ємно-календарного планування** здійснюється формування виробничої програми.

*Виробнича програма* – це сукупність об'ємно-календарних виробничих планів підрозділів, покликаних забезпечити рівномірну, ритмічну роботу всіх виробничих підрозділів для виконання основного виробничого плану та реальних договорів і виробничих замовлень.

*Об'ємно-календарне планування дозволяє* планувати одночасно терміни й об'єми виконуваних на підприємстві робіт у цілому на весь передбачений період часу – рік, квартал, місяць і т.д.

*Календарне планування передбачає* деталізацію виробничої програми випуску продукції за часовими інтервалами в межах встановленого планового періоду. Результатом є часове упорядкування комплексу запланованих робіт програми. Часове упорядкування виражається у визначенні строків початку та завершення виконання робіт. Тобто календарний план визначає, скільки продукції необхідно виготовити у кожному інтервалі встановленого періоду.

На **III етапі – етапі оперативного планування**, здійснюється організація оперативно-диспетчерського управління виробництвом.

*Оперативне планування ґрунтується* на деталізації інформації виконавців щодо раніше розрахованого календарного плану випуску продукції в межах заданого планового інтервалу. Результатом розв'язування цих задач є *просторове та часове упорядкування* комплексу запланованих робіт.

*Просторове упорядкування* виражається у визначенні кожному виконавцю поопераційного плану робіт, а *часове упорядкування* – встановлення черговості надходження або терміну виконання робіт.

У ГВС оперативний плановий інтервал, як правило, не перевищує зміни (добу), а виконавцем є ТО.

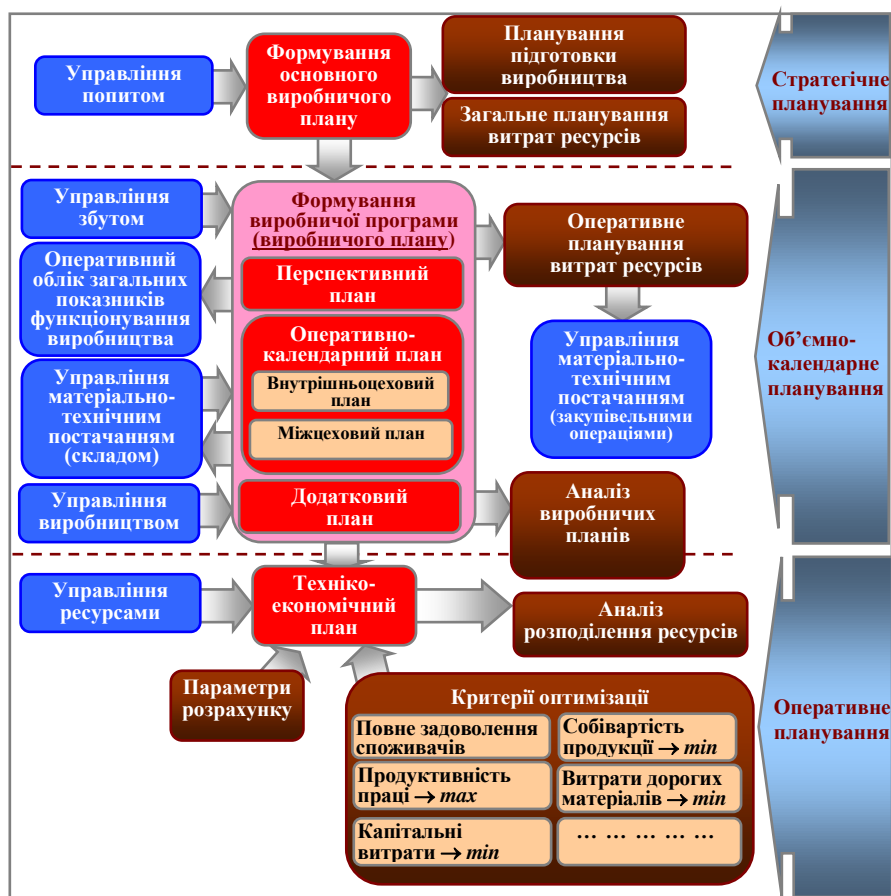


Рис. 4.1. Схема загальнозаводського планування

Існують різні наукові методи виробничого планування, а саме.

1. *нормативний метод* – передбачає обов'язкову наявність на підприємстві уніфікованої системи норм і нормативів;
2. *балансовий метод* – регламентує відношення між виникаючими виробничими потребами в ресурсах і пошуком джерел їх покриття;
3. *розрахунково-аналітичний метод* – застосовується для розрахунку і подальшого моніторингу основних показників плану;
4. *економіко-математичний метод* – застосовується при розробках основних економічних моделей плану, що дає можливість вибрати найбільш оптимальний варіант. Задачі, що розглядаються в даному посібнику, вирішуються із використанням даного методу;
5. *графоаналітичний метод* – застосовується для аналізу досягнутих результатів з обов'язковим вираженням отриманих даних в графічному вигляді;
6. *програмно-цільовий метод* – відповідає за оформлення виробничого плану у вигляді цільової програми, яка ґрунтується на реалізації комплексних завдань, що об'єднані єдиною метою і мають відповідний тимчасовий регламент.

#### 4.2. Господарсько-виробничі задачі при плануванні, моделюванні та верифікації процесів у гнучких виробничих системах

Результатом виробничого планування є план.



**План – це документ, що охоплює весь комплекс виробничої, господарської та фінансової діяльності підприємства за встановлений період.**

В залежності від змісту господарської діяльності на підприємстві здійснюється планування виробництва, планування збуту, планування матеріально-технічного постачання, фінансове планування, планування технології, вибір обладнання тощо.

Задачі, що необхідно розв'язувати при плануванні виробництва, є найбільш трудомісткими задачами загальнозаводського планування і відображають усю складність організаційних, економічних та виробничих процесів, що виникають та функціонують у ГВС.

Характерною при цьому є необхідність оптимізаційного планування, яке полягає у визначенні деякого найкращого рішення із кінцевої множини можливих варіантів при певних обмеженнях, що передбачає визначення та формування так званого **оптимального плану**, в якому може бути відображено, наприклад, кількісне співвідношення між окремими видами продукції у загальному обсязі її випуску. На основі такого оптимального плану приймається відповідне обґрунтоване рішення про доцільність випуску тих видів продукції, питома вага яких в загальному її обсязі випуску, відповідно до оптимального плану є досить висока.



**Оптимальним планом** називають план, у якому на підставі економіко-математичного методу виробничого планування розраховано та обґрунтовано співвідношення між складовими господарської діяльності підприємства (наприклад, кількісне співвідношення між окремими видами продукції у загальному обсязі її випуску) таким чином, що його виконання забезпечить досягнення глобальної мети наприклад, мінімізацію виробничих витрат, максимізацію прибутку тощо.

Очевидно, що правильне розв'язання задач планування виробництва впливає на ефективність функціонування підприємства в цілому. Тому при загальнозаводському плануванні особлива увага повинна приділятися підвищенню якості та зменшенню трудомісткості прийняття рішень, які виникають при розв'язанні таких задач. Зазначене спонукає до використання сучасних засобів гнучкої автоматизації із використанням новітніх інформаційних технологій, покликаних підвищити якість та зменшити трудомісткість процесів розв'язання цих задач.

При розв'язуванні задач планування виробництва розв'язують *множину типових задач*, які умовно можна розділити на дві групи.

**Першу групу** утворюють так звані **задачі управління збутом продукції**, які розв'язуються на рівні адміністративного управління (див. вище рис. 4.1) ГВС.

Такими задачами є:

➤ різноманітні **транспортні задачі**, що передбачають, наприклад, визначення оптимального маршруту перевезення продукції від постачальників до замовників, або

постачання сировини між структурними одиницями підприємства з метою мінімізації транспортних витрат, або аналіз розміщення структурних підрозділів підприємства;

➤ **задачі формування оптимальної виробничо-торгівельної програми** з випуску власної продукції та придбання готової у іншого виробника з метою максимізації прибутку тощо.

Очевидно, що робота всіх організацій-виробників в сучасних економічних умовах будуватиметься на принципово нових підходах, що найбільш суттєво проявляється у сфері збуту готової продукції. В умовах жорсткої конкуренції головним завданням системи управління збутом є завоювання і збереження організацією кращої частки ринку і утримання переваги над конкурентами в обраному сегменті.

Незважаючи на те, що збут – це завершальний етап діяльності виробника, саме він повинен визначати всю стратегію зберігання та руху товару і виробництва в цілому, а етап планування збуту – передувати виробничій стадії.

Основним принципом збуту є ефективна реалізація продукції та послуг на певних ринках у запланованих обсягах. Вся сукупність дій з управління збутом утворює збутову політику організації чи підприємства, яка передбачає використання ряду стратегій, в тому числі і формування асортименту виготовлення продукції.

Тому досить важливою є **друга група** задач, що розв'язуються при плануванні виробництва. Це задачі **управління матеріально-технічним постачанням та розподілом ресурсів** для виготовлення продукції, що розв'язуються на рівні управління підрозділами підприємства (цехами, лініями, дільницями). Такими задачами є різноманітні задачі, що пов'язані із визначенням:

➤ **оптимального випуску продукції;**

➤ **управління товарно-матеріальними запасами** підприємства, що полягають у знаходженні оптимальної комбінації різних видів продукції для її зберігання на складах;

➤ **оптимального розподілення ресурсів** підприємства при плануванні виробництва тощо.

Основною характерною рисою всіх вище перелічених задач є те, що всі вони є задачами оптимізації, розв'язування яких передбачає отримання в певному значенні деякого найкращого результату за певними критеріями оптимальності. Тобто визначення оптимального плану, який в залежності від умови задачі, відображає, наприклад, кількісне співвідношення між окремими видами продукції у загальному обсязі її випуску (для задач управління матеріально-технічними постачанням та розподілом ресурсів); оптимальний маршрут перевезення продукції від постачальників до замовників (для задач управління збутом продукції) тощо.



**Критерій оптимальності** в оптимізаційних задачах – це словесне або математичне формулювання найкращого результату, який називають цільовою функцією.

**Цільова функція** описує математичну залежність результату від стану системи.

Одним із методів, що дозволяють розв'язувати оптимізаційні задачі, є методи лінійного програмування, що тісно пов'язані із практичними проблемами оптимального планування виробництва.

Існують інші методи розв'язування подібних задач. Наприклад, метод Парето-оптимізації (оптимізація за Парето), що дозволяє встановити певний баланс (співвідношення) між програмою випуску продукції та її собівартістю з критерієм оптимізації – отримання максимального прибутку.


(Див. статтю ВАК в журналі Applied Mathematics, 2024, № 6 "Pareto Optimization as the Basic for Selecting Robotic Mechanic Assembly Technologies").

## 4.3. ФОРМАЛІЗАЦІЯ, МЕТОДИКА ТА АВТОМАТИЗОВАНЕ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ПЛАНУВАННЯ ВИРОБНИЦТВА

### 4.3.1. Загальна постановка та формалізований опис задач планування виробництва

Задачі, які виникають при проектуванні, моделюванні та верифікації процесів у ГВС, є типовими задачами, що відображають конкретні виробничо-господарські ситуації, які в тому чи іншому вигляді інтерпретуються як однокритеріальні задачі про оптимальне використання обмежених ресурсів.

Такі задачі розв'язуються методами лінійного програмування (ЛП) – найбільш розробленого і широко застосовуваного розділу математики, що вивчає методи розв'язування екстремальних задач, які характеризуються лінійною залежністю між змінними і лінійним критерієм оптимальності.

 Термін "лінійне програмування" виник як результат неточного перекладу англійського "linear programming". Одне із значень слова "programming" – складання планів, планування. Отже, правильним перекладом англійського "linear programming" було б не "лінійне програмування", а "лінійне планування", що більш точно відображає сутність розв'язуваних задач. Однак, терміни лінійне програмування, математичне програмування і т.д. в нашій літературі стали загальноприйнятими.

Розв'язування задач ЛП полягає у відшуванні екстремальних значень цільової функції серед множини її можливих значень при лінійних обмеженнях.

Формалізований опис будь-якої задачі ЛП передбачає формування її математичної моделі, яка містить:

- **цільову функцію** (4.1), оптимальне (екстремальне) значення якої (максимум чи мінімум) потрібно знайти;
- **обмеження** (4.2) у вигляді системи лінійних рівнянь або нерівностей;
- **умову невід'ємності** змінних (4.3).

Узагальнена модель задач планування виробництва, описаних вище, записується наступним чином.

1. **Цільова функція задачі, або критерій ефективності**, під яким розуміють відповідно до умов задачі, наприклад, максимальний прибуток від виробництва будь-яких видів продукції, мінімальну вартість перевезень, максимальну продуктивність виробничої ділянки тощо, представляється функцією  $F(x)$ , що прямує до деякого оптимального значення, яке відповідно до умов задачі може дорівнювати максимальному або мініимальному значенню:

$$F(x) = \left( \sum_{i=1}^n c_i x_i \right) \rightarrow \max (\min), \quad (4.1)$$

де  $c_i$  – коефіцієнти цільової функції;

$x_i$  – змінні цільової функції (варійовані параметри),  $i = \overline{1, n}$ , сукупність яких утворює вектор  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ .



4. Знаходять область допустимих рішень.
5. Будується пряма  $c_1x_1 + c_2x_2 = h$ , де  $h$  – будь-яке додатне число, бажано таке, щоб проведена пряма проходила через багатокутник рішень.
6. Переміщують знайдену пряму паралельно самій собі в напрямку збільшення (при пошуку максимуму) або зменшення (при пошуку мінімуму) цільової функції. В результаті, або знайдеться точка, в якій цільова функція приймає максимальне (мінімальне) значення, або буде встановлена необмеженість функції на множині рішень.
7. Визначають координати точки максимуму (мінімуму) функції і обчислюють значення функції в цій точці.



**Приклад 4.1.** Використання графічного методу для розв'язування задач ЛП.

**Умова задачі.** Компанія спеціалізується на випуску хокейних ключок і наборів шахів. Кожна ключка приносить компанії прибуток в розмірі \$ 2, а кожен шаховий набір – в розмірі \$ 4. На виготовлення однієї ключки потрібно 4 години роботи на ділянці А і 2 години роботи на ділянці В. Шаховий набір виготовляється з витратами 6 годин на ділянці А, 6 годин на ділянці В і 1 година на ділянці С. Доступна виробнича потужність ділянки А становить 120 нормо-годин на день, ділянки В – 72 нормо-години і ділянки С – 10 нормо-годин.

Визначити кількість ключок і шахових наборів яку повинна випускати компанія щодня, щоб отримувати максимальний прибуток.

Умову задачі зручно представити у табличній формі табл. 4.1.

Таблиця 4.1

**Вихідні дані прикладу 4.1**

Виробничі ділянки	Витрати часу на виготовлення одиниці продукції, нормо-годин		Доступний фонд часу, нормо-годин
	хокейні ключки	набори шахів	
А	4	6	120
В	2	6	72
С	-	1	10
<b>Прибуток на одиницю продукції, \$</b>	2	4	

### Розв'язування.

1. Формулювання задачі.

За даною умовою задачі змінні:

$x_1$  – кількість хокейних ключок, що виготовляються щодня;

$x_2$  – кількість шахових наборів, що виготовляються щодня.

**Цільова функція** – прибуток від виробничої діяльності компанії:

$$F(x) = (2x_1 + 4x_2) \rightarrow \max .$$

**Обмеження** витрат робочого часу на виготовлення продукції на виробничих ділянках А, В, С відповідно:

$$\begin{cases} 4x_1 + 6x_2 \leq 120; \\ 2x_1 + 6x_2 \leq 72; \\ x_2 \leq 10. \end{cases}$$

**Умова невід'ємності змінних**  $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0$ .

- Побудова прямих, які відповідають кожному із функціональних обмежень витрат робочого часу на виготовлення продукції на виробничих ділянках А, В, С відповідно (рис. 4.1). Прямі на рис. 4.1 позначені:
  - (1) для обмеження витрат робочого часу ділянки А;
  - (2) для обмеження витрат робочого часу ділянки В;
  - (3) для обмеження витрат робочого часу ділянки С відповідно.
- Знаходження півплощин, які відповідають кожному з обмежень задачі. Штрихами на прямих (1), (2), (3) позначені напівплощини, що визначаються обмеженнями задачі.
- Область допустимих рішень включає в себе точки, для яких виконуються всі обмеження задачі. В даному випадку область являє собою п'ятикутник (на рис. 4.1 позначено ABCDO і виділено темним кольором).
- Пряма  $2x_1 + 4x_2$ , що відповідає цільовій функції  $F(x)$ , на рис. 4.1 представлена пунктирною лінією.
- Пряму переміщують паралельно самій собі вгору (напрямок вказано стрілкою), оскільки саме в цьому напрямку значення цільової функції збільшується. Останньою точкою багатокутника рішень, з якою перетнется пряма, перш, ніж вийде за його межі, є точка С. Це і є точка, що відповідає оптимальному рішенню задачі.
- Обчислення координат точки С. Вона є точкою перетину прямих (1) і (2). Розв'язавши спільно рівняння цих прямих, знаходять:  $x_1^* = 24, x_2^* = 4$ .

Підставляючи знайдені величини в цільову функцію, можна знайти її значення в оптимальній точці С:  $F(x) = (2x_1 + 4x_2) = 2 \cdot 24 + 4 \cdot 4 = 64$ .

Таким чином, для максимізації прибутку компанії слід щодня випускати 24 ключки і 4 наборів шахів. Реалізація такого плану забезпечить щоденний прибуток у розмірі \$ 64.

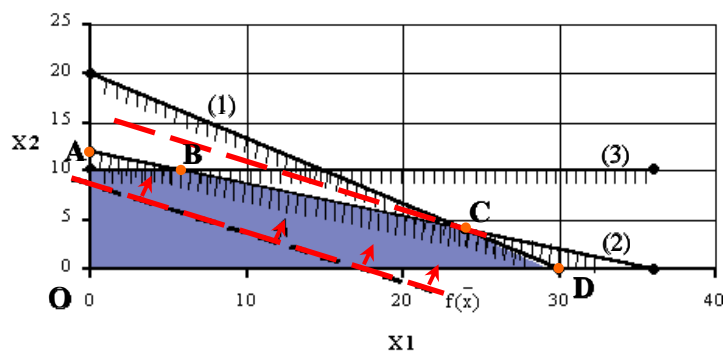


Рис. 4.2. Графічний розв'язок задачі ЛП за прикладом 4.1

Методи **простого** та **направленого перебору** застосовують переважно при розв'язуванні класичних задач оптимізації.

Окремо виділяється **симплексний метод**, або, як його іще називають, метод послідовного покращення плану. Це один із спеціалізованих методів, що націлений на розв'язування задач ЛП. Цей метод дозволяє переходити від одного допустимого базисного рішення до іншого, причому так, що значення цільової функції безперервно зростають. В результаті оптимальне рішення знаходять за кінцеве число кроків.

**Базисним рішенням** системи  $m$  лінійних рівнянь з  $n$  змінними ( $m < n$ ) називається всяке її рішення, в якому всі неосновні змінні мають нульові значення.

**Основними змінними** називаються будь-які  $m$  змінних системи  $m$  лінійних рівнянь з  $n$  змінними ( $m < n$ ), якщо визначник матриці коефіцієнтів при них відмінний від нуля.





- Перевірка умови  $c_j \leq 0$ , тобто наявності в останньому рядку симплекс-таблиці (табл. 4.2) від'ємних елементів. У випадку виконання вказаної умови, тобто наявності від'ємних елементів, задача вважається розв'язаною. В іншому випадку, тобто при  $c_j > 0$ , продовжують розв'язувати задачу, виконуючи наступні кроки алгоритму за рис. 4.2.
- Визначення так званого *дозвільного стовпчика*, яким є стовпчик із найбільшим додатнім елементом  $c_j$ :

$$c_r = \max\{c_j \mid j = \overline{1, n+m}\},$$

де  $r$  – номер дозвільного стовпчика.

- Перевірка наявності від'ємних елементів у дозвільному стовпчику. При виконанні умови  $a_{ir} \leq 0$  задача не має розв'язків. В іншому випадку, тобто при  $a_{ir} > 0$ , продовжують розв'язувати задачу, виконуючи наступні кроки алгоритму за рис. 4.2.
- Виведення із базисного розв'язку змінної  $x_j$ , що відповідає наступній умові:

$$D_s = \min\left\{\frac{b_i}{a_{ir}} \mid i = \overline{1, m}\right\}, \text{ для } a_{ir} > 0,$$

де  $D_s$  – частка від ділення  $\frac{b_i}{a_{ir}}$ ;

$S$  – номер дозволяючого рядка. Дозволяючим рядком є рядок, для якого  $\frac{b_i}{a_{ir}} = \min$ ;

$b_i$  – елемент останнього рядка симплекс-таблиці;

$a_{ir}$  – елементи дозволяючого стовпчика симплекс-таблиці.

Тобто змінна  $x_j$  виводиться із рядка, для якого результат ділення  $\frac{b_i}{a_{ir}}$  є найменшим.

Елемент, що знаходиться на перетині дозволяючого стовпчика та дозволяючого рядка, називають *дозволяючим елементом*. Наприклад, в табл. 4.3 дозволяючий стовпчик та дозволяючий рядок виділені темним кольором, дозволяючим елементом при цьому є  $a_{22}$ .

Таблиця 4.3

**Вихідна симплекс-таблиця із виділеними дозволяючим рядком та дозвільним стовпчиком**

Базис	Змінні							b <sub>i</sub>
	$x_1$	$x_2$	...	$x_n$	$x_{n+1}$	...	$x_{n+m}$	
$x_{n+1}$	$a_{11}$	$a_{12}$	...	$a_{1n}$	1	0	0	$b_1$
$x_{n+2}$	$a_{21}$	$a_{22}$	...	$a_{2n}$	0	...	0	$b_2$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$x_{n+m}$	$a_{m1}$	$a_{m2}$	...	$a_{mn}$	0	0	1	$b_m$
$c_j$	$c_1$	$c_2$	...	$c_n$	0	0	0	$L$

- Перехід до нового базисного розв'язку, що полягає у перерахунку елементів симплекс-таблиці:

1) елементів дозвільного рядка за формулами:

$$a'_{sj} = \frac{a_{sj}}{a_{sr}}; b'_s = \frac{b_s}{a_{sr}},$$

де  $s$  – номер дозвільного рядка;

$r$  – номер дозвільного стовпця;

$a'_{sj}$ ,  $b'_s$  – нові значення перерахованих елементів;

$a_{sj}$ ,  $b_s$  – попередні значення перерахованих елементів;

$a_{sr}$  – попереднє значення дозволяючого елемента.

2) елементів дозвільного стовпця, які приймаються рівними нулю за виключенням дозволяючого елемента:

$$a'_{ir} = 0; c'_r = 0;$$

3) інших елементів, що не належать до елементів дозволяючого рядка та дозволяючого стовпця, за правилом прямокутника. За цим правилом подумки виділяють прямокутник, в якому елемент, що підлягає перерахунку, та дозволяючий елемент утворюють одну із діагоналей:

$$a'_{ij} = a_{ij} - \frac{a_{ir}a_{sj}}{a_{sr}}; b'_i = b_i - \frac{a_{ir}b_s}{a_{sr}}; c'_j = c_j - \frac{a_{sj}c_r}{a_{sr}}; L' = L - \frac{c_r b_s}{a_{sr}},$$

де  $a'_{ij}$ ,  $b'_i$ ,  $c'_j$ ,  $L'$  – нові значення перерахованих елементів;

$a_{ij}$ ,  $b_i$ ,  $c_j$ ,  $L$  – попередні значення перерахованих елементів.

Після закінчення перерахунку повертаються до кроку 4.

Кроки 4 – 8 повторюють до тих пір, поки елементи останнього рядка симплекс-таблиці не набудуть від'ємного значення, тобто поки не виконається умова  $c_j \leq 0$ .

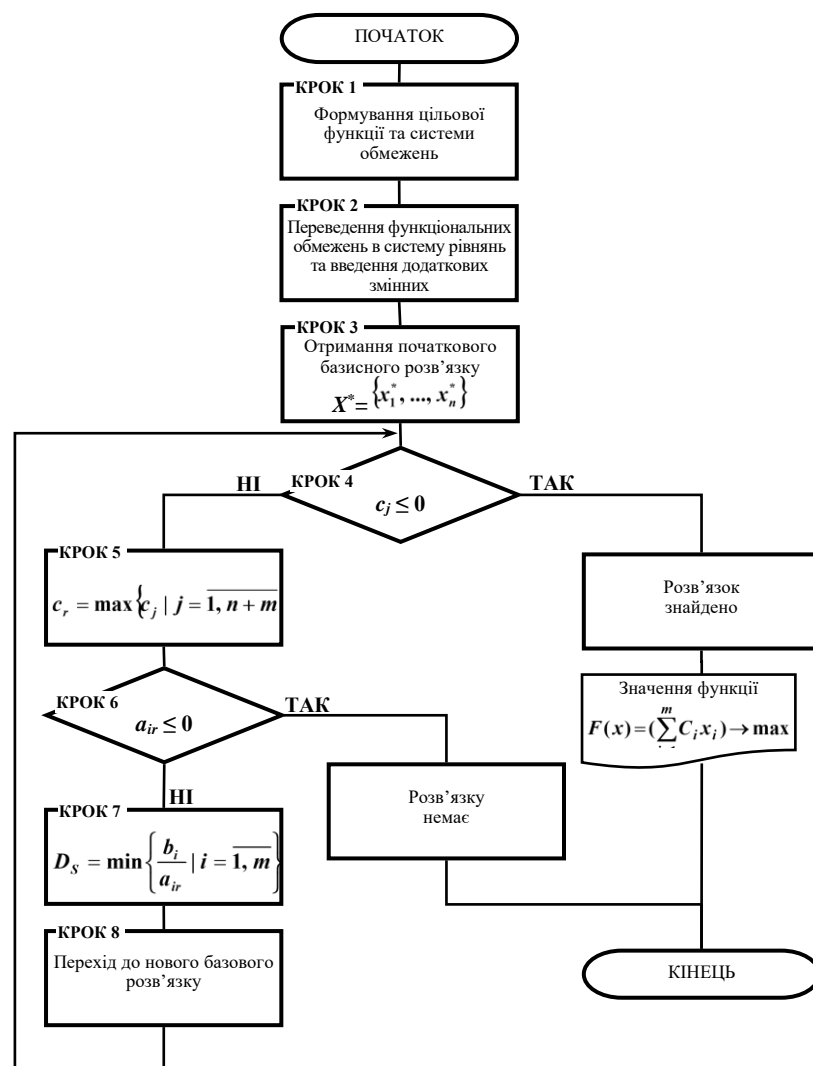


Рис. 4.2. Узагальнена блок-схема алгоритму симплекс-методу

Приведений алгоритм підкреслює значну трудомісткість розв'язування задач планування виробництва. Крім того, враховуючи те, що кількість змінних та обмежень у задачах планування виробництва може бути досить великою, очевидно є необхідність застосування ЕОМ та відповідних програмних продуктів для автоматизації їх розв'язування, що передбачає наявність інформаційної та автоматизованої підтримки процесів планування.